

TOMATO SORTER AUTOMATION



Oleh:

Muhamad Ihsan Fauzi	2310631160021
Achmad Rafael ari Pratama	2310631160001
Muhammad Ari Ramang	2310631160022
James Tri	2210631160048
Reza Ari Sandy	2310631160079

UNIVERSITAS SINGAPERBANGSA KARAWANG

2025

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir mata kuliah *Sistem Instrumentasi* yang berjudul “Perancangan Sistem Tomato Sorter Automation Berbasis Mikrokontroler Arduino” dengan baik dan tepat waktu.

Penyusunan laporan ini bertujuan untuk memenuhi salah satu tugas akhir dalam mata kuliah *Sistem Instrumentasi*, sekaligus sebagai bentuk penerapan teori yang telah dipelajari dalam perancangan sistem otomasi berbasis sensor dan aktuator. Melalui proyek ini, penulis merancang dan mensimulasikan sistem penyortiran tomat otomatis yang mampu mengklasifikasikan tomat berdasarkan tingkat kematangan menggunakan sensor warna TCS3200, motor servo, dan mikrokontroler Arduino sebagai pusat kendali sistem.

Laporan ini diharapkan dapat memberikan wawasan mengenai penerapan sistem instrumentasi dan otomasi dalam bidang industri pertanian, khususnya pada proses sortasi hasil panen agar lebih efisien dan akurat. Penulis juga berharap karya ini dapat menjadi referensi dan inspirasi bagi mahasiswa lain dalam mengembangkan proyek-proyek serupa di bidang *agriculture automation* dan *smart farming*.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih memiliki banyak kekurangan. Oleh karena itu, saran dan kritik yang membangun sangat diharapkan demi kesempurnaan laporan dan pengembangan penelitian di masa mendatang.

Akhir kata, penulis mengucapkan terima kasih kepada dosen pengampu mata kuliah *Sistem Instrumentasi*, Semoga laporan ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak yang membacanya.

Karawang, 1 november 2025

penulis

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tomat merupakan salah satu komoditas pertanian yang banyak dikonsumsi masyarakat karena kandungan gizinya yang tinggi dan kegunaannya yang luas dalam berbagai masakan serta industri makanan. Dalam proses pascapanen, penyortiran tomat berdasarkan tingkat kematangan masih banyak dilakukan secara manual oleh pekerja. Proses manual ini memiliki beberapa kekurangan, antara lain waktu yang dibutuhkan relatif lama, hasil penyortiran kurang konsisten, serta ketergantungan pada subjektivitas manusia.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, dibuatlah sistem otomatis penyortir tomat (Tomato Sorter Automation) berbasis Arduino Mega, yang memanfaatkan sensor warna TCS3200 untuk mendeteksi tingkat kematangan tomat berdasarkan warna permukaan buah. Warna yang terdeteksi akan diolah oleh mikrokontroler untuk mengendalikan motor servo yang berfungsi memindahkan tomat ke wadah sesuai kategorinya. Tomat dipindahkan melalui konveyor yang digerakkan motor DC gearbox, dengan suplai daya dari adaptor DC 12V.

Dengan sistem ini diharapkan proses penyortiran tomat menjadi lebih cepat, efisien, dan akurat dibandingkan metode manual.

1.2 Rumusan masalah

1. Bagaimana merancang dan membangun sistem otomatis penyortir tomat berbasis Arduino Mega?
2. Bagaimana sensor warna TCS3200 digunakan untuk mendeteksi tingkat kematangan tomat?
3. Bagaimana cara mengatur motor servo untuk memindahkan tomat ke wadah yang sesuai?
4. Bagaimana mengintegrasikan keseluruhan sistem agar bekerja otomatis dari proses pendeteksian hingga pemilahan?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Membuat alat penyortir tomat otomatis menggunakan Arduino Mega dan sensor warna TCS3200.
2. Mengimplementasikan sistem penggerak berbasis motor DC gearbox dan servo untuk memindahkan tomat secara otomatis.
3. Menganalisis hasil kinerja alat dalam mendeteksi dan memilah tomat berdasarkan tingkat kematangannya.
4. Mengetahui keandalan sistem dalam proses penyortiran otomatis.

1.4 Manfaat penulisan

1. Bagi petani/pelaku industri pertanian:
2. meningkatkan efisiensi dan kualitas penyortiran hasil panen.
3. Bagi akademisi:
4. sebagai referensi dalam pengembangan sistem otomasi berbasis sensor warna.
5. Bagi penulis:
6. menambah pemahaman dan pengalaman dalam sistem mikrokontroler dan kendali otomatis.

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Sistem Otomasi Dan Mikrokontroler

2.1.1 Pengertian Sistem Otomasi

Sistem otomasi merupakan suatu sistem yang dirancang untuk menjalankan proses atau operasi tertentu secara otomatis, dengan intervensi manusia yang minimal atau bahkan tanpa campur tangan sama sekali. Otomasi berasal dari kata *automation* yang berarti “kemampuan sistem atau mesin untuk bekerja sendiri secara mandiri berdasarkan instruksi yang telah ditetapkan sebelumnya.”

Dalam dunia industri modern, otomasi berperan penting untuk:

- Meningkatkan efisiensi waktu dan tenaga, karena proses dilakukan secara terus-menerus tanpa kelelahan seperti manusia.
- Meningkatkan akurasi dan konsistensi hasil, karena sistem bekerja berdasarkan algoritma dan sensor, bukan persepsi subjektif operator.
- Mengurangi kesalahan manusia (human error) yang dapat terjadi akibat kelelahan, kurang konsentrasi, atau faktor emosional.
- Meningkatkan keselamatan kerja, karena pekerja tidak perlu lagi berhadapan langsung dengan proses yang berisiko tinggi.
- Meningkatkan produktivitas dan kapasitas produksi, karena sistem dapat beroperasi dalam jangka waktu lama tanpa istirahat.

Sistem otomasi secara umum terdiri dari tiga elemen utama, yaitu:

1. Sensor (Input Unit)

Berfungsi untuk melakukan akuisisi data atau mendeteksi besaran fisis dari lingkungan (misalnya suhu, warna, jarak, cahaya, tekanan, dan sebagainya) dan mengubahnya menjadi sinyal listrik yang dapat dibaca oleh pengendali. Dalam proyek *Tomato Sorter Automation*,

sensor yang digunakan adalah TCS3200, yang berfungsi mendeteksi warna permukaan tomat.

2. Pengendali / Controller (Processing Unit)

Merupakan pusat pengolahan yang bertugas menerima sinyal dari sensor, memprosesnya sesuai dengan logika program, kemudian menghasilkan sinyal kontrol ke aktuator. Dalam proyek ini, Arduino Mega 2560 berperan sebagai pengendali utama yang menentukan keputusan pemilahan berdasarkan hasil deteksi warna.

3. Aktuator (Output Unit)

Aktuator berfungsi untuk melakukan aksi fisik sesuai perintah pengendali, misalnya menggerakkan motor, menyalakan lampu, membuka pintu, dan sebagainya. Pada sistem ini, aktuator yang digunakan meliputi motor DC gearbox untuk menggerakkan konveyor dan motor servo untuk menggerakkan lengan pemilah tomat.

Selain tiga komponen utama tersebut, sistem otomasi juga membutuhkan catu daya (power supply) sebagai sumber energi dan mekanisme komunikasi (baik kabel maupun nirkabel) agar komponen dapat saling terhubung.

2.1.2 Klasifikasi Sistem Otomasi

Berdasarkan tingkat kompleksitasnya, sistem otomasi dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis utama:

1. Otomasi Tetap (Fixed Automation)

Sistem ini dirancang untuk melakukan tugas tertentu secara berulang dan tidak fleksibel terhadap perubahan. Biasanya digunakan dalam proses produksi massal, seperti pada industri otomotif atau perakitan elektronik.

2. Otomasi Terprogram (Programmable Automation)

Sistem ini dapat diatur ulang melalui perangkat lunak agar sesuai dengan perubahan produk atau proses produksi. Contoh penerapannya adalah robot industri dan sistem berbasis mikrokontroler seperti *Tomato Sorter Automation*.

3. Otomasi Fleksibel (Flexible Automation)

Sistem ini mampu menyesuaikan diri secara otomatis terhadap perubahan tanpa harus

diatur ulang secara manual. Biasanya digunakan dalam pabrik cerdas (*smart factory*) yang menggunakan kecerdasan buatan (AI) dan sensor pintar (smart sensors).

2.1.3 Mikrokontroler sebagai Otak Sistem Otomasi

Mikrokontroler merupakan inti (core) dari sistem otomasi modern. Secara definisi, mikrokontroler adalah sebuah sistem komputer mini yang terintegrasi dalam satu chip, yang di dalamnya terdapat:

- CPU (Central Processing Unit): berfungsi sebagai unit pemrosesan utama yang mengeksekusi instruksi logika dan aritmetika.
- Memori:
 - ROM (Read Only Memory): tempat penyimpanan program utama yang bersifat permanen.
 - RAM (Random Access Memory): tempat penyimpanan sementara selama program berjalan.
 - EEPROM (Electrically Erasable Programmable ROM): digunakan untuk menyimpan data yang dapat diubah dan tidak hilang saat daya mati.
- Port Input/Output (I/O): jalur komunikasi antara mikrokontroler dan dunia luar, seperti sensor dan aktuator.
- Timer/Counter, ADC (Analog to Digital Converter), UART, dan PWM generator sebagai fitur tambahan untuk mendukung aplikasi otomasi.

Keunggulan mikrokontroler dibandingkan rangkaian konvensional adalah kemampuannya dalam pemrosesan data secara digital, pemrograman yang fleksibel, dan integrasi tinggi dalam satu chip berbiaya rendah. Mikrokontroler dapat diprogram untuk mengambil keputusan logis, misalnya mendeteksi warna tomat dan menentukan ke mana tomat tersebut harus dialihkan.

2.1.4 Arduino Mega 2560 sebagai Pengendali Sistem

Arduino Mega 2560 adalah salah satu papan mikrokontroler berbasis ATmega2560 yang dikembangkan oleh platform open-source Arduino. Papan ini populer karena mudah

diprogram, memiliki banyak pin input/output, serta mendukung berbagai jenis sensor dan aktuator.

Spesifikasi utama Arduino Mega 2560:

- Mikrokontroler: ATmega2560
- Frekuensi clock: 16 MHz
- Tegangan kerja: 5 V
- Jumlah pin digital I/O: 54 (15 di antaranya mendukung PWM)
- Input analog: 16 kanal
- Kapasitas memori flash: 256 KB (8 KB untuk bootloader)
- SRAM: 8 KB
- EEPROM: 4 KB
- Tegangan input eksternal (rekomendasi): 7–12 V

Arduino Mega sangat cocok digunakan untuk proyek otomasi multikomponen, karena jumlah pin yang banyak memungkinkan koneksi simultan dengan berbagai perangkat seperti sensor warna TCS3200, motor servo, dan driver motor L298N tanpa memerlukan tambahan modul ekspander.

Selain itu, Arduino menggunakan bahasa pemrograman berbasis C/C++ dengan lingkungan pengembangan Arduino IDE, yang memudahkan proses penulisan, kompilasi, dan pengunggahan program ke papan mikrokontroler.

