

Rancang Bangun Alat Penyortir Buah Jeruk Menggunakan Fuzzy Mamdani Berbasis Mikrokontroler

Ishar Pani¹, Khairi Ibnutama², Fery Setiawan³

¹ Sistem Komputer, STMIK Triguna Dharma

^{2,3} Sistem Informasi, STMIK Triguna Dharma

Email: ¹isharpani541@gmail.com, ²mr.ibnutama@gmail.com, ³ferysetiawan13@gmail.com

Email Penulis Korespondensi: isharpani541@gmail.com

Abstrak

Proses penyortiran buah jeruk merupakan tahapan penting dalam menjaga kualitas produk sebelum dipasarkan. Namun, proses penyortiran yang masih dilakukan secara manual memiliki beberapa kelemahan, seperti membutuhkan waktu yang relatif lama, tingkat konsistensi yang rendah, serta tingginya kemungkinan terjadinya kesalahan akibat faktor subjektivitas dan kelelahan operator. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun alat penyortir buah jeruk otomatis menggunakan metode Fuzzy Mamdani berbasis mikrokontroler Arduino Uno guna meningkatkan efisiensi, objektivitas, dan akurasi proses penyortiran buah jeruk berdasarkan parameter berat dan tingkat kematangan. Perangkat keras yang digunakan terdiri dari mikrokontroler Arduino Uno sebagai pusat pengendali, sensor warna TCS3200 untuk mendeteksi tingkat kematangan berdasarkan warna kulit buah, sensor Load Cell untuk mengukur berat buah, motor DC sebagai penggerak konveyor, dan motor servo sebagai mekanisme penyortiran. Data yang diperoleh dari sensor kemudian diproses melalui tahapan fuzzifikasi, inferensi aturan (rule base), dan defuzzifikasi untuk menentukan kategori kualitas buah jeruk secara otomatis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan mampu mengintegrasikan sensor dan metode Fuzzy Mamdani dalam proses klasifikasi kualitas buah jeruk secara otomatis. Sistem dapat melakukan pembacaan parameter warna dan berat secara real-time serta mengarahkan buah ke kategori yang sesuai berdasarkan hasil keputusan fuzzy.

Kata Kunci: Buah Jeruk, Fuzzy Mamdani, Arduino, Sensor TCS3200, Load Cell.

Abstract

The orange sorting process is a crucial stage in maintaining product quality before marketing. However, the sorting process that is still carried out manually has several weaknesses, such as requiring a relatively long time, a low level of consistency, and a high probability of errors due to subjectivity factors and operator fatigue. Therefore, this study aims to design and build an automatic orange sorting device using the Fuzzy Mamdani method based on the Arduino Uno microcontroller to improve the efficiency, objectivity, and accuracy of the orange sorting process based on weight and ripeness parameters. The hardware used consists of an Arduino Uno microcontroller as the control center, a TCS3200 color sensor to detect ripeness based on fruit skin color, a Load Cell sensor to measure fruit weight, a DC motor as a conveyor drive, and a servo motor as a sorting mechanism. The data obtained from the sensors are then processed through the stages of fuzzification, rule-base inference, and defuzzification to determine the quality category of oranges automatically. The results show that the developed system is capable of integrating sensors and the Fuzzy Mamdani method in the automatic orange quality classification process. The system can read color and weight parameters in real-time and direct the fruit to the appropriate category based on the fuzzy decision results.

Keywords: Oranges, Fuzzy Mamdani, Arduino, TCS3200 Sensor, Load Cell.

1. PENDAHULUAN

Indonesia dikenal sebagai negara agraris yang memiliki potensi besar pada sektor pertanian, khususnya hortikultura. Salah satu komoditas hortikultura yang memiliki tingkat konsumsi tinggi adalah buah jeruk. Tingginya permintaan tersebut menunjukkan bahwa kualitas hasil panen menjadi faktor penting dalam menentukan daya saing produk di pasar. Kualitas buah jeruk menjadi aspek utama yang perlu diperhatikan agar mampu memenuhi standar pasar modern dan meningkatkan nilai jual produk. Dalam proses distribusi hasil pertanian, penyortiran buah merupakan tahapan penting sebelum buah dipasarkan kepada konsumen untuk menghasilkan standar mutu yang seragam.

