

IMPLEMENTASI SISTEM KENDALI PADA ALAT SERUT ES DENGAN ANTARMUKA TFT TOUCHSCREEN UNTUK PENINGKATAN EFISIENSI UKM MINUMAN

Agus Gustiana^{1*}, Woro Agus Nurtiyanto², Ojak Abdul Rozak³, Juhana⁴, Gaguk Firasanto⁵

^{1,2,3,4,5}Program Studi Teknik Elektro, Universitas Pamulang; Jl. Witana Harja No. 18b, Pamulang Bar, Kec. Pamulang, Kota Tangerang Selatan, Banten 15417

Keywords:

Arduino;
Sistem Pendingin;
Mesin Es Serut;
TFT Touchscreen.

Correspondent Email:

Gustiana952@gmail.com
Dosen0085@unpam.ac.id

Abstrak. Perkembangan teknologi otomasi mendorong peningkatan efisiensi pada sektor usaha kecil menengah (UKM), termasuk dalam proses produksi minuman. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan mesin es serut otomatis berbasis mikrokontroler Arduino yang dilengkapi antarmuka TFT touchscreen untuk meningkatkan efisiensi, konsistensi, dan higienitas produksi. Metode penelitian meliputi perancangan sistem mekanik dan elektronik, integrasi sensor dan aktuator, pengembangan perangkat lunak, serta pengujian kinerja alat. Sistem menggunakan sensor suhu DS18B20 untuk memantau proses pendinginan, motor listrik untuk penyerutan es, serta pompa DC untuk distribusi sirup secara otomatis. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu bekerja sesuai perancangan dengan waktu pendinginan ± 30 menit, proses defrost 2 menit, penyerutan es 3 menit, serta pemberian sirup sebanyak 20 ml dalam waktu 2 detik. Dibandingkan metode manual, sistem ini menghasilkan proses yang lebih stabil, konsisten, dan mengurangi keterlibatan operator. Dengan demikian, mesin es serut otomatis yang dirancang mampu meningkatkan efisiensi operasional dan kualitas produk pada skala UKM



Copyright © [JITET](http://www.jitet.org) (Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan). This article is an open access article distributed under terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC)

Abstract. The development of automation technology has significantly improved efficiency in small and medium enterprises (SMEs), particularly in beverage production processes. This study aims to design and implement an Arduino-based automatic shaved ice machine equipped with a TFT touchscreen interface to enhance efficiency, consistency, and hygiene. The research method includes mechanical and electronic system design, sensor and actuator integration, software development, and system performance testing. The system utilizes a DS18B20 temperature sensor to monitor the cooling process, an electric motor for ice shaving, and a DC pump for automatic syrup dispensing. Experimental results show that the system operates as designed, with a cooling time of approximately 30 minutes, a defrost process of 2 minutes, an ice shaving duration of 3 minutes, and syrup dispensing of 20 ml within 2 seconds. Compared to manual methods, the proposed system provides more stable, consistent, and automated operation while reducing human involvement. Therefore, the developed system effectively improves operational efficiency and product quality for SME-scale applications.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi otomasi telah memberikan dampak signifikan terhadap peningkatan efisiensi dan produktivitas pada

berbagai sektor industri, termasuk usaha kecil menengah (UKM) di bidang makanan dan minuman. Penerapan sistem berbasis mikrokontroler memungkinkan proses produksi menjadi lebih cepat, konsisten, serta mengurangi ketergantungan terhadap tenaga kerja manual [1], [2]. Dalam konteks produksi minuman, aspek efisiensi waktu, konsistensi takaran, dan higienitas menjadi faktor penting yang mempengaruhi kualitas produk dan kepuasan konsumen.

Es serut merupakan salah satu produk minuman yang banyak diminati, terutama di daerah beriklim tropis. Namun, proses pembuatan es serut pada umumnya masih dilakukan secara manual, baik dalam proses penyerutan es maupun pemberian sirup. Metode ini memiliki beberapa kelemahan, di antaranya waktu proses yang relatif lama, hasil serutan yang tidak konsisten, serta potensi ketidaktepatan takaran sirup dan risiko kontaminasi akibat interaksi langsung dengan operator.