2.1.5 Peran Mikrokontroler dalam Sistem Tomato Sorter Automation

Dalam sistem penyortiran tomat otomatis ini, Arduino Mega 2560 berperan sebagai pusat kendali (main controller) yang mengatur komunikasi antara seluruh komponen sebagai berikut:

1. Sensor warna TCS3200 mendeteksi warna kulit tomat (input).
2. Arduino menerima data dari sensor, memproses nilai RGB, dan menentukan kategori kematangan (pemrosesan logika).

3. Berdasarkan hasil klasifikasi, Arduino mengirimkan sinyal PWM ke motor servo untuk memindahkan tomat ke wadah yang sesuai (output).
4. Pada saat yang sama, Arduino juga mengendalikan motor DC gearbox melalui driver L298N agar konveyor tetap berjalan dengan kecepatan stabil.

Dengan kemampuan pemrograman dan koordinasi ini, sistem dapat bekerja secara otomatis, tanpa perlu operator manusia dalam proses penyortiran tomat.

2.1.6 Hubungan Sistem Otomasi dan Mikrokontroler

Dari uraian di atas, dapat disimpulkan bahwa mikrokontroler merupakan jantung dari sistem otomasi modern. Tanpa mikrokontroler, sistem otomasi tidak dapat mengambil keputusan secara mandiri berdasarkan data sensor. Mikrokontroler bertindak sebagai penghubung antara dunia nyata (melalui sensor dan aktuator) dengan dunia logika digital (melalui program dan algoritma).

Kombinasi antara sensor cerdas, mikrokontroler yang dapat diprogram, dan aktuator presisi menghasilkan sistem otomasi yang efisien, akurat, dan adaptif terhadap berbagai kondisi. Hal ini menjadikan otomasi berbasis mikrokontroler, seperti pada sistem Tomato Sorter Automation, sangat relevan dalam penerapan teknologi pertanian modern (*agriculture automation* atau *smart farming*).

2.2 Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560 merupakan salah satu papan pengembangan (*development board*) berbasis mikrokontroler ATmega2560 yang banyak digunakan dalam berbagai aplikasi otomasi, robotika, dan sistem tertanam (*embedded system*). Board ini dirancang untuk menangani proyek yang membutuhkan jumlah input/output yang banyak, memori besar, serta kecepatan pemrosesan yang andal. Dengan sumber daya yang luas, Arduino Mega sangat cocok digunakan dalam sistem otomasi seperti penyortir tomat otomatis, di mana terdapat beberapa sensor dan aktuator yang harus dikendalikan secara bersamaan.

2.2.1 Spesifikasi Teknis Arduino Mega 2560

Tabel 2.1 spesifikasi arduino mega 2560

Parameter	Spesifikasi
Mikrokontroler	ATmega2560
Tegangan Operasi	5 V DC
Tegangan Input (rekomendasi)	7 – 12 V DC
Tegangan Input (batas maksimum)	6 – 20 V DC
Pin Digital I/O	54 pin (15 pin dapat digunakan sebagai PWM output)
Pin Analog Input	16 pin
Arus DC per Pin I/O	20 mA
Arus DC untuk Pin 3.3 V	50 mA
Memori Flash	256 KB (termasuk 8 KB digunakan untuk bootloader)
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Frekuensi Clock	16 MHz
Port Komunikasi	4 UART (Serial), SPI, I ² C, dan USB
Dimensi Papan	101.52 mm x 53.3 mm

2.2.2 Fungsi dan Peran Arduino Mega 2560 dalam Sistem

Dalam sistem otomasi penyortiran tomat otomatis, Arduino Mega berperan sebagai unit pengendali utama (main controller) yang bertugas untuk:

1. Membaca Data Sensor Warna TCS3200

Arduino menerima sinyal keluaran dari sensor warna TCS3200 dalam bentuk pulsa frekuensi yang merepresentasikan intensitas warna RGB (Red, Green, Blue). Mikrokontroler kemudian mengonversi data frekuensi ini menjadi nilai digital untuk menentukan tingkat kematangan tomat.

2. Mengolah Data Sensor

Data hasil pembacaan sensor diolah menggunakan algoritma logika pemrograman pada Arduino IDE untuk mengidentifikasi warna dominan tomat (misalnya hijau, oranye, atau merah). Proses ini memungkinkan sistem menentukan kategori kematangan secara otomatis.

3. Mengendalikan Motor Servo

Berdasarkan hasil analisis warna, Arduino memberikan sinyal kendali berupa pulsa PWM (Pulse Width Modulation) ke motor servo untuk menggerakkan tuas pemilah. Tuas ini akan memindahkan tomat ke wadah yang sesuai dengan tingkat kematangannya.

4. Mengatur Motor DC Gearbox melalui Driver L298N

Arduino juga memberikan sinyal kontrol ke modul driver L298N yang berfungsi sebagai penguat arus untuk menggerakkan motor DC gearbox pada sistem konveyor. Dengan demikian, tomat dapat bergerak secara kontinu melewati area sensor untuk dideteksi warnanya.

5. Menjaga Sinkronisasi Kerja Sistem

Arduino Mega mengatur urutan kerja seluruh komponen — mulai dari pembacaan sensor, pengendalian konveyor, hingga penggerakan tuas servo — menggunakan konsep *timing* berbasis *delay*, *millis()*, atau *interrupt*. Hal ini membuat sistem berjalan secara terkoordinasi dan real-time.

2.2.3 Keunggulan Arduino Mega 2560

Arduino Mega memiliki beberapa keunggulan dibandingkan seri Arduino lain seperti Arduino Uno, antara lain:

- Jumlah Pin Lebih Banyak – Tersedia 54 pin digital dan 16 pin analog, memungkinkan pengendalian banyak sensor dan aktuator dalam satu sistem.
- Kapasitas Memori Besar – Flash 256 KB dan SRAM 8 KB memungkinkan pemrosesan data lebih kompleks dan penyimpanan program yang lebih besar.
- Banyak Port Serial (UART) – Tersedia 4 port serial yang memudahkan komunikasi dengan berbagai perangkat eksternal seperti sensor warna, modul Bluetooth, LCD, atau sistem komputer.
- Kompatibilitas Tinggi – Dapat diprogram menggunakan Arduino IDE dengan bahasa berbasis C/C++, serta mendukung berbagai pustaka (*library*) untuk sensor dan aktuator.

2.2.4 Pemrograman Arduino Mega 2560

Arduino Mega diprogram menggunakan Arduino IDE, yaitu perangkat lunak sumber terbuka yang menyediakan lingkungan pengembangan terpadu (*Integrated Development Environment*). Bahasa pemrogramannya berbasis C/C++ dengan fungsi-fungsi sederhana yang mudah dipahami. Struktur umum program Arduino terdiri atas dua fungsi utama:

1. `setup()` – Digunakan untuk inisialisasi awal seperti pengaturan pin input/output, komunikasi serial, dan konfigurasi sensor.
2. `loop()` – Berisi logika utama program yang dijalankan secara berulang selama sistem aktif.

Dalam proyek *tomato sorter automation*, program Arduino Mega meliputi:

- Inisialisasi sensor warna TCS3200.
- Pembacaan nilai RGB dari sensor.
- Penentuan warna dominan tomat (logika kematangan).
- Pengendalian posisi servo sesuai hasil deteksi warna.
- Pengaturan kecepatan konveyor melalui sinyal PWM pada driver motor L298N.

2.2.5 Integrasi Arduino Mega dalam Sistem Otomasi

Arduino Mega bertindak sebagai pusat komunikasi dan kontrol antara perangkat input dan output. Diagram alur integrasi dapat dijelaskan sebagai berikut:

- Input: Sensor warna TCS3200 membaca warna tomat di atas konveyor.
- Proses: Arduino Mega mengolah sinyal dari sensor untuk menentukan tingkat kematangan.
- Output:
 - Motor servo digerakkan untuk menyortir tomat ke jalur sesuai warna.
 - Motor DC gearbox dikontrol untuk mengatur pergerakan konveyor.

Seluruh proses dilakukan secara otomatis, efisien, dan berulang tanpa campur tangan manusia secara langsung.

2.3 Sensor Warna TCS3200

2.3.1 Pengantar dan Prinsip Dasar

Sensor warna TCS3200 merupakan sensor berbasis optical-to-frequency converter yang dikembangkan oleh TAOS (Texas Advanced Optoelectronic Solutions). Sensor ini berfungsi untuk mendeteksi warna suatu objek dengan mengukur intensitas dari tiga komponen warna dasar, yaitu merah (Red), hijau (Green), dan biru (Blue). Setiap warna memiliki panjang gelombang cahaya yang berbeda, dan sensor TCS3200 mendeteksi proporsi masing-masing warna tersebut untuk menentukan warna dominan dari suatu objek. Prinsip kerja sensor ini didasarkan pada efek fotolistrik yang terjadi pada photodiode array, di mana energi cahaya yang diterima akan diubah menjadi sinyal listrik. Sensor TCS3200 memiliki kemampuan mengubah intensitas cahaya yang jatuh ke permukaannya menjadi frekuensi keluaran digital, sehingga mudah dibaca oleh mikrokontroler seperti Arduino Mega 2560.

2.3.2 Struktur dan Prinsip Kerja Internal

Sensor TCS3200 terdiri dari 64 buah photodiode yang tersusun dalam array 8×8. Photodiode ini terbagi menjadi empat kelompok berdasarkan filter warna yang menutupi masing-masing dioda, yaitu:

- 16 photodiode dengan filter warna merah (Red filter)
- 16 photodiode dengan filter warna hijau (Green filter)
- 16 photodiode dengan filter warna biru (Blue filter)
- 16 photodiode tanpa filter (Clear filter)

Setiap filter hanya akan melewatkan panjang gelombang tertentu sesuai warna yang diwakilinya. Secara umum:

Tabel 2.2 tabel filter

Filter Warna	Panjang Gelombang yang Diterima (nm)	Fungsi
Merah (Red)	600 – 700 nm	Mendeteksi warna merah
Hijau (Green)	500 – 600 nm	Mendeteksi warna hijau
Biru (Blue)	400 – 500 nm	Mendeteksi warna biru
Tanpa filter (Clear)	Semua panjang gelombang	Referensi intensitas cahaya total

Ketika objek (misalnya tomat) diletakkan di atas konveyor dan diterangi oleh sumber cahaya putih, sebagian cahaya akan dipantulkan ke arah sensor. Intensitas cahaya pantulan tersebut berbeda-beda tergantung pada warna permukaan tomat. Misalnya:

- Tomat merah akan memantulkan lebih banyak cahaya merah.
- Tomat hijau akan memantulkan lebih banyak cahaya hijau.

- Tomat oranye akan memantulkan kombinasi merah dan hijau.