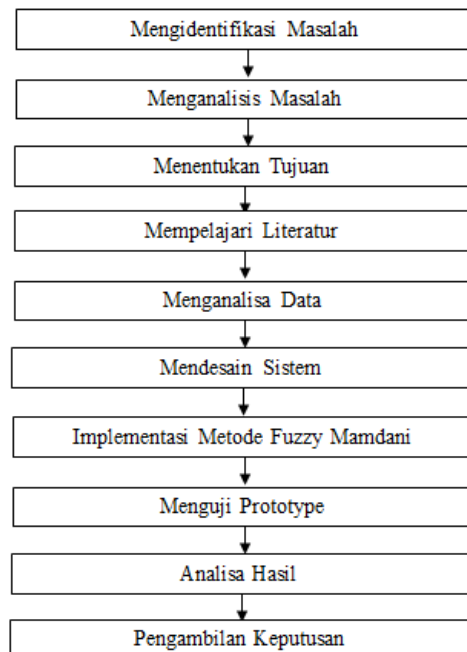
Namun demikian, pada kenyataannya proses penyortiran buah jeruk di tingkat petani maupun pedagang masih banyak dilakukan secara manual menggunakan tenaga manusia. Penentuan kualitas buah umumnya dilakukan berdasarkan pengamatan visual tanpa bantuan sistem otomatis. Metode manual tersebut membutuhkan waktu yang relatif lama, memerlukan tenaga kerja yang cukup besar sehingga meningkatkan biaya operasional, serta memiliki tingkat ketidakkonsistenan yang tinggi akibat faktor subjektivitas pekerja dan kelelahan operator.

Perkembangan teknologi di bidang otomasi memberikan peluang untuk mengatasi berbagai kendala dalam proses penyortiran buah. Sistem otomatisasi mampu meningkatkan efisiensi kerja karena proses sortir dapat dilakukan lebih cepat dan objektif. Salah satu teknologi utama yang digunakan adalah mikrokontroler Arduino Uno yang terintegrasi dengan sensor warna TCS3200 dan sensor Load Cell. Untuk menangani ketidakpastian dan nilai ambigu pada parameter spektrum warna dan berat buah, digunakan logika fuzzy metode Fuzzy Mamdani. Penelitian ini bertujuan mengimplementasikan sistem cerdas tersebut ke dalam sebuah alat penyortir otomatis.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Kerangka Kerja Penelitian

Kerangka kerja penelitian merupakan bagian yang akan dilalui secara bertahap sehingga penelitian sistem ini akan berjalan secara baik. Adapun kerangka kerja yang dibuat pada sistem ini adalah sebagai berikut:



Gambar 1. Kerangka Kerja Penelitian

Berdasarkan Gambar 1. maka dapat diuraikan bagian-bagian kerangka kerja pada penelitian ini sebagai berikut:

1. **Mengidentifikasi Masalah**
Pada bagian ini akan dilakukan identifikasi masalah dari objek yang akan diteliti, kemudian dilanjutkan dengan merumuskan masalah dari penelitian yang akan dilakukan untuk mencapai tujuan penelitian sesuai dengan yang diharapkan.
2. **Menganalisa Masalah**
Setelah permasalahan dalam penelitian telah dirumuskan kemudian dilanjutkan dengan melakukan analisa dari masalah-masalah yang ditemui, pada sistem yang akan dibangun ini analisa difokuskan pada sistem penyortiran buah jeruk.
3. **Menentukan Tujuan**
Menentukan tujuan penelitian dilakukan agar hasil yang diharapkan tidak berbeda dengan yang diinginkan adapun target yang akan dituju dalam penelitian ini adalah rancang bangun alat penyortiran buah jeruk menggunakan fuzzy mamdani berbasis mikrokontroler yang diharapkan mampu mengatasi ketidakpastian data pengukuran sehingga menghasilkan proses penyortiran yang lebih akurat, cepat dan konsisten dibandingkan metode manual.
4. **Mempelajari Literatur**
Mencari referensi yang berhubungan dengan judul penelitian yang dilakukan. Referensi yang dikumpulkan berupa buku-buku, jurnal-jurnal, makalah yang memuat materi-materi yang berkaitan dengan sistem penyortiran buah sehingga dapat dijadikan salah satu landasan dalam menyelesaikan penelitian ini.
5. **Mengumpulkan Data**
Data-data yang dimaksud merupakan data yang berkaitan dengan materi dari penelitian sistem yang akan dibangun ini.
6. **Menganalisa Data**
Dari data yang telah diperoleh akan dilakukan analisa yang dimaksudkan untuk mencari data yang ada agar sesuai dengan rumusan dan tujuan dari penelitian sistem yang akan dibangun.
7. **Implementasi Metode Fuzzy Mamdani**
Melakukan uji coba implementasi metode fuzzy mamdani berupa konsep mikrokontroler arduino pada sistem penyortiran buah jeruk. Konsep yang dimaksud adalah menerapkan dan memanfaatkan penggunaan metode fuzzy mamdani pada mikrokontroler arduino pada sistem sebagai pusat pengendali seluruh proses.
8. **Mendesain Sistem**