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengembangkan sistem otomasi pada proses penyajian minuman. Sistem dispenser minuman berbasis mikrokontroler terbukti mampu meningkatkan konsistensi takaran dan efisiensi waktu produksi [5], [6]. Selain itu, penelitian terkait mesin serut es berbasis motor listrik menunjukkan peningkatan efektivitas dalam proses penghancuran es [7]. Penggunaan antarmuka layar sentuh juga telah diterapkan untuk meningkatkan kemudahan interaksi pengguna dalam sistem berbasis mikrokontroler [10]. Namun, sebagian besar penelitian tersebut masih terpisah antara sistem penyerutan es dan sistem pemilihan serta pemberian sirup, sehingga belum menghasilkan sistem yang terintegrasi secara penuh.

Berdasarkan analisis tersebut, terdapat kesenjangan penelitian (research gap) berupa belum adanya sistem mesin es serut otomatis yang mengintegrasikan proses pembekuan, penyerutan, serta pemilihan dan pemberian sirup dalam satu sistem berbasis mikrokontroler dengan antarmuka pengguna yang interaktif. Oleh karena itu, penelitian ini mengusulkan perancangan dan implementasi mesin es serut otomatis berbasis Arduino yang dilengkapi dengan TFT touchscreen sebagai antarmuka pengguna.

Sistem yang dikembangkan mengintegrasikan sensor suhu DS18B20 untuk memantau proses pendinginan, sensor proximity untuk mendeteksi keberadaan wadah, motor listrik sebagai penggerak penyerut es, serta pompa DC untuk distribusi sirup secara otomatis. Melalui integrasi tersebut, sistem diharapkan mampu meningkatkan efisiensi operasional, konsistensi hasil produksi, serta higienitas dalam proses pembuatan es serut.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Tinjauan pustaka pada penelitian ini difokuskan pada konsep sistem otomasi berbasis mikrokontroler, komponen utama sistem, serta penelitian terdahulu yang relevan dengan pengembangan mesin es serut otomatis.

2.1. Sistem Otomasi Berbasis Mikrokontroler

Sistem otomasi merupakan teknologi yang digunakan untuk mengendalikan proses secara otomatis dengan memanfaatkan perangkat elektronik dan perangkat lunak. Penggunaan mikrokontroler dalam sistem otomasi memungkinkan integrasi antara sensor, aktuator, dan sistem kendali dalam satu platform yang terprogram [2], [3].

Arduino merupakan salah satu platform mikrokontroler yang широко digunakan karena kemudahan pemrograman, fleksibilitas, serta dukungan ekosistem perangkat keras dan perangkat lunak yang luas. Dalam sistem ini, mikrokontroler berfungsi sebagai pusat kendali yang memproses data dari sensor dan mengatur kerja aktuator sesuai logika program.

Perkembangan sistem otomasi industri menunjukkan bahwa integrasi antara perangkat kontrol, sensor, dan aktuator dapat meningkatkan efisiensi serta keandalan sistem secara signifikan. Menurut Zurawski [11], sistem komunikasi industri berperan penting dalam memastikan koordinasi antar komponen berjalan dengan baik. Selain itu, Bolton [12] menjelaskan bahwa sistem instrumentasi dan kontrol memiliki peran utama dalam menjaga stabilitas dan akurasi proses.

Penerapan mikrokontroler dalam industri skala kecil juga telah banyak dikembangkan untuk meningkatkan produktivitas dan efisiensi operasional. Sharma dan Mehta [13] menyatakan bahwa sistem otomasi berbasis mikrokontroler mampu mengurangi ketergantungan terhadap tenaga kerja manual serta meningkatkan konsistensi hasil produksi. Hal ini diperkuat oleh penelitian Santoso dan Wijayanto [14] yang menunjukkan bahwa implementasi Arduino pada sistem kontrol industri kecil memberikan fleksibilitas dan kemudahan pengembangan.