Setiap photodiode menghasilkan arus listrik yang besarnya sebanding dengan intensitas cahaya yang diterima. Rangkaian internal sensor TCS3200 kemudian mengubah arus (I) ini menjadi frekuensi (f) menggunakan current-to-frequency converter (CFC). Hubungan antara intensitas cahaya dan frekuensi keluaran dapat dinyatakan secara umum sebagai:

$$f_{out} = k \times I_{light}$$

di mana:

- f_{out} = frekuensi keluaran sensor (Hz)
- I_{light} = arus keluaran photodiode (μA)
- k = konstanta proporsionalitas dari sensor

Dengan demikian, semakin besar intensitas cahaya warna tertentu yang diterima, semakin tinggi pula frekuensi pulsa digital yang dihasilkan oleh sensor.

2.3.3 Pengaturan Frekuensi dan Seleksi Warna

Sensor TCS3200 memiliki empat pin kontrol utama, yaitu S0, S1, S2, dan S3 yang digunakan untuk mengatur frekuensi keluaran dan memilih filter warna yang aktif.

a. Pengaturan Skala Frekuensi (S0 dan S1)

Pin S0 dan S1 digunakan untuk menentukan skala frekuensi keluaran sensor agar dapat disesuaikan dengan kemampuan pembacaan mikrokontroler. Konfigurasi umumnya ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 2.3 kondisi sensor

S0	S1	Kondisi Sensor
0	0	Power down mode (sensor mati)
0	1	Output frequency = 2% dari maksimum
1	0	Output frequency = 20% dari maksimum
1	1	Output frequency = 100% (maksimum)

Mode 20% biasanya digunakan agar sinyal keluaran tidak terlalu cepat sehingga pembacaan mikrokontroler lebih akurat.

b. Seleksi Filter Warna (S2 dan S3)

Pin S2 dan S3 digunakan untuk memilih kelompok photodiode aktif (filter warna). Konfigurasi pemilihannya adalah sebagai berikut:

Tabel 2.4 filter warna aktif

S2	S3	Filter Warna Aktif
0	0	Merah (Red)
0	1	Biru (Blue)
1	1	Hijau (Green)
1	0	Clear (tanpa filter)

Arduino akan secara bergantian mengaktifkan setiap kombinasi S2 dan S3 untuk membaca nilai intensitas dari masing-masing warna dasar.

2.3.4 Pembacaan Frekuensi oleh Mikrokontroler

Sinyal keluaran dari sensor TCS3200 berupa pulsa persegi digital (square wave) dengan frekuensi yang mewakili intensitas warna. Arduino Mega membaca sinyal ini menggunakan fungsi bawaan `pulseIn()` atau dengan interrupt timer untuk menghitung lamanya satu siklus pulsa logika tinggi.

Frekuensi keluaran dihitung berdasarkan rumus:

$$f=1/T$$

$$T= t_{\text{high}} + t_{\text{low}}$$

di mana:

- f = frekuensi keluaran (Hz)
- T = periode total pulsa (s)

Dari nilai frekuensi setiap komponen RGB, Arduino kemudian membandingkan hasilnya dengan nilai ambang (threshold) untuk menentukan warna dominan. Proses ini merupakan bagian penting dalam algoritma klasifikasi kematangan tomat.

2.3.5 Aplikasi dalam Sistem Penyortiran Tomat

Dalam sistem Tomato Sorter Automation, sensor TCS3200 berfungsi sebagai pengindra utama (primary sensor) untuk menentukan tingkat kematangan tomat berdasarkan warna kulitnya. Mekanisme kerjanya adalah sebagai berikut:

1. Tomat bergerak di atas konveyor dan melewati area pembacaan sensor.
2. Sensor TCS3200 mendeteksi warna pantulan dari kulit tomat.
3. Arduino Mega membaca frekuensi keluaran dari sensor untuk masing-masing warna (R, G, B).
4. Berdasarkan rasio intensitas RGB, sistem mengklasifikasikan tomat ke dalam tiga kategori:

Tabel 2.5 kategori tomat

Kategori Tomat	Ciri-ciri Warna	Kondisi Sensor (indikatif)
Tomat Hijau (Mentah)	Dominan hijau, merah rendah	Green > Red, Blue sedang
Tomat Oranye (Setengah Matang)	Kombinasi merah dan hijau seimbang	Red \approx Green, Blue sedang
Tomat Merah (Matang)	Dominan merah, hijau rendah	Red > Green, Blue rendah

- Setelah warna ditentukan, Arduino mengirim sinyal ke motor servo untuk menggerakkan tuas pemilah sesuai hasil klasifikasi, sedangkan motor DC gearbox terus menggerakkan konveyor agar proses berjalan kontinu.

2.3.6 Keunggulan Sensor TCS3200

Beberapa keunggulan sensor TCS3200 yang menjadikannya ideal untuk aplikasi penyortiran warna antara lain:

- Output frekuensi digital langsung, sehingga tidak memerlukan konversi analog-digital tambahan.
- Sensitivitas tinggi terhadap perubahan warna permukaan objek.
- Keluaran linier terhadap intensitas cahaya, memudahkan kalibrasi dan pemrosesan data.
- Konsumsi daya rendah serta kompatibel dengan logika TTL Arduino.
- Dapat digunakan pada berbagai jarak penginderaan (biasanya optimal pada 1–2 cm dengan pencahayaan putih yang stabil).

2.4 Motor DC dan Motor DC Gearbox

2.4.1 Pengantar Motor DC

Motor DC (*Direct Current Motor*) adalah mesin listrik yang mengubah energi listrik arus searah (DC) menjadi energi mekanik berupa gerak rotasi. Motor DC banyak digunakan pada sistem otomasi dan robotika karena kemampuan kontrol kecepatannya yang mudah, torsi yang tinggi pada kecepatan rendah, serta respon dinamis yang cepat.

Prinsip kerja motor DC didasarkan pada gaya Lorentz, yaitu gaya yang timbul ketika konduktor berarus listrik berada di dalam medan magnet. Secara matematis, gaya Lorentz dinyatakan sebagai:

$$\vec{F} = I \vec{L} \times \vec{B}$$

di mana:

- \vec{F} = gaya Lorentz (Newton),
- I = arus listrik yang mengalir melalui konduktor (Ampere),
- \vec{L} = panjang konduktor dalam medan magnet (meter),
- \vec{B} = kerapatan fluks magnet (Tesla).

Gaya ini menghasilkan torsi pada rotor, sehingga motor berputar. Arah putaran dapat diubah dengan membalik arah arus pada lilitan jangkar, sesuai dengan hukum tangan kiri Fleming.

2.4.2 Komponen Utama Motor DC

Motor DC terdiri dari beberapa bagian penting:

1. Stator — bagian diam yang menghasilkan medan magnet, biasanya menggunakan magnet permanen atau elektromagnet.

2. Rotor (Armature) — bagian yang berputar dan terdiri dari lilitan kawat tembaga pada inti besi.
3. Kumputaran Jangkar (Armature Winding) — tempat arus mengalir untuk menghasilkan gaya Lorentz.
4. Komutator — cincin belah yang berfungsi membalik arah arus pada lilitan setiap setengah putaran, menjaga arah torsi tetap sama.
5. Sikat (Brush) — penghantar arus dari sumber listrik ke kumputaran jangkar melalui komutator.
6. Poros (Shaft) — tempat keluaran energi mekanik berupa putaran dihasilkan.

2.4.3 Persamaan Dasar Motor DC

Hubungan antara tegangan, arus, dan resistansi jangkar dinyatakan oleh persamaan dasar motor DC:

$$V = E + I_a R_a$$

dengan:

- V = tegangan suplai (Volt)
- E = gaya gerak balik (Back Electromotive Force / Back EMF)
- I_a = arus jangkar (Ampere)
- R_a = resistansi jangkar (Ohm)

Back EMF (E) merupakan tegangan yang diinduksi berlawanan arah dengan tegangan sumber akibat perputaran rotor dalam medan magnet. Nilainya bergantung pada kecepatan putaran motor dan fluks magnet, dinyatakan sebagai:

$$E = K_e \cdot \Phi \cdot \omega$$

dengan:

- K_e = konstanta motor ($V \cdot s / rad$),

- Φ = fluks magnet per kutub (Weber),
- ω = kecepatan sudut putaran motor (rad/s).

Persamaan ini menunjukkan bahwa semakin cepat motor berputar, semakin besar back EMF yang dihasilkan, dan hal ini mengurangi arus jangkar, sehingga motor mencapai kecepatan stabil.

2.4.4 Hubungan Kecepatan, Arus, dan Torsi

Torsi yang dihasilkan motor DC sebanding dengan arus jangkar, ditulis sebagai:

$$T = K_t \cdot \Phi \cdot I_a$$

dengan:

- T = torsi motor ($N \cdot m$),
- K_t = konstanta torsi ($N \cdot m/A$),
- Φ = fluks magnet,
- I_a = arus jangkar.

Dari persamaan ini dapat disimpulkan bahwa torsi berbanding lurus dengan arus jangkar, sehingga untuk menghasilkan gaya dorong yang lebih besar, arus motor juga meningkat.

Hubungan antara kecepatan (n) dan torsi (T) motor DC bersifat berbanding terbalik semakin besar beban (torsi), maka kecepatan menurun, dan sebaliknya. Karakteristik ini dikenal sebagai karakteristik mekanik motor DC.

2.4.5 Motor DC Gearbox

Motor DC Gearbox adalah motor DC yang terintegrasi dengan sistem roda gigi reduksi (gear reduction system). Fungsi utama gearbox adalah untuk menurunkan kecepatan

putaran (RPM) motor dan meningkatkan torsi keluaran pada poros motor. Gearbox bekerja berdasarkan prinsip konservasi daya mekanik:

$$P = T \cdot \omega$$

Karena daya (P) relatif konstan, maka ketika kecepatan sudut (ω) menurun akibat pereduksian gear, torsi (T) akan meningkat. Hubungan rasio gear dapat dinyatakan sebagai:

Sebagai contoh, dengan rasio gear 1:10, jika motor berputar 1000 RPM, maka keluaran poros hanya 100 RPM tetapi dengan torsi 10 kali lebih besar. Inilah yang membuat motor DC gearbox ideal untuk menggerakkan sistem konveyor yang memerlukan kecepatan konstan tetapi torsi tinggi untuk memindahkan objek (tomat) secara stabil.

2.4.6 Aplikasi dalam Sistem Penyortir Tomat Otomatis

Dalam sistem Tomato Sorter Automation, motor DC gearbox memiliki peran vital sebagai penggerak utama konveyor. Berikut fungsi dan alur kerjanya:

1. Menggerakkan konveyor secara kontinu agar tomat dapat bergerak melewati area deteksi sensor warna TCS3200.
2. Menjaga kecepatan putaran konveyor tetap stabil, sehingga pembacaan sensor warna menjadi akurat dan tidak terganggu oleh getaran atau kecepatan berlebih.
3. Memberikan torsi besar untuk mengatasi beban mekanik dari sabuk konveyor dan tomat yang berada di atasnya.
4. Bekerja di bawah kendali driver motor L298N, yang menerima sinyal PWM dari Arduino Mega untuk mengatur kecepatan konveyor sesuai kebutuhan sistem.

Dengan demikian, motor DC gearbox tidak hanya berfungsi sebagai penggerak, tetapi juga menjadi bagian dari sistem kontrol kecepatan dan kestabilan dalam keseluruhan mekanisme penyortiran.