Membuat desain sistem yang sesuai yakni berupa prototype sistem yang dapat menggambarkan cara kerja dari sistem yang diteliti. Desain sistem berupa objek 3 dimensi yang dirancang menggunakan aplikasi google sketchup.

9. Menguji ke dalam prototype
Setelah perancangan sistem rancang bangun, tahap selanjutnya yang dilakukan adalah tahap pengujian sistem berupa prototype. Hal ini dilakukan agar melihat hasil kinerja sistem yang dibangun.
10. Analisa Hasil
Hasil yang didapatkan dalam melakukan penelitian sistem ini kemudian dianalisa kembali untuk mendapatkan kesimpulan yang tepat dan merumuskan manfaat dan kekurangan dari sistem yang telah dibangun.
11. Pengambilan Keputusan
Setelah keseluruhan hasil pengujian dan analisa diperoleh tahap akhir adalah pengambilan keputusan akan kelayakan sistem yang dirancang, sehingga dapat diimplementasikan ke dalam dunia nyata.

2.2 Metode Perancangan Sistem

Metode perancangan sistem adalah unsur penting dalam penelitian. dalam metode perancangan sistem pada penelitian ini menggunakan beberapa hal sebagai berikut:

1. Perencanaan
Pada tahapan ini dilakukan proses merancang bagian-bagian yang akan digunakan dalam melaksanakan penelitian ini.
2. Analisis
Melakukan analisa terhadap sistem yang berhubungan dengan penelitian sistem penyortiran buah jeruk dan juga mengumpulkan sumber-sumber yang dapat mendukung pelaksanaan penelitian ini.
3. Desain
Memulai perancangan bentuk 3 dimensi sesuai dengan gambaran yang diinginkan menggunakan software dengan menggunakan laptop, kemudian dilanjutkan.
4. Eksekusi
Proses pembuatan sistem rancang bangun dan pembuatan rangkaian sesuai langkah-langkah perancangan sistem yang telah dibuat.
5. Pengujian
Dalam proses ini dilakukan untuk menguji sistem yang telah dibuat sesuai dengan data yang dikumpulkan. Proses demonstrasi berupa prototype sistem yang sesuai dengan gambaran aslinya sehingga didapatkan catatan dari hasil pengujian untuk proses pengembangan berikutnya.
6. Perawatan
Melakukan pelatihan pengguna dari sistem yang telah dilakukan pengujian pada rancangan untuk melakukan peninjauan sistem penyortiran jeruk.

2.3 Fuzzy Mamdani

Penerapan fuzzy dapat direalisasikan berupa algoritma sistem, dimana satu-satunya cara untuk membuat kategori setiap angka atau data yang terukur menjadi golongan atau kategori sesuai prinsip logika fuzzy[1][2]. Fuzzy Mamdani adalah metode logika fuzzy yang digunakan untuk memetakan nilai input ke dalam output berdasarkan aturan (rule) berbasis IF-THEN. Metode ini paling populer digunakan dalam sistem pengambilan keputusan karena hasilnya sangat intuitif dan menyerupai cara berpikir manusia. Tahapan-tahapan dalam logika fuzzy pada sistem ini adalah fuzzifikasi yang dimana merupakan proses untuk mendapatkan derajat keanggotaan dari sebuah nilai numerik masukkan (chrips). Inference Rule adalah proses pembentukan aturan-aturan yang akan digunakan ke dalam suatu sistem. Defuzzifikasi adalah proses untuk mengubah hasil penalaran yang berupa derajat keanggotaan keluaran menjadi variabel numerik kembali[3].