Selain itu, penggunaan sensor DS18B20 sebagai sensor suhu digital memiliki tingkat akurasi yang tinggi serta kemudahan integrasi dalam sistem berbasis mikrokontroler [15]. Dalam konteks pengukuran dan instrumentasi, Gopal [16] menjelaskan bahwa akurasi dan stabilitas sistem pengukuran sangat menentukan kualitas output dari suatu sistem otomatis.

2.2. Sensor dan Aktuator dalam Sistem

Sensor dan aktuator merupakan komponen utama dalam sistem kontrol otomatis. Sensor berfungsi sebagai input untuk mendeteksi kondisi lingkungan, sedangkan aktuator bertindak sebagai output yang menjalankan aksi berdasarkan perintah sistem.

Sensor suhu DS18B20 digunakan untuk mengukur temperatur secara digital dengan tingkat akurasi yang tinggi dan komunikasi berbasis One-Wire [8]. Sensor ini berperan dalam memantau proses pendinginan agar sesuai dengan parameter yang telah ditentukan. Selain itu, sensor proximity digunakan untuk mendeteksi keberadaan objek tanpa kontak langsung, sehingga meningkatkan efisiensi dan higienitas sistem [9].

Aktuator yang digunakan meliputi motor listrik sebagai penggerak mekanisme penyerutan es serta pompa DC untuk mengatur aliran cairan (sirup). Penggunaan pompa DC dalam sistem otomatis memungkinkan pengaturan volume cairan secara lebih presisi berdasarkan waktu aktivasi [6].

2.3. Sistem Pendinginan (Refrigerasi)

Sistem pendinginan pada mesin es serut bekerja berdasarkan siklus refrigerasi yang terdiri dari kompresor, kondensor, pipa kapiler,

dan evaporator. Kompresor berfungsi untuk memampatkan refrigeran, kondensor untuk melepaskan panas, pipa kapiler untuk menurunkan tekanan, dan evaporator untuk menyerap panas dari lingkungan sehingga terjadi proses pendinginan.

Integrasi komponen-komponen tersebut memungkinkan air dibekukan secara optimal sebelum dilakukan proses penyerutan. Kinerja sistem pendinginan sangat berpengaruh terhadap waktu pembekuan dan kualitas es yang dihasilkan.

2.4. Antarmuka Pengguna (Human Machine Interface)

Antarmuka pengguna atau Human Machine Interface (HMI) merupakan media interaksi antara pengguna dan sistem. Penggunaan TFT touchscreen memberikan kemudahan dalam pengoperasian sistem karena bersifat interaktif dan intuitif. Selain itu, penggunaan layar sentuh memungkinkan pengguna memilih menu secara langsung tanpa menggunakan tombol mekanik, sehingga meningkatkan efisiensi dan kenyamanan penggunaan [10].

2.5. Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengembangkan sistem otomasi pada proses penyajian minuman. Penelitian mengenai dispenser minuman otomatis berbasis mikrokontroler menunjukkan peningkatan efisiensi waktu dan konsistensi takaran dibandingkan metode manual [5], [6]. Selain itu, penelitian tentang mesin serut es berbasis motor listrik menunjukkan peningkatan efektivitas dalam proses penghancuran es [7].

Namun, sebagian besar penelitian tersebut masih berfokus pada satu aspek tertentu, seperti sistem dispensing atau mekanisme penyerutan saja. Integrasi antara sistem penyerutan es, sistem pendinginan, serta pemilihan dan pemberian sirup dalam satu sistem otomatis berbasis mikrokontroler masih belum banyak dikembangkan.

3. METODE PENELITIAN

3.1. Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode perancangan dan eksperimen (design and experimental approach) yang bertujuan untuk merancang, membangun, dan menguji kinerja mesin es serut otomatis berbasis mikrokontroler. Tahapan penelitian meliputi perancangan sistem, implementasi perangkat

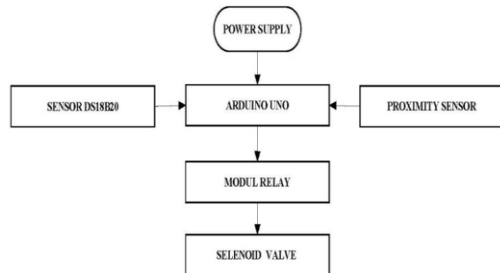
keras dan perangkat lunak, serta pengujian kinerja alat.