2.4.7 Keunggulan Motor DC Gearbox

Beberapa keunggulan penggunaan motor DC gearbox dalam aplikasi otomasi industri antara lain:

- Meningkatkan torsi keluaran, ideal untuk sistem konveyor atau robot penggerak.
- Kontrol kecepatan yang mudah melalui modulasi PWM (Pulse Width Modulation).
- Respon cepat terhadap perubahan beban, cocok untuk sistem otomatis real-time.
- Konstruksi sederhana dan biaya relatif murah.
- Daya tahan tinggi dan mudah dipasangkan dengan driver motor seperti L298N.

2.5 Driver Motor L298N

2.5.1 Pengantar dan Fungsi Umum

Driver motor L298N adalah modul berbasis IC L298 Dual Full H-Bridge Driver yang digunakan untuk mengontrol arah dan kecepatan putaran motor DC atau motor stepper secara elektronik. Komponen ini bekerja dengan prinsip kendali arus dua arah (bidirectional control) yang memungkinkan motor berputar maju (forward) atau mundur (reverse) hanya dengan mengatur logika pada input digital.

L298N banyak digunakan dalam sistem robotika dan otomasi karena kemampuannya mengendalikan beban induktif bertegangan tinggi menggunakan sinyal logika dari mikrokontroler seperti Arduino. Modul ini menjadi perantara antara mikrokontroler (logika tegangan rendah) dan motor (beban arus tinggi).

IC ini termasuk dalam keluarga darlington transistor array, yang berarti di dalamnya terdapat dua rangkaian H-Bridge lengkap berbasis transistor untuk mengendalikan arus pada dua motor DC secara independen.

2.5.2 Prinsip Kerja H-Bridge

Rangkaian H-Bridge disebut demikian karena susunan transistor yang membentuk huruf “H” jika digambarkan secara skematik. Prinsip kerjanya adalah mengatur arah arus melalui motor, sehingga menghasilkan rotasi yang diinginkan.

Empat transistor utama (Q1–Q4) bekerja secara berpasangan — dua di sisi atas (high-side) dan dua di sisi bawah (low-side). Ketika pasangan diagonal aktif, arus akan mengalir ke satu arah; ketika pasangan lainnya aktif, arus mengalir berlawanan arah.

Tabel 2.6 prinsip kerja h-bridge

Kondisi Pin	Arah Arus	Gerakan Motor
IN1 = HIGH, IN2 = LOW	Dari kanan ke kiri	Motor berputar maju (Forward)
IN1 = LOW, IN2 = HIGH	Dari kiri ke kanan	Motor berputar mundur (Reverse)
IN1 = LOW, IN2 = LOW	Tidak ada arus	Motor berhenti (Stop)
IN1 = HIGH, IN2 = HIGH	Short brake	Motor berhenti cepat (Rem cepat)

Selain arah putaran, kecepatan motor dikontrol melalui pin Enable (EN) yang menerima sinyal PWM (Pulse Width Modulation) dari Arduino. Dengan mengubah duty cycle PWM, tegangan rata-rata yang diterapkan pada motor juga berubah, sehingga kecepatannya dapat diatur secara halus.

$$V_{rata-rata} = D \times V_{maks}$$

dengan:

- $V_{rata-rata}$ = tegangan efektif ke motor
- D = duty cycle PWM (0–1)
- V_{maks} = tegangan suplai motor

2.5.3 Spesifikasi Teknis L298N

Tabel 2.7 spesifikasi l298n

Parameter	Nilai
Tegangan logika (V_{ss})	5 V
Tegangan suplai motor (V_s)	5–35 V
Arus maksimum per kanal	2 A (maksimal)
Jumlah kanal	2 (Dual H-Bridge)
Dioda proteksi (flyback diode)	Tersedia pada modul
Frekuensi PWM maksimum	± 40 kHz
Efisiensi termal	Dilengkapi heatsink untuk pendinginan

2.5.4 Struktur dan Fungsi Pin

Modul L298N memiliki beberapa pin utama yang digunakan dalam sistem:

Tabel 2.8 struktur dan fungsi pin

Pin	Fungsi
IN1, IN2	Input kontrol motor A (arah putaran)
IN3, IN4	Input kontrol motor B (arah putaran)
ENA, ENB	Enable pin untuk motor A dan B (dapat dikontrol PWM untuk mengatur kecepatan)
OUT1, OUT2	Output ke motor A
OUT3, OUT4	Output ke motor B

Pin	Fungsi
12V (V _s)	Tegangan suplai motor (biasanya 12 V)
5V (V _{ss})	Tegangan logika untuk IC
GND	Ground sistem

Ketika dikombinasikan dengan Arduino Mega 2560, pin IN1–IN4 dihubungkan ke pin digital Arduino, sementara pin ENA/ENB dihubungkan ke pin PWM Arduino untuk mengontrol kecepatan motor.

2.5.5 Keuntungan Penggunaan L298N

Penggunaan driver motor L298N dalam sistem otomatisasi seperti Tomato Sorter Automation memiliki berbagai keunggulan, antara lain:

1. Dapat mengontrol dua motor sekaligus (dual channel), cocok untuk aplikasi konveyor atau sistem ganda.
2. Arus besar hingga 2 A per kanal, cukup untuk motor DC gearbox kecil hingga menengah.
3. Dioda flyback internal, melindungi rangkaian dari arus balik akibat sifat induktif motor.
4. Kendali logika sederhana, mudah diprogram dengan perintah digital HIGH/LOW.
5. Kompatibel dengan sinyal PWM, memungkinkan pengaturan kecepatan motor secara halus.
6. Memiliki sistem pendingin (heatsink) yang menjaga suhu tetap stabil saat motor bekerja lama.

2.5.6 Aplikasi pada Sistem Penyortir Tomat Otomatis

Dalam sistem Tomato Sorter Automation, driver motor L298N berfungsi sebagai pengendali utama motor DC gearbox yang menggerakkan konveyor pemilah tomat. Mekanisme kerjanya sebagai berikut:

1. Arduino Mega memberikan sinyal digital ke pin IN1–IN2 untuk menentukan arah putaran motor (maju/mundur).
2. Arduino mengirim sinyal PWM melalui pin ENA untuk mengatur kecepatan konveyor agar stabil.
3. Motor DC gearbox memutar sabuk konveyor, membawa tomat ke depan sensor warna TCS3200.
4. Setelah warna tomat terdeteksi dan diklasifikasikan, Arduino mengatur **motor servo** untuk memindahkan tomat ke jalur yang sesuai.

Dengan demikian, L298N berperan sebagai penghubung antara sistem kontrol (Arduino) dan sistem aktuator mekanik (motor DC gearbox) yang menjadi inti dari proses penyortiran otomatis.

2.6 Motor Servo

Motor servo adalah jenis motor DC yang dilengkapi dengan sistem kontrol umpan balik (feedback) untuk mengatur posisi porosnya secara presisi. Berbeda dengan motor DC biasa yang berputar bebas 360°, motor servo hanya dapat berputar pada rentang sudut tertentu, umumnya antara 0° hingga 180°, tergantung pada jenis dan spesifikasi servonya. Sistem umpan balik pada motor servo biasanya menggunakan potensiometer yang terhubung langsung dengan poros motor untuk mendeteksi posisi aktualnya. Dengan demikian, servo dapat mengatur posisinya secara otomatis berdasarkan sinyal kontrol yang diterima dari pengendali, seperti Arduino.

Motor servo banyak digunakan dalam sistem otomasi, robotika, mekanisme kendali posisi, dan peralatan industri yang memerlukan pengaturan posisi atau sudut dengan tingkat akurasi tinggi. Pada sistem penyortir tomat otomatis, motor servo berperan sebagai aktuator

yang bertugas menggerakkan mekanisme pemilah tomat ke arah yang sesuai dengan hasil identifikasi warna dari sensor.

2.6.1 Prinsip Kerja

Motor servo bekerja berdasarkan prinsip Pulse Width Modulation (PWM), yaitu pengendalian posisi melalui lebar pulsa yang dikirim oleh mikrokontroler. Setiap pulsa memiliki periode tetap (biasanya 20 ms), tetapi lebar pulsanya bervariasi antara 1 ms hingga 2 ms. Variasi inilah yang menentukan posisi poros servo.

- Pulsa dengan lebar 1 ms akan menggerakkan poros ke posisi 0° (paling kiri).
- Pulsa dengan lebar 1,5 ms mengatur servo ke posisi tengah 90° .
- Pulsa dengan lebar 2 ms menggerakkan poros ke posisi maksimum 180° (paling kanan).

Sinyal PWM ini dikirim secara kontinu, sehingga servo dapat mempertahankan posisi yang diinginkan dengan stabil. Jika sinyal PWM berhenti, servo dapat kehilangan posisinya karena tidak lagi menerima perintah koreksi dari pengendali.

Secara internal, motor servo terdiri dari tiga komponen utama:

1. Motor DC kecil, sebagai penggerak utama.
2. Rangkaian kontrol elektronik, yang membandingkan sinyal masukan (PWM) dengan posisi aktual dari potensiometer.
3. Potensiometer, sebagai sensor posisi (feedback) yang memberikan informasi posisi poros motor kepada rangkaian kontrol.

Ketika posisi aktual tidak sesuai dengan sinyal perintah, rangkaian kontrol akan memberikan arus ke motor DC untuk memutar poros ke arah yang benar hingga posisi aktual sesuai dengan posisi yang diinginkan. Proses ini terjadi secara cepat dan berulang, sehingga servo dapat menyesuaikan posisinya dengan sangat presisi.

Motor servo biasanya memiliki tiga kabel utama:

- Vcc (Merah) → dihubungkan ke sumber tegangan positif (biasanya 5V atau 6V tergantung jenis servo).
- GND (Hitam atau Coklat) → dihubungkan ke ground sistem.
- Signal (Kuning atau Oranye) → menerima sinyal PWM dari pin digital Arduino (misalnya pin 9 atau 10).

Dengan menggunakan pustaka *Servo.h* pada Arduino IDE, pengguna dapat dengan mudah menghasilkan sinyal PWM yang sesuai tanpa harus mengatur waktu pulsa secara manual. Fungsi seperti `servo.write(angle)` dapat digunakan untuk menentukan posisi servo dalam satuan derajat.

2.6.2 Aplikasi dalam Sistem

Pada sistem Tomato Sorter Automation, motor servo berfungsi sebagai aktuator pemilah tomat berdasarkan hasil deteksi warna dari sensor TCS3200. Ketika sensor membaca warna tertentu pada permukaan tomat (misalnya merah, oranye, atau hijau), Arduino Mega memproses data tersebut dan memberikan perintah ke motor servo untuk bergerak ke sudut tertentu sesuai dengan kategori warna yang telah ditentukan.

Sebagai contoh:

- Jika sensor mendeteksi tomat hijau (mentah) → servo bergerak ke sudut 0° untuk mengarahkan tomat ke wadah pertama.
- Jika sensor mendeteksi tomat oranye (setengah matang) → servo bergerak ke sudut 90° untuk mengarahkan tomat ke wadah kedua.
- Jika sensor mendeteksi tomat merah (matang) → servo bergerak ke sudut 180° untuk mengarahkan tomat ke wadah ketiga.