2.4 Buah Jeruk

Buah jeruk merupakan salah satu komoditas hortikultura yang memiliki nilai ekonomi tinggi dan banyak dibudidayakan di berbagai wilayah tropis maupun subtropis. Jeruk termasuk ke dalam famili Rutaceae dan genus Citrus. Tanaman ini dikenal luas karena kandungan vitamin C, antioksidan, mineral, serta cita rasa khas yang berasal dari kombinasi kadar gula dan asam organik pada buahnya. Jeruk merupakan salah satu komoditas strategis nasional karena memiliki tingkat konsumsi yang tinggi dan permintaan pasar yang terus meningkat. Oleh sebab itu, kualitas dan keseragaman buah menjadi aspek penting dalam proses distribusi dan pemasaran[4].

2.5 Mikrokontroler Arduino Uno

Mikrokontroler Arduino Uno merupakan papan mikrokontroler berbasis chip ATmega328P yang bersifat open-source[3]. Perangkat ini berfungsi sebagai otak atau pusat kendali dalam berbagai proyek elektronika, robotika, dan otomatisasi. Sistem ini sangat populer bagi pemula maupun profesional karena kemudahan penggunaan perangkat keras dan perangkat lunaknya[5]. ATmega 328P adalah sebuah CMOS 8-bit mikrokontroler basis AVR dengan arsitektur RISC.

AVR dapat mengeksekusi sebuah intruksi dengan 1 siklus clock, sehingga ATmega 328P dapat mencapai sekitar kecepatan eksekusi 1 MIPS (microprocessor without interlocked Pipeline Stages) per Hz. Oleh karena itu ATmega 328P mengoptimasi pemakaian daya dengan kecepatan pemroses[6].

2.6 Sensor Load Cell

Sensor Load Cell merupakan transduser yang berfungsi mengubah besaran gaya, tekanan, atau massa menjadi sinyal listrik yang dapat diukur dan diproses oleh sistem elektronik. Dalam perkembangannya, load cell menjadi salah satu sensor paling penting dalam sistem instrumentasi modern karena memiliki tingkat akurasi, sensitivitas, dan stabilitas yang tinggi dalam pengukuran beban[7]. Secara prinsip, load cell bekerja berdasarkan perubahan sifat mekanik suatu material elastis ketika menerima beban. Deformasi yang terjadi pada elemen elastis tersebut kemudian dikonversi menjadi perubahan resistansi listrik menggunakan strain gauge. Perubahan resistansi ini selanjutnya diproses melalui rangkaian Wheatstone Bridge sehingga menghasilkan sinyal tegangan yang sebanding dengan besar beban yang diberikan[8].

2.7 Sensor Warna TCS3200

Sensor warna merupakan perangkat optoelektronik yang dirancang untuk mendeteksi dan mengidentifikasi warna suatu objek berdasarkan karakteristik cahaya yang dipantulkan atau ditransmisikan oleh objek tersebut. Dalam sistem instrumentasi modern, sensor warna digunakan untuk mengubah informasi spektral cahaya menjadi sinyal listrik yang dapat diolah oleh mikrokontroler maupun sistem komputer. Teknologi ini banyak diaplikasikan dalam bidang otomasi industri, robotika, sistem sortir produk, pengendalian kualitas manufaktur, pertanian presisi, hingga sistem Internet of Things (IoT)[9].

Prinsip kerja sensor warna berlandaskan teori interaksi cahaya dan materi. Ketika cahaya mengenai suatu objek, sebagian energi cahaya akan diserap dan sebagian lainnya dipantulkan[10]. Panjang gelombang cahaya yang dipantulkan inilah yang diterima oleh sensor dan diinterpretasikan sebagai warna tertentu. Oleh karena itu, pengukuran warna pada dasarnya merupakan proses pengukuran intensitas spektrum cahaya yang dipantulkan oleh suatu permukaan.

2.8 Motor DC

Motor DC (Direct Current) adalah peralatan elektromekanik dasar yang berfungsi untuk mengubah tenaga listrik menjadi tenaga mekanik yang didesain awalnya diperkenalkan oleh Michael Faraday lebih dari seabad yang lalu[10]. Energi mekanik ini digunakan untuk, misalnya memutar impeller pompa, fan atau blower, menggerakkan kompresor, mengangkat bahan, dll. Motor listrik digunakan juga di rumah seperti penggunaan pada kipas angin, mixer, dan di industri yang diperkirakan memakai 70% listrik dalam industri[11]. Motor DC tersedia dalam banyak ukuran, namun penggunaannya pada umumnya dibatasi untuk beberapa penggunaan kecepatan rendah, penggunaan daya rendah hingga sedang seperti peralatan mesin dan rolling mills, sebab sering terjadi masalah dengan perubahan arus listrik mekanis pada ukuran yang lebih besar. Motor DC juga relatif mahal dari pada motor AC.