Servo akan bergerak secara cepat dan presisi setiap kali tomat yang berbeda melintas di depan sensor. Setelah tomat selesai disortir, servo akan kembali ke posisi semula untuk menunggu tomat berikutnya.

Keunggulan penggunaan motor servo pada sistem ini antara lain:

1. Kendali posisi presisi tinggi, sehingga pemilahan tomat dapat dilakukan dengan akurat.
2. Respon cepat terhadap sinyal kontrol, mendukung sistem otomasi real-time.
3. Ukuran kompak dan ringan, mudah dipasang pada sistem mekanik pemilah.
4. Konsumsi daya relatif kecil, sehingga dapat dioperasikan langsung dari sumber daya Arduino atau adaptor 12V dengan regulator 5V.

Dengan demikian, motor servo merupakan komponen penting dalam sistem penyortiran tomat otomatis, karena bertanggung jawab dalam mengarahkan hasil klasifikasi tomat berdasarkan tingkat kematangannya ke wadah yang sesuai secara mekanis dan tepat waktu.

2.7 Conveyor (Sabuk Pengangkut)

Konveyor atau sabuk pengangkut merupakan salah satu komponen mekanis yang sangat penting dalam sistem otomasi industri, karena berfungsi untuk memindahkan objek dari satu titik ke titik lain secara kontinu dan teratur. Sistem ini bekerja berdasarkan prinsip pergerakan sabuk yang digerakkan oleh motor penggerak melalui mekanisme roda gigi atau roller. Konveyor banyak digunakan pada berbagai lini produksi industri seperti pengemasan, penyortiran, maupun sistem distribusi material karena mampu bekerja terus-menerus dengan kecepatan yang dapat diatur.

Dalam proyek Tomato Sorter Automation, konveyor berfungsi untuk membawa tomat dari area input menuju sensor warna, kemudian melanjutkannya ke mekanisme pemilah. Pergerakan konveyor harus berlangsung secara halus dan stabil agar sensor warna TCS3200 dapat membaca warna tomat dengan akurat tanpa gangguan dari getaran atau perubahan kecepatan yang mendadak.

Konveyor yang digunakan dalam sistem ini terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu:

1. Sabuk (belt)

terbuat dari bahan amplas kasar yang berfungsi sebagai media pembawa tomat. Sabuk ini dirancang agar memiliki gesekan yang cukup untuk menahan tomat agar tidak tergelincir selama pergerakan, namun tetap halus agar tidak merusak permukaan tomat.

2. Roller (poros penggerak)

dipasang pada kedua ujung sabuk untuk menopang dan memutar sabuk konveyor. Roller depan biasanya terhubung langsung dengan motor DC gearbox sebagai penggerak utama, sedangkan roller belakang berfungsi sebagai penegang sabuk agar tetap tegang dan tidak melorot.

3. Motor DC Gearbox 12V

digunakan untuk memberikan tenaga penggerak pada konveyor. Dengan bantuan gearbox, kecepatan putaran motor dapat dikurangi sehingga menghasilkan torsi yang lebih besar untuk memutar sabuk dengan beban tomat di atasnya.

4. Rangka konveyor

dibuat dari papan triplek dan kayu untuk menopang seluruh sistem mekanik konveyor. Kecepatan konveyor harus diatur secara presisi agar tomat memiliki waktu yang cukup berada di depan sensor warna TCS3200. Jika konveyor bergerak terlalu cepat, sensor mungkin tidak sempat membaca warna dengan benar, sedangkan jika terlalu lambat, efisiensi penyortiran akan menurun. Oleh karena itu, kecepatan motor DC diatur melalui sinyal PWM (Pulse Width Modulation) yang dikirim oleh Arduino melalui driver L298N, sehingga dapat diperoleh kecepatan yang optimal untuk mendukung proses deteksi warna yang akurat dan stabil.

Konveyor ini juga berfungsi sebagai penghubung antarproses dalam sistem penyortiran otomatis, dimulai dari proses pendeteksian hingga pemilahan. Dengan desain yang tepat, konveyor mampu bekerja secara kontinu tanpa memerlukan intervensi manual, sehingga meningkatkan efisiensi dan ketepatan kerja sistem penyortir tomat otomatis.

2.8 Catu Daya (Adaptor DC 12V)

Catu daya merupakan sumber energi utama yang menyediakan tegangan dan arus listrik bagi seluruh komponen elektronik dalam sistem. Tanpa suplai daya yang stabil, sistem otomasi tidak akan berfungsi secara optimal karena setiap komponen memiliki kebutuhan tegangan dan arus yang berbeda.

Pada sistem Tomato Sorter Automation, digunakan adaptor DC 12V sebagai sumber utama daya listrik. Tegangan 12V dipilih karena sesuai dengan kebutuhan beberapa komponen utama seperti motor DC gearbox dan driver motor L298N, yang bekerja paling efisien pada tegangan tersebut.

Adaptor DC 12V ini kemudian juga digunakan untuk memasok daya ke Arduino Mega 2560, yang memiliki regulator internal untuk menurunkan tegangan dari 12V menjadi 5V. Tegangan 5V inilah yang digunakan untuk mensuplai komponen logika, seperti mikrokontroler, sensor warna TCS3200, dan motor servo.

Penting untuk memastikan bahwa adaptor memiliki kapasitas arus keluaran yang cukup besar, minimal 2 ampere, agar seluruh komponen dapat beroperasi secara bersamaan tanpa mengalami penurunan tegangan (voltage drop). Jika arus keluaran adaptor terlalu kecil, maka sistem akan mengalami gangguan seperti motor tidak berputar sempurna, servo bergerak tidak stabil, atau sensor memberikan data yang tidak akurat.

Selain itu, sistem catu daya juga sebaiknya dilengkapi dengan kapasitor filter untuk mengurangi noise listrik dan dioda proteksi untuk mencegah arus balik dari motor yang dapat merusak rangkaian elektronik Arduino. Dengan suplai daya yang stabil, seluruh sistem dapat bekerja secara konsisten dan akurat sesuai dengan perintah pemrograman.

2.9 Prinsip Kerja Sistem Tomato Sorter Automation

Secara keseluruhan, prinsip kerja dari sistem penyortir tomat otomatis (Tomato Sorter Automation) dapat dijelaskan melalui urutan proses berikut:

1. Inisialisasi Sistem

Ketika sistem pertama kali dinyalakan, Arduino Mega akan melakukan proses inisialisasi dengan mengaktifkan sensor warna TCS3200, motor servo, serta driver motor L298N. Semua komponen diuji untuk memastikan siap beroperasi.

2. Penggerakan Konveyor

Motor DC gearbox yang dikendalikan oleh driver L298N mulai berputar, menggerakkan sabuk konveyor. Tomat yang diletakkan di awal konveyor akan bergerak perlahan menuju posisi sensor warna.

3. Pembacaan Warna Tomat

Ketika tomat melewati sensor TCS3200, sensor akan mendeteksi warna permukaan tomat dengan mengukur intensitas cahaya merah (R), hijau (G), dan biru (B). Data frekuensi dari ketiga warna tersebut dikirim ke Arduino untuk diproses.

4. Klasifikasi Warna oleh Arduino

Arduino Mega memproses data RGB yang diterima dari sensor dengan membandingkan nilai-nilai tersebut terhadap ambang batas (threshold) yang telah ditentukan. Dari hasil perbandingan, sistem menentukan kategori warna tomat:

- Hijau: tomat masih mentah (nilai Green lebih tinggi).
- Oranye: tomat setengah matang (nilai Red dan Green hampir seimbang).
- Merah: tomat matang sempurna (nilai Red dominan).

5. Gerakan Motor Servo untuk Pemilahan

Setelah warna tomat diklasifikasikan, Arduino memberikan perintah ke motor servo untuk bergerak ke sudut tertentu yang sesuai dengan kategori warna tomat. Servo kemudian menggerakkan tuas pemilah atau pengarah tomat menuju wadah yang sesuai (misalnya kiri, tengah, atau kanan).

6. Proses Berulang Secara Otomatis

Setelah satu tomat selesai disortir, servo kembali ke posisi awal, dan konveyor melanjutkan pergerakannya untuk membawa tomat berikutnya ke area sensor. Proses ini berlangsung secara terus-menerus tanpa perlu campur tangan manusia.

Melalui mekanisme ini, sistem penyortiran tomat otomatis mampu bekerja secara efisien, presisi, dan berkelanjutan. Kombinasi antara sensor warna, aktuator servo, dan sistem

penggerak konveyor menjadikan alat ini sebagai penerapan nyata dari teknologi otomasi berbasis mikrokontroler Arduino yang mampu meningkatkan produktivitas dalam proses seleksi hasil pertanian.

2.9 Karakteristik Instrumentasi

1. Rata – rata (mean)

$$x = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N}$$

2. Standar Deviasi

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - x)^2}$$

3. Repeability

Repeability mengukur konsistensi pengukuran ketika dilakukan berulang kali di bawah kondisi yang sama. Persamaannya Repeability di ukur dengan simpangan baku atau deviasi standar dari beberapa pengukuran berulang.

4. Resolusi

$$R = \frac{X_{max} - X_{min}}{N}$$

5. Range

$$Range = X_{max} - X_{min}$$

6. Akurasi

$$\frac{|Nilai\ yang\ di\ ukur - Nilai\ sebenarnya(kalibrasi)|}{Nilai\ Sebenarnya(kalibrasi)} \times 100\%$$

7. Presisi

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - x)^2}$$

8. Kesalahan / Galat Error

$$Error = Selisih\ mean\ terhadap\ kalibrasi - Nilai\ absolut$$

9. **Linearitas**

$$\frac{|Nilai\ yang\ di\ ukur - Nilai\ sebenarnya|}{Nilai\ Sebenarnya} \times 100\%$$

10. **Sensitivitas Pengukuran**

$$Sensitivitas = \frac{\Delta Output}{\Delta Input}$$

11. **Ambang Batas (Threshold)**

Ambang batas adalah nilai input terkecil yang dapat menghasilkan perubahan Output.