Motor DC yang dikontrol dengan driver IC L293D dapat dihubungkan ke ground maupun ke sumber tegangan VCC karena didalam driver L293D sistem driver yang digunakan adalah totem pool. Dalam 1 chip IC L293D terdiri dari 4 buah driver motor DC yang berdiri sendiri sendiri dengan kemampuan mengalirkan arus 1 Ampere tiap driver. Sehingga dapat digunakan untuk membuat driver H-bridge untuk 2 buah motor DC.

2.9 Motor Servo

Motor servo merupakan aktuator elektromekanis yang dirancang untuk menghasilkan gerakan sudut atau posisi yang presisi melalui mekanisme pengendalian umpan balik (feedback control). Berbeda dengan motor DC konvensional yang hanya berfungsi mengubah energi listrik menjadi energi mekanik berupa putaran kontinu, motor servo memiliki kemampuan mengontrol posisi, kecepatan, dan percepatan secara akurat sesuai dengan sinyal kendali yang diberikan. Kemampuan tersebut menjadikan motor servo sebagai komponen penting dalam sistem otomasi, robotika, mekatronika, manufaktur cerdas, kendaraan otonom, hingga sistem berbasis Internet of Things (IoT)[12].

2.10 Arduino IDE

Untuk membuat program pada Arduino dibutuhkan software Arduino IDE (Integrated Development Environment). IDE adalah perangkat lunak (software) untuk menulis program, menyusun menjadi biner dan mengupload ke dalam memori mikrokontroler. Software Arduino IDE memiliki environment yang ditulis dalam Java. Arduino IDE juga memiliki compiler untuk bahasa C atau C++. Arduino IDE memang bertujuan untuk membantu pembuatan script atau code untuk berbagai macam board atau microprocessor[13]. Dalam penggunaannya, modul Arduino Uno disandingkan dengan sebuah bahasa pemrograman C yang dituliskan menggunakan IDE (Integrated Development Environment). IDE adalah sebuah software yang sangat berperan untuk menulis program, meng-compile menjadi kode biner dan mengupload ke dalam memory microcontroller.

2.11 SketchUp

SketchUp adalah sebuah program pembuatan 3D yang dibuat untuk arsitek, insinyur sipil, pembuat film, game developer, dan profesi terkait[14]. Google SketchUp adalah aplikasi desain gambar yang mudah dan cukup powerfull, dibalik tool yang sederhana ternyata software ini bisa dibandingkan dengan software sejenisnya untuk gambar tiga dimensi seperti desain rumah atau yang lainnya, tidak hanya itu Google SketchUp mempunyai banyak kelebihan dalam hal teknik gambar, begitu cepat, mudah dan efisien, apalagi kalau digabungkan dengan plugin Vray, sejenis software Rendering yang paling populer sekarang, hasilnya bisa jauh lebih bagus.

2.12 Fritzing

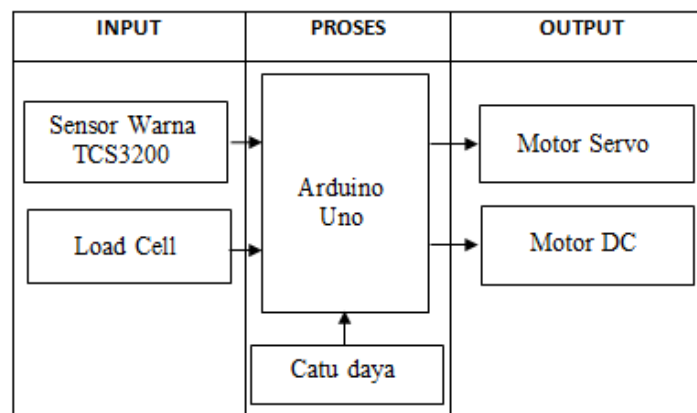
Fritzing ialah software yang bersifat open source yang berguna untuk membangun sirkuit atau rangkaian yang banyak digunakan untuk mendokumentasikan rangkaian suatu proyek dalam bidang elektronika. Software ini bisa diinstal disistem operasi windows dan Linux. Software menawarkan begitu banyak komponen – komponen yang dapat digunakan, dan kita bisa mendownload library komponen dari website dan menginstalkannya ke fritzing, disoftware ini kita bisa membangun sebuah rangkaian berupa breadboard, skematik, layout serta kita bisa memprogram didalamnya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Algoritma Sistem

Algoritma sistem adalah aliran proses kerja sistem yang merupakan aliran input hingga output. Algoritma sistem merupakan suatu langkah atau tahapan proses dari sistem untuk menyelesaikan tugas dan fungsinya. Dimana penentuan algoritma yang digunakan tiap-tiap bagian penyusunan sistem merupakan penentuan nilai awal dan dilanjutkan dengan proses yang dilakukan oleh sistem agar memaksimalkan kinerja alat sesuai dengan yang diinginkan.

Untuk memahami keterkaitan antara komponen input, proses, output, diperlukan suatu diagram blok sistem. Dengan menggunakan blok diagram, kita dapat menempatkan setiap komponen pada posisi yang sesuai dengan fungsinya secara akurat. Blok diagram dari implementasi mikrokontroler arduino pada sistem penyortiran buah jeruk ini adalah sebagai berikut.



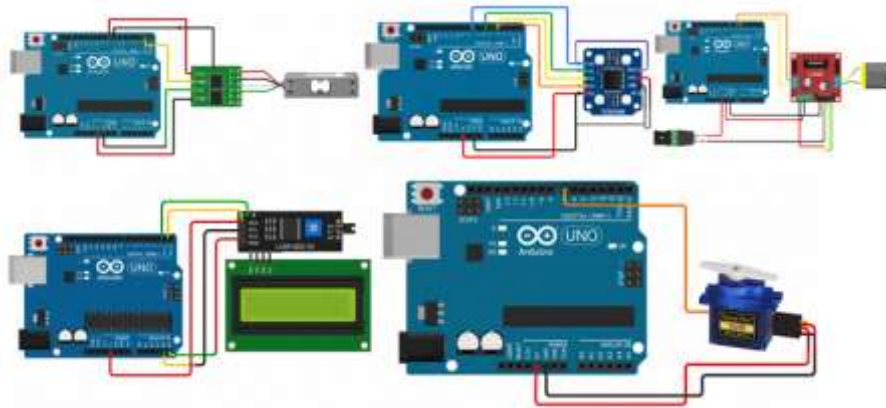
Gambar 2. Blok Diagram Sistem

Pada gambar 2 Diagram blok sistem di atas menggambarkan konfigurasi rancangan sistem penyortiran buah jeruk. Berikut penjelasan diagram blok sistem tersebut:

1. Sensor Warna TCS3200
Sensor Warna TCS3200 merupakan inputan untuk mendeteksi warna buah jeruk. Cara kerja sensor ini menggunakan photodiode terhadap benda di depannya.
2. Load Cell
Sensor Load Cell merupakan inputan untuk menghitung berat buah jeruk.
3. Motor Servo
Motor Servo merupakan motor yang dapat berputar berdasarkan sudut yang ditentukan secara presisi. Motor servo berfungsi untuk memilah buah jeruk sesuai dengan kualitas.
4. Motor DC
Motor DC merupakan motor yang dapat berputar 360 derajat secara terus menerus. Motor servo berfungsi untuk menggerakkan konveyor.
5. Arduino Uno
Arduino Uno merupakan sebuah mikrokontroler yang akan menjadi otak dari sistem ini. Arduino Uno ini yang nantinya akan mengendalikan seluruh input dan output pada sistem ini.

3.2 Perancangan Sistem

Dalam pengembangan rancang bangun sistem penyortiran buah jeruk ini, diperlukan susunan komponen pada setiap bagian, termasuk sensor warna TCS3200, sensor load cell dan motor servo. Susunan komponen ini memiliki dampak signifikan terhadap pembuatan program sistem. Beberapa susunan yang diperlukan melibatkan rangkaian dari sensor load cell, sensor warna, motor servo, motor DC dan rangkaian LCD yang dibuat menggunakan aplikasi fritzing.