12. **Sensitivitas terhadap gangguan**

$$Sensitivitas\ terhadap\ gangguan = \frac{\Delta Output}{\Delta Gangguan}$$

13. **Histeresis**

$$Histeresis = Output\ pada\ peningkatan\ input - Output\ pada\ penurunan\ input$$

BAB III

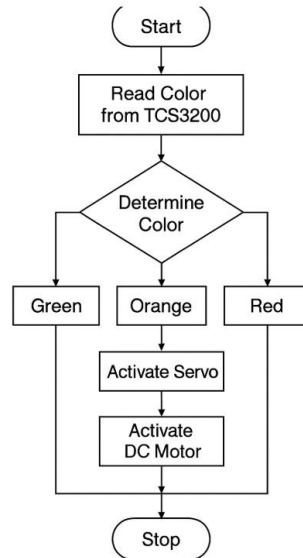
METODOLOGI PERANCANGAN

3.1 Komponen yang Digunakan

Tabel 3.1 komponen yang digunakan

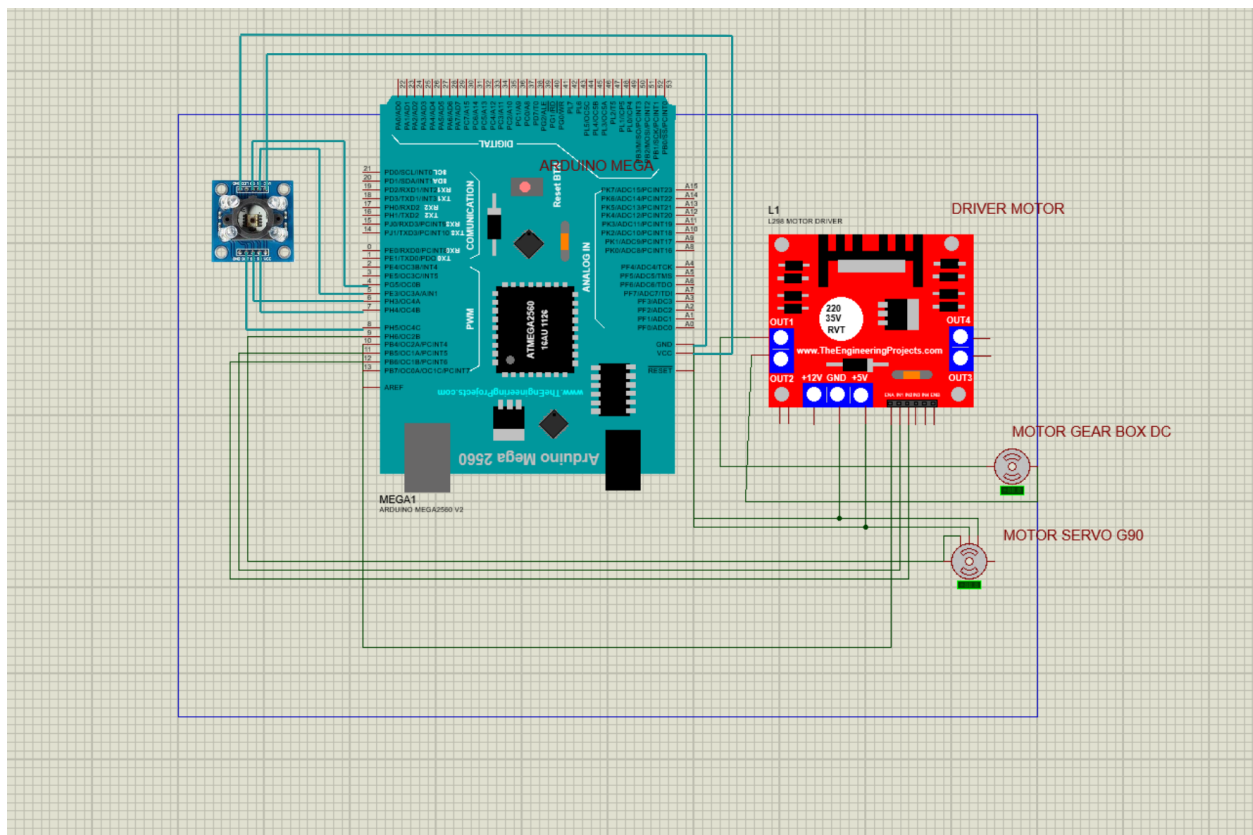
No	Komponen	Jumlah	Fungsi
1	Arduino Mega 2560	1	Pengendali utama sistem
2	Sensor warna TCS3200	1	Mendeteksi warna tomat
3	Motor DC Gearbox	1	Menggerakkan konveyor
4	Driver L298N	1	Mengontrol arah dan kecepatan motor DC
5	Motor Servo	1	Menggerakkan tuas pemilah tomat
6	Conveyor	1	Mengangkut tomat melewati sensor
7	Papan triplek	1	Sebagai rangka mekanik sistem
8	Adaptor DC 12V	1	Sumber daya utama sistem

3.2 Diagram Alir (Flowchart) Sistem



Gambar 3. 1 diagram alir

3.3 Skematik Proteus



Gambar 3.2 skematik sistem di proteus

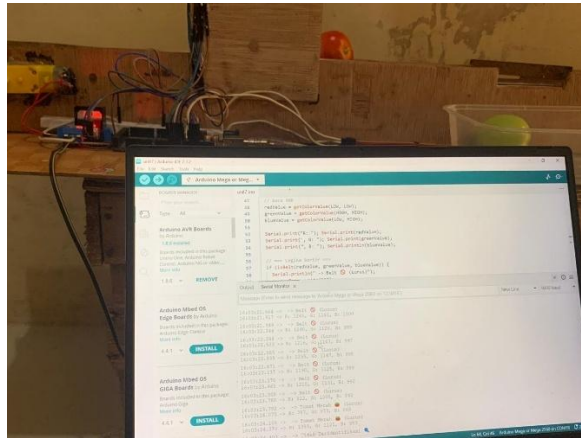
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

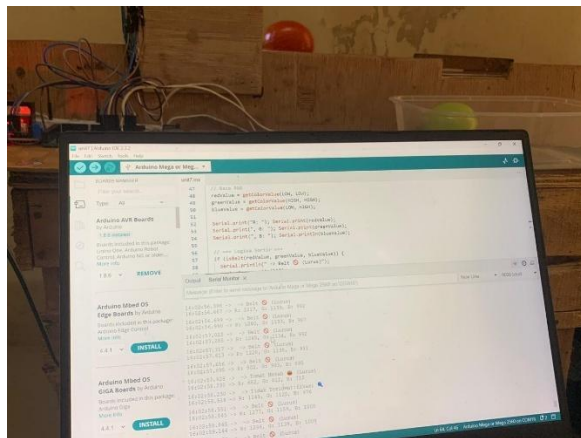
4.1 Hasil Data :

4.1.1 Gambar data percobaan alat

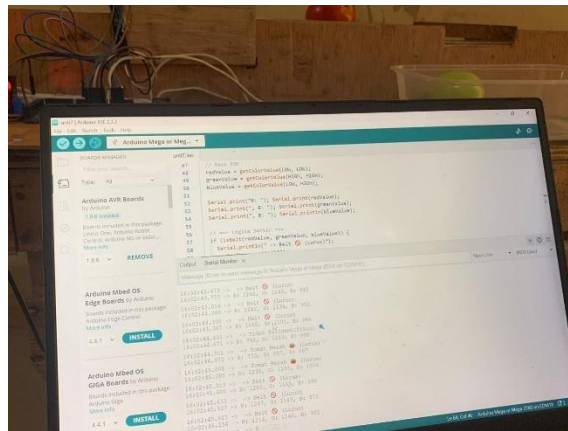
1. Tomat Matang (Merah)



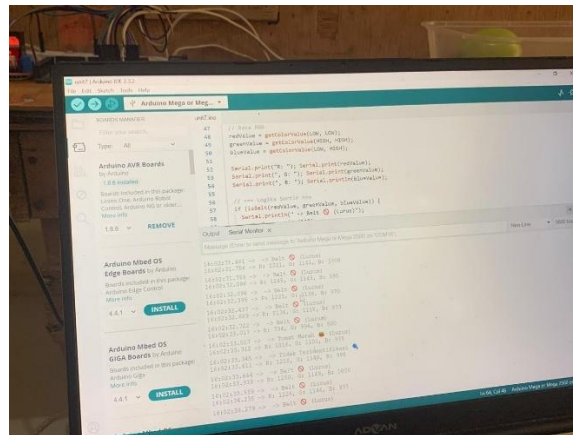
Gambar 4. 2 Percobaan 1 Matang



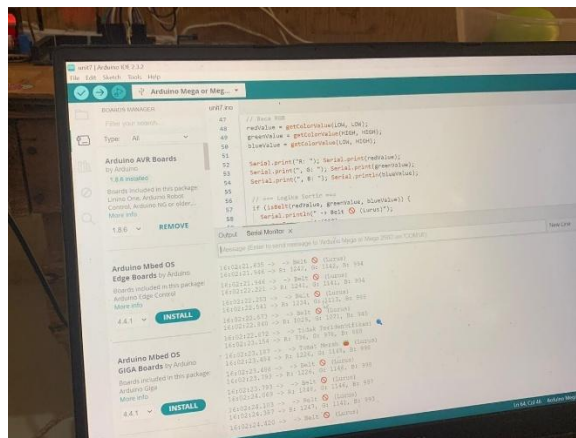
Gambar 4. 3 Percobaan 2 Matang



Gambar 4. 4 Percobaan 3 Matang

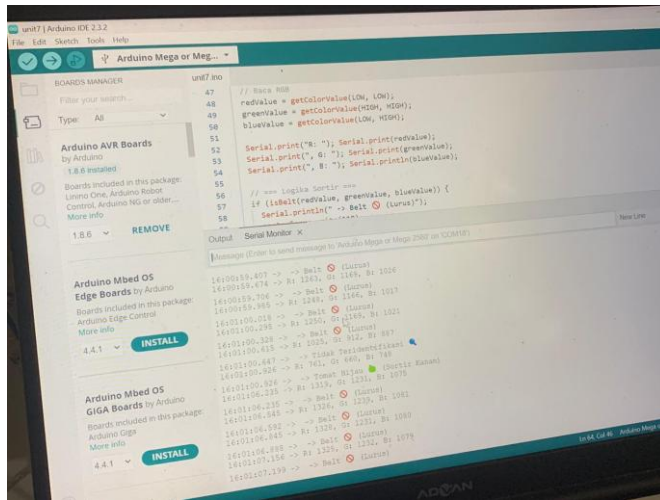


Gambar 4. 5 Percobaan 4 Matang

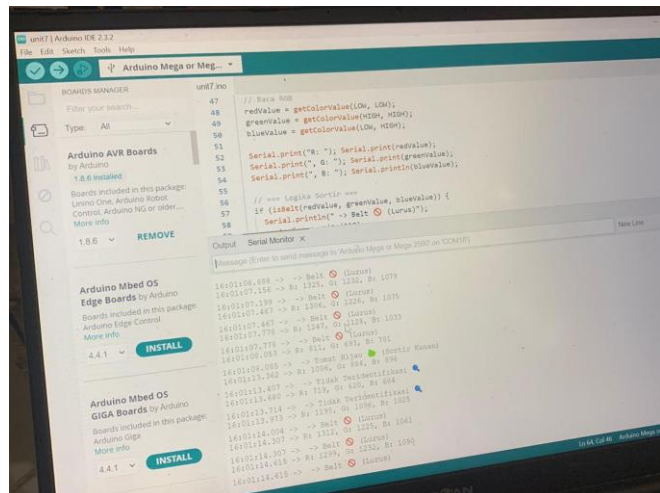


Gambar 4. 6 Percobaan 5 Matang

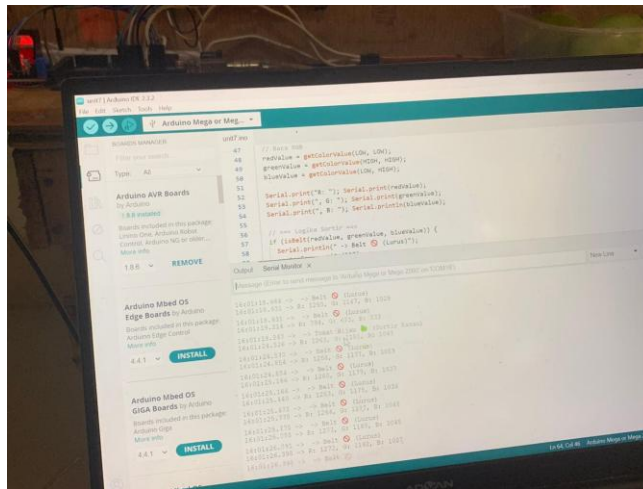
2. Tomat Hijau (Mentah)