Gambar 3. Blok Diagram Sistem

3.3 Perancangan Model Prototipe

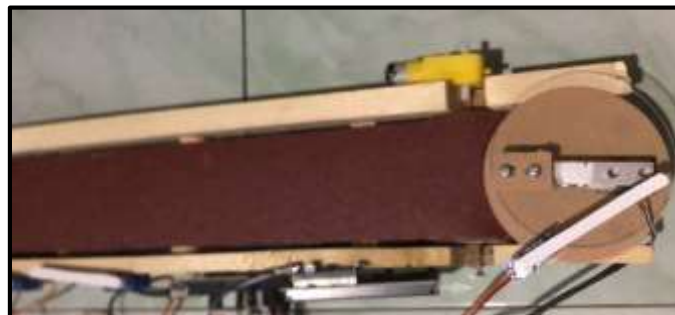
Dalam perancangan model prototipe, konsepnya dirancang agar mudah dipahami dan dapat di implementasikan dengan mudah oleh pengguna sistem. Berikut adalah gambaran perancangan rancang bangun alat penyortir jeruk yang direpresentasikan dalam bentuk tiga dimensi.



Gambar 4. Perancangan Model Prototipe

3.4 Implementasi Sistem

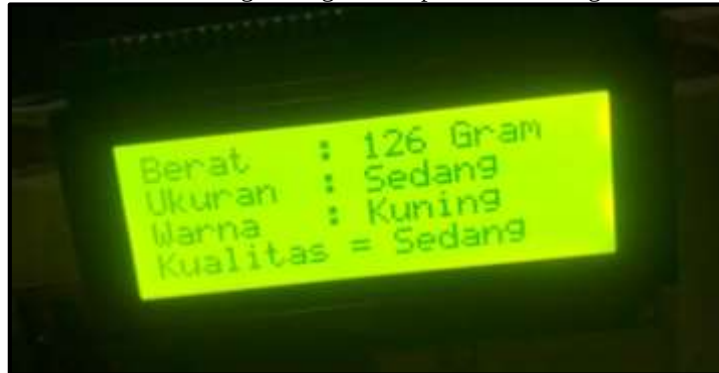
Implementasi sistem adalah tahap proses yang harus dilalui agar sistem berfungsi seperti yang diinginkan, dimulai dari perancangan blok diagram, perancangan rangkaian, pembuatan program, hingga perumusan kesimpulan. Proses implementasi sistem dilakukan setelah semua kebutuhan sistem disiapkan, diikuti oleh perakitan dan pembangunan sistem menjadi satu kesatuan, serta pengujian sistem yang akan dibuat. Berikut ini merupakan rangkaian dari keseluruhan sistem penyortir buah jeruk secara otomatis berbasis mikrokontroler.



Gambar 5. Rangkaian Keseluruhan Sistem

3.5 Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan untuk mengetahui fungsi dan kinerja dari keseluruhan sistem. Pengujian dimulai dengan melakukan pemeriksaan cara kerja sistem dari bagian-bagian utama sampai kinerja sistem secara menyeluruh. Sistem pengujian rangkaian dilakukan setelah semua bagian-bagian komponen terhubung secara utuh menjadi satu kesatuan.