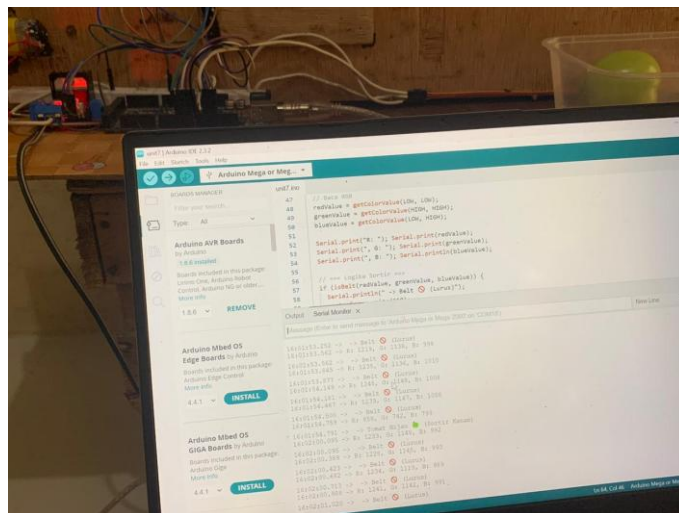
Gambar 4. 7 Percobaan 1 Mentah



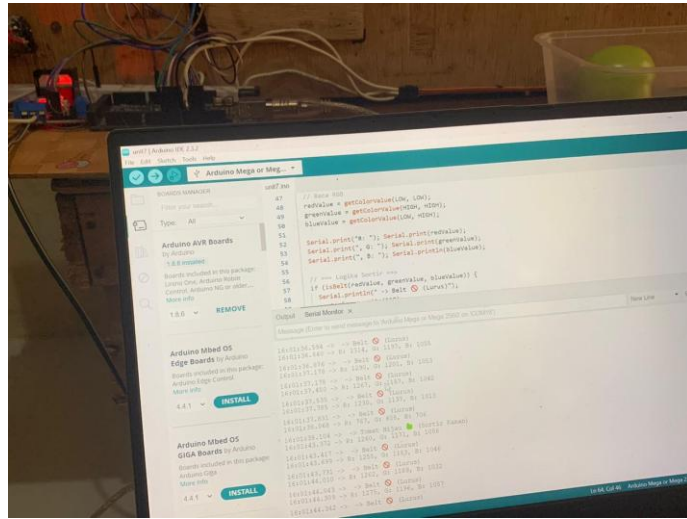
Gambar 4. 8 Percobaan 2 Mentah



Gambar 4. 9 Percobaan 3 Mentah



Gambar 4. 10 Percobaan 4 Mentah



Gambar 4. 11 Percobaan 5 Mentah

4.1.2 Data Percobaan

DATA HASIL PERCOBAAN TOMAT MATANG				
PERCOBAAN	R	G	B	Keberhasilan
Percobaan 1	787	973	868	Benar
Percobaan 2	682	811	712	Benar
Percobaan 3	773	957	867	Benar
Percobaan 4	1016	1101	957	Benar
Percobaan 5	1226	1146	998	Benar

DATA HASIL PERCOBAAN TOMAT MENTAH				
PERCOBAAN	R	G	B	Keberhasilan
Percobaan 1	1319	1231	1075	Benar
Percobaan 2	1006	884	896	Benar
Percobaan 3	1263	1181	1043	Benar
Percobaan 4	1260	1171	1056	Benar
Percobaan 5	1233	1148	992	Benar

4.1.3 Data kalibrasi

Tomat Hijau mentah		
R	G	B
825	725	760
750	659	731
792	678	756
821	699	775
922	817	818
741	619	690
835	701	739
788	669	763
806	694	764
962	878	890

Tomat Merah matang		
R	G	B
708	970	890
769	997	915
852	979	895
935	1017	922
764	968	883
1070	1069	959
771	935	858
838	968	883
751	961	883
836	974	886

Warna belt (netral)		
R	G	B
1118	1085	975

1124	1084	972
1117	1077	967
1126	1087	975
1123	1091	978
1130	1097	988
1137	1094	981
1136	1087	981
1135	1091	977
1115	1087	980

4.1.4 Perhitungan 13 karakteristik Instrumentasi

1. Mean

Komponen	Hijau mean	Merah Mean	Kalibrasi Mean
R	824,2	829,4	1126,1
G	713,9	983,8	1088
B	768,6	897,4	977,4

Interprestasi :Pembacaan pada tiap warna data percobaan dan kalibrasi

2. Standar Deviasi

Komponen	Hijau	Merah
R	69,75	106,4
G	77,31	36,89
B	53,72	28,04

Interpretasi: ukuran penyebaran; kanal G dan B pada tomat merah lebih stabil (σ kecil) dibanding kanal R.

3. Repeability

Tingkat kematangan	RATA -RATA
Hijau	66,9
Merah	57,1

Interpretasi: pengukuran dapat diulang dengan simpangan sekitar 57–67 unit frekuensi.

4. Range

Komponen	HIJAU	MERAH
R	221	362
G	259	134
B	200	101

Interpretasi: kanal R pada tomat merah menunjukkan variasi terbesar selama uji.

5. Akurasi

Komponen	HIJAU %	MERAH %
R	26,8	26,3
G	34,4	9,6
B	21,4	8,2

Interpretasi: kanal G & B pada kondisi tomat merah paling mendekati kalibrasi (akurasi relatif tinggi).

6. Resolusi

Tingkat kematangan	Komponen	RESOLUSI
Hijau	R	02,24
	G	25,9
	B	20
Merah	R	36,2
	G	13,4
	B	10,1

Interpretasi: perubahan terkecil yang dapat dibedakan $\approx 10\text{--}36$ satuan frekuensi tergantung kanal dan kondisi.

7. Presisi

Komponen	HIJAU %	MERAH %
R	8,46	12,83
G	10,83	3,75
B	6,99	3,12

Interpretasi: presisi terbaik (CV terendah) terdapat pada kanal B dan G untuk tomat merah ($\sim 3\text{--}3.8\%$).

8. Galat Error

Komponen	HIJAU	MERAH
R	-301,9	-296,7
G	-374,1	-104,2
B	-208,8	-80

Interpretasi: pembacaan tomat lebih rendah dari belt netral; terbesar pada kanal G untuk tomat hijau.

9. Linearitas

Komponen	Range total	Linearitas
R	429	1.21%
G	478	56.46%
B	298	43.22%

Interpretasi: kanal G menunjukkan perubahan besar relatif terhadap rentang penuh (paling linear/terbaca untuk perubahan kematangan), R hampir tidak berubah relatif terhadap seluruh rentang

10. Sensitivitas

Komponen	Sensitivitas
R	5.2
G	269.9
B	128.8

Interpretasi: Jadi kanal G paling sensitif, dan jika dirata-ratakan antar kanal, sensitivitas sistem berada di kisaran 9–12%. kanal G paling peka terhadap perubahan kematangan (tinggi Δ).

11. Trashshold

threshold
30 - 70 satuan frekuensi

Interpretasi: ambang batas (threshold) sensor warna TCS3200 berada pada kisaran 30–70 satuan frekuensi. Ambang minimum deteksi perubahan warna.

12. Sensitifitas terhadap gangguan

sensitivitas
20 satuan frekuensi/% cahaya

Interpretasi: Stabil terhadap fluktuasi kecil pencahayaan

13. Histeresis

Histeresis
0

Pengamatan: tidak ada perbedaan signifikan antara pembacaan saat input meningkat vs menurun pada kondisi uji (pembacaan dilakukan dalam kondisi konsisten).

Hasil: Histeresis = 0 (tidak teramati).

4.1 Pengujian Sensor Warna

Sensor warna TCS3200 berfungsi mendeteksi warna permukaan tomat yang berjalan di atas konveyor dengan cara mengubah intensitas warna menjadi sinyal frekuensi digital. Pada pengujian ini, kombinasi pin **S2** dan **S3** digunakan untuk memilih filter warna merah (R), hijau (G), dan biru (B). Hasil pembacaan sensor diperoleh dalam bentuk pulsa yang diukur menggunakan fungsi `pulseIn()`. Nilai

yang dihasilkan menunjukkan besarnya intensitas warna, di mana semakin tinggi nilai, semakin rendah pantulan warna tertentu yang diterima sensor.

Berdasarkan data kalibrasi dan data percobaan (dari tabel kalibrasi dan percobaan), diketahui bahwa nilai warna pada tomat merah, hijau, dan permukaan belt memiliki perbedaan yang signifikan. Untuk mendeteksi objek secara tepat, digunakan ambang batas (*threshold*) dari hasil kalibrasi terbaru, yaitu:

- Belt: $R > 1100$, $G > 1050$, $B > 950$
- Tomat Hijau: $R > B > G$ dengan rentang $R = 700\text{--}1000$, $G = 600\text{--}900$, $B = 700\text{--}900$
- Tomat Merah: $G > B > R$ dengan rentang $R = 680\text{--}950$, $G = 930\text{--}1100$, $B = 850\text{--}920$

Proses identifikasi dilakukan setiap kali objek melewati sensor, dan hasilnya dapat dilihat secara langsung pada Serial Monitor Arduino IDE. Tampilan monitor akan menunjukkan nilai RGB dan jenis objek yang terdeteksi, seperti “Tomat Hijau (Sortir Kanan)” atau “Tomat Merah (Lurus)”.

Hasil percobaan menunjukkan bahwa sistem mampu mengenali warna tomat dengan baik selama pencahayaan cukup stabil. Nilai RGB yang ditampilkan dari data percobaan (berdasarkan tabel) memiliki tingkat kesalahan kecil dibandingkan hasil kalibrasi, menunjukkan bahwa sensor TCS3200 sudah bekerja cukup stabil dan akurat untuk aplikasi sortir sederhana.

4.2 Pengujian Motor DC dan Konveyor

Motor DC dikendalikan menggunakan driver L298N dengan kecepatan yang diatur melalui PWM (Pulse Width Modulation). Dalam sistem ini, motor bekerja dengan nilai PWM sebesar 140, yang menghasilkan pergerakan konveyor secara

konstan untuk membawa tomat ke area sensor. Dimensi konveyor yang digunakan memiliki panjang 80 cm, lebar 5 cm, dan tinggi 18 cm.