Gambar 6. Pengujian Sistem

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil rancang bangun, pengujian, dan pembahasan, dapat disimpulkan bahwa alat penyortir buah jeruk otomatis menggunakan metode Fuzzy Mamdani berbasis mikrokontroler Arduino Uno telah berhasil diimplementasikan dalam bentuk prototype fungsional. Sistem mampu mengintegrasikan data sensor warna TCS3200 dan Load Cell untuk mengklasifikasikan buah jeruk berdasarkan berat dan tingkat kematangan. Penerapan logika fuzzy terbukti efektif mengatasi ambiguitas parameter fisik buah, meningkatkan objektivitas serta akurasi klasifikasi jauh lebih baik dan konsisten dibandingkan metode penyortiran manual tradisional.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada semua pihak yang sudah membantu dalam proses pembuatan jurnal ini hingga jurnal ini selesai dan siap untuk dipublikasikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. N. N. Novian, M. W. Walid, and M. M. Makruf, "Implementasi Logika Fuzzy untuk Monitoring Tingkat Pencemaran Air Sungai berbasis Internet Of Things," *J. SISKOM-KB (Sistem Komput. dan Kecerdasan Buatan)*, vol. 7, no. 3, pp. 284–289, 2024, doi: 10.47970/siskom-kb.v7i3.687.
- [2] M. N. Ulumudin, I. Fauziah, and M. H. I. Hajar, "Analisis Koordinasi Proteksi Recloser dan Fuse pada Jaringan IEEE 34 menggunakan Metode Fuzzy Mamdani," *J. Teknol. Elektro*, vol. 16, no. 2, p. 81, 2025, doi: 10.22441/jte.2025.v16i2.003.
- [3] A. I. Lubis, S. Saniman, and M. Yetri, "Sistem Kendali Lampu Ruangan Menggunakan Metode Fuzzy Logic Dan Android Berbasis Mikrokontroler," *J. Sist. Komput. Triguna Dharma (JURSIK TGD)*, vol. 1, no. 1, pp. 1–9, 2022, doi: 10.53513/jursik.v1i1.4800.
- [4] N. Maharani, N. Nasution, and R. Sirait, "Rancang Bangun Alat Sortir Buah Jeruk Madu Berbasis Arduino Uno Atmega328," *J. Sci. Soc. Res.*, vol. 4307, no. 3, pp. 1167–1177, 2024, [Online]. Available: <http://jurnal.goretanpena.com/index.php/JSSR>
- [5] A. Hambali, A. Pranata, and F. Setiawan, "Implementasi IOT pada Smartdoor Lock Menggunakan Sensor Selenoid Berbasis NodeMCU," *J. Sist. Komput. Triguna Dharma (JURSIK TGD)*, vol. 4, no. 1, pp. 36–48, 2025, doi: 10.53513/jursik.v4i1.9352.
- [6] A. A. N. G. S. *) I Putu Ardi Wahyu Widyatmika, Ni Putu Ayu Widyana Indrawat, I Wayan Wahyu Adi Prastya, I Ketut Darminta, I Gde Nyoman Sangka, "15729-File Utama Naskah-48381-1-10-20210424," *J. Otomasi, Kontrol Instrumentasi Vol 13 (1)*, 2021, vol. 13, no. 1, pp. 1–9, 2021.
- [7] O. S. Al-Dahiree *et al.*, "Design and Shape Optimization of Strain Gauge Load Cell for Axial Force Measurement for Test Benches," *Sensors*, vol. 22, no. 19, pp. 1–19, 2022, doi: 10.3390/s22197508.
- [8] S. Zhuang *et al.*, "Temperature field analysis and compensation improvement of load cell," *Sci. Rep.*, vol. 14, no. 1, pp. 1–14, 2024, doi: 10.1038/s41598-024-76688-0.
- [9] T. Ta'ali, W. Khairat, H. Habibullah, and J. Sardi, "Pengaruh Jarak Terhadap Sensitivitas Sensor Warna TCS3200," *JTEIN J. Tek. Elektro Indones.*, vol. 4, no. 1, pp. 67–74, 2023, doi: 10.24036/jtein.v4i1.340.
- [10] Hadirawati, M. Putri Lukman, A. S. Bakhtiar, and M. S. Pongsamma, "Sistem Penyortir Otomatis Kematangan Tomat Berdasarkan Warna Dengan Sensor Tcs3200 Berbasis Internet of Things," *J. Power Energy Syst.*, vol. 01, no. 01, pp. 1–7, 2023, [Online]. Available: <https://jurnal.poliupg.ac.id/index.php/jpes/article/view/4708%0Ahttps://jurnal.poliupg.ac.id/index.php/jpes/article/view/4708/3879>
- [11] A. Satiawan Suryadana, A. Halim, and R. Rosehan, "Kontrol Posisi Putaran Motor Dc Menggunakan Arduino Dan Pid," *Poros*, vol. 18, no. 1, pp. 18–24, 2023, doi: 10.24912/poros.v18i1.23224.
- [12] Y. D. Satriani and M. Yuhendri, "Kontrol Posisi Motor Servo Berbasis Human Machine Interface dan Internet of Things," *JTEIN J. Tek. Elektro Indones.*, vol. 4, no. 2, pp. 949–956, 2023, doi: 10.24036/jtein.v4i2.523.



- [13] J. S. Simanjuntak, J. Prayudha, and J. Halim, "Sistem Pembayaran Non Tunai Dengan Memanfaatkan E-KTP Menggunakan Teknik Simplex Berbasis Arduino," *J. Sist. Komput. Triguna Dharma (JURSIK TGD)*, vol. 1, no. 2, pp. 65–70, 2022, doi: 10.53513/jursik.v1i2.5144.
- [14] U. F. S. Sitorus Pane and I. A. Andriyani, "Sistem Pendeteksi Kualitas Air Pada Budidaya Ikan Air Tawar Berbasis Internet Of Things (IoT)," *J-SISKO TECH (Jurnal Teknol. Sist. Inf. dan Sist. Komput. TGD)*, vol. 7, no. 1, p. 84, 2024, doi: 10.53513/jsk.v7i1.9562.