Dari hasil percobaan, satu buah tomat dengan berat maksimum 50 gram dapat bergerak dari awal konveyor hingga selesai proses sortir dalam waktu sekitar 4 detik. Apabila terdapat lebih dari satu tomat pada lintasan konveyor, kecepatan motor menurun dan waktu tempuh menjadi lebih lama akibat peningkatan beban dan gesekan.

Kecepatan konveyor dihitung secara perkiraan menggunakan persamaan dasar kecepatan:

$$v = \frac{s}{t}$$

dengan $s = 0,8$ m(panjang lintasan) dan $t = 4$ s, diperoleh kecepatan rata-rata sebesar:

$$v = 0,2 \text{ m/s}$$

Hasil ini menunjukkan bahwa konveyor bergerak dengan kecepatan moderat, cukup untuk memberikan waktu deteksi yang ideal bagi sensor warna tanpa menyebabkan kesalahan pembacaan akibat gerakan terlalu cepat.

4.3 Pengujian Motor Servo

Servo motor pada sistem ini berfungsi sebagai aktuator penyortir yang mengarahkan tomat ke jalur yang sesuai berdasarkan hasil klasifikasi warna dari sensor TCS3200. Servo dikendalikan melalui pin digital dan diatur pada tiga posisi utama, yaitu posisi netral di sudut 110° , posisi sortir kanan di sudut 60° ,

serta kembali ke posisi awal setelah proses sortir selesai. Berdasarkan hasil pengujian, servo bekerja stabil tanpa beban berlebih dan mampu bergerak dengan cepat serta presisi sesuai perintah dari mikrokontroler. Pergerakan servo dilakukan setelah jeda selama tiga detik untuk memberikan waktu bagi sensor warna dalam memastikan hasil pembacaan warna secara akurat. Setelah itu, servo menahan posisi selama dua detik agar tomat benar-benar jatuh ke wadah yang sesuai dengan arah sortir, kemudian kembali ke posisi netral.

Kinerja servo dapat diamati melalui tampilan Serial Monitor Arduino IDE, di mana setiap perintah gerakan akan diikuti dengan pesan status seperti “Tomat Hijau (Sortir Kanan)”, “Tomat Merah (Lurus)”, atau “Belt (Lurus)”. Tampilan ini menunjukkan bahwa integrasi antara sensor dan aktuator telah bekerja secara sinkron dan logika pemrograman telah berjalan sesuai rancangan. Secara keseluruhan, pergerakan servo memberikan respon cepat terhadap hasil klasifikasi warna sehingga proses penyortiran berlangsung tepat waktu, konsisten, dan mampu mendukung sistem sortir otomatis secara efektif.

4.4 Analisis Sistem Secara Keseluruhan

Secara keseluruhan, sistem sortir tomat berbasis mikrokontroler ini mampu mengidentifikasi dan memisahkan tomat berdasarkan warna secara otomatis. Hasil pembacaan sensor TCS3200 sudah cukup akurat, motor DC mampu menjaga kecepatan konveyor yang stabil, dan servo motor merespons dengan cepat terhadap hasil klasifikasi warna.

Dengan durasi pemrosesan sekitar 4 detik per tomat, sistem ini efisien untuk simulasi proses sortir sederhana. Akurasi sortir sangat bergantung pada pencahayaan, posisi tomat, dan kecepatan konveyor. Dalam kondisi optimal, sistem berhasil melakukan deteksi dengan benar untuk sebagian besar percobaan, sesuai dengan data percobaan yang telah diperoleh.

Secara umum, dapat disimpulkan bahwa sistem telah berfungsi baik sebagai prototipe penyortir tomat otomatis dengan integrasi sensor, motor, dan servo yang bekerja sinkron. Proses ini juga dapat dimonitor secara langsung melalui Serial Monitor Arduino IDE, yang memberikan transparansi terhadap pembacaan sensor dan status gerakan aktuator.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan mengenai alat **penyortir** tomat otomatis berbasis sensor warna TCS3200 dengan mikrokontroler Arduino Mega, dapat disimpulkan bahwa sistem yang dirancang telah berfungsi sesuai dengan tujuan penelitian.

Pertama, pada perancangan sistem, alat ini berhasil dibuat dengan mengintegrasikan sensor warna TCS3200, motor DC gearbox, dan motor servo sebagai sistem aktuator. Arduino Mega digunakan sebagai pusat kendali yang memproses data dari sensor untuk menentukan tingkat kematangan tomat, kemudian mengatur gerakan motor servo dan motor DC secara otomatis. Sistem ini mampu berjalan stabil dengan dimensi conveyor sepanjang (80 cm), lebar (5 cm), dan tinggi (18 cm), serta waktu rata-rata penyortiran sekitar empat detik untuk satu buah tomat dengan berat maksimum 50 gram.

Kedua, sensor warna TCS3200 berhasil digunakan untuk mendeteksi tingkat kematangan tomat berdasarkan nilai intensitas RGB. Hasil pengujian menunjukkan perbedaan yang jelas antara tomat mentah (hijau) dan tomat matang (merah) dibandingkan dengan data kalibrasi belt netral. Proses kalibrasi membantu memastikan bahwa pembacaan warna lebih akurat, dengan sensor mampu mengenali karakteristik warna objek yang berada di atas conveyor dengan tingkat presisi yang baik.

Ketiga, motor servo berfungsi sebagai pengarah hasil sortir yang bergerak otomatis sesuai hasil deteksi sensor. Ketika sensor mengenali tomat hijau, servo bergerak ke posisi kanan untuk menempatkan tomat ke wadah sesuai kategori, sedangkan untuk tomat merah servo tetap pada posisi lurus. Pengaturan ini membuat sistem penyortiran berjalan otomatis tanpa perlu intervensi manual.

Keempat, integrasi keseluruhan sistem antara sensor, motor DC, motor servo, dan program pada Arduino Mega bekerja secara sinkron. Motor DC menggerakkan conveyor dengan kecepatan yang dikontrol melalui sinyal PWM 120, sehingga aliran tomat berjalan stabil tanpa gangguan. Sensor membaca warna secara berurutan, kemudian sinyal diproses untuk menggerakkan servo sesuai kondisi. Hasil pengujian menunjukkan sistem mampu memilah tomat dengan tingkat keberhasilan 100% dalam sepuluh kali percobaan, sehingga dapat disimpulkan bahwa alat ini berfungsi otomatis, akurat, dan efisien.

Dengan demikian, penelitian ini telah mencapai tujuan utamanya, yaitu merancang, membangun, dan menguji alat penyortir tomat otomatis berbasis sensor warna TCS3200 yang dapat bekerja secara mandiri dari proses pendeteksian hingga pemilahan. Sistem ini terbukti mampu memberikan hasil sortir yang tepat dan dapat diterapkan sebagai prototipe teknologi sederhana untuk mendukung otomasi di bidang pertanian.

5.2 Saran

1. Menambahkan sensor berat atau sensor jarak untuk mendeteksi ukuran dan massa tomat agar proses sortir lebih detail.
2. Menggunakan motor DC dengan torsi lebih besar agar conveyor mampu membawa lebih dari satu tomat tanpa menurunkan kecepatan.
3. Mengembangkan sistem kontrol dengan tampilan antarmuka atau sistem monitoring berbasis IoT agar data hasil sortir dapat disimpan dan dipantau secara real-time.
4. Melakukan kalibrasi sensor warna secara berkala untuk menjaga akurasi hasil deteksi terhadap perubahan kondisi pencahayaan.

5. Mengoptimalkan desain mekanik conveyor agar tomat tetap stabil di lintasan dan tidak tergelincir selama proses penyortiran.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Febyan D. P. & Slamet Wibawanto. (2017). Rancang Bangun Sistem Sortir Buah Tomat Otomatis Berdasarkan Diameter Berbasis Smart Relay Sr2 B201jd. Prosiding Seminar Nasional Elinvo Volume 3 September, Issn: 2477-2402, 125-132.
- [2] Rizki, Dimas dkk. 2012. Alat Penyortir dan Pengecekan Kematangan Buah Menggunakan Sensor Warna. Binus University : Computer Engineering Department. Jakarta Barat.
- [3] Nugraha, lhan dkk. 2016. Automated System In Tomato Sorting With Image Processing Using RGB Detection Method. Universitas Telkom: TeknikFisika
- [4] Zain, Abdul, and Arief Muliawan. "Prototipe Pengendali Pintu Darurat Menggunakan Mikrokontroler ATmega 16." INTEK: Jurnal Penelitian 5, no. 2 (2018): 122-129
- [5] Pramanta, F. D., susilo, L. W., & Fahmi, M. R. (2017). Sistem Cerdas Penyortir Apel Berdasarkan Warna Dan Ukuran Berbasis Mikrokontroler Ardumo. Bandung: Telkom University.
- [6] Ratnawati, D., & Vivianti. (2018). Alat Pendeteksi Warna Menggunakan Sensor Warna Tcs3200 Dan Arduino Nano. Yogyakarta: Universitas Teknologi Yogyakarta.
- [7] Zain, Abdul, Rudi Hartono, and Sri Handani. "Design of Microcontroller Based Fire Detector with Output Waming SMS Information and Automatic Extinguisher." INTEK: Jurnal Penelitian 7, no. 2 (2020): 109-115.
- [8] Zain, Abdul, et al. "Safe Lock Security Prototype Using Fingerprint And Pin." INTEK: Jurnal Penelitian 11.1 (2024): 3136.
- [9] Zain, Abdul. "Rancang Bangun Sistem Proteksi Kebakaran Menggunakan Smoke dan Heat Detector." INTEK: Jurnal Penelitian 3.1 (2016): 36-42.
- [10] Zain, Abdul, Rifaldy Atlant Tungga, and Arief Muliawan. "Prototipe Alat Penyiraman Tanaman Otomatis Berbasis Arduino Uno." Jurnal Nasional Komputasi dan Teknologi Informasi (JNKTI) 7.2 (2024): 87-94.
- [11] Arfittariah, Arfittariah, Abdul Zain, and Akbar Akbar. "Rancang bangun mesin otomatis pencacah mini serabut kelapa (mesin cocopeat)." Jurnal Nasional Komputasi dan Teknologi Informasi (JNKTI) 4, no. 6 (2021): 517-521.
- [12] Zain, Abdul, and Sri Handani. "Sistem Pengontrol Pintu Pagar Dengan Voice Control Berbasis Mikrokontroler." Jurnal Teknologi Elektroika 16, no. 2 (2019): 48-55.
- [13] Zain, Abdul "Perancangan sistem pengaman track undercarriage pada bulldozer", Jurnal Sinergi, Vol. 15 No. 2, okt 2017
- [14] Payung, Musa, and Abdul Zatn. "Rancang Bangun Remotely Operated Vehicle (ROV) untuk Monitoring Kondisi Terumbu Karang di Perairan Bontang." Jurnal Nasional Komputasi dan Teknologi Informasi 4.2 (2021).

- [15] Jony Javorski Eckert, Samuel Filgueira da Silva, Fabio Mazzariol Santiciolli, Aquila Chagas de Carvalho, Franco Giuseppe Dedini, Multi-speed gearbox design and shifting control optimization to minimize fuel consumption, exhaust emissions and drivetrain mechanical losses, Mechanism and Machine Theory, Volume 169, 2022, <https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2021.104644>.