3.2. Arsitektur Sistem

Sistem yang dirancang terdiri dari tiga bagian utama, yaitu input, proses, dan output.

- Input: sensor suhu DS18B20 dan sensor proximity.
- Proses: mikrokontroler Arduino sebagai pusat kendali.
- Output: motor penyerut es, pompa DC, serta tampilan TFT touchscreen.

Data dari sensor suhu digunakan untuk memantau kondisi pendinginan, sedangkan sensor proximity digunakan untuk mendeteksi keberadaan wadah. Seluruh data diproses oleh mikrokontroler untuk mengendalikan aktuator sesuai dengan logika program.



Gambar 1. Blok Diagram Sistem

3.3. Perancangan Perangkat Keras

Perancangan perangkat keras meliputi integrasi beberapa komponen utama, yaitu:

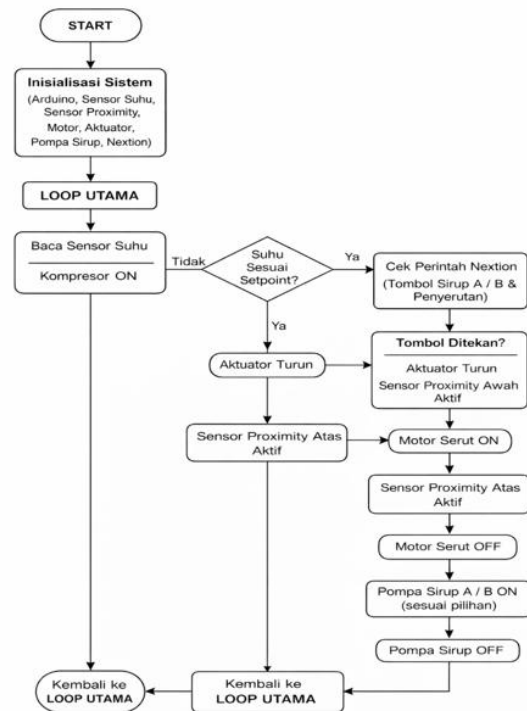
- Mikrokontroler Arduino sebagai pusat kendali.
- Sensor suhu DS18B20 untuk monitoring temperatur.
- Sensor proximity untuk deteksi objek.
- Motor listrik sebagai penggerak penyerut es.
- Pompa DC 12V untuk distribusi sirup.
- Sistem pendingin (kompresor, kondensor, evaporator, pipa kapiler)
- Modul relay sebagai penghubung antara mikrokontroler dan aktuator

Setiap komponen dirangkai sesuai dengan kebutuhan sistem sehingga dapat bekerja secara terintegrasi dalam satu kesatuan sistem kontrol.

3.4. Perancangan Perangkat Lunak

Perangkat lunak dikembangkan menggunakan Arduino IDE dengan bahasa pemrograman C/C++. Program dirancang untuk mengatur alur kerja sistem secara otomatis, mulai dari proses pendinginan, deteksi objek, penyerutan es, hingga pemberian sirup.

Logika program menggunakan pendekatan berbasis kondisi (conditional control), di mana setiap proses dijalankan berdasarkan input dari sensor dan perintah dari pengguna melalui TFT touchscreen.



Gambar 2. Flowchart Sistem

3.5. Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian dilakukan secara sistematis sebagai berikut:

1. Studi literatur terkait sistem otomatisasi dan mikrokontroler
2. Perancangan sistem (hardware dan software)
3. Perakitan alat dan integrasi komponen
4. Pemrograman mikrokontroler
5. Pengujian sistem secara bertahap
6. Analisis hasil pengujian

Tahapan ini bertujuan untuk memastikan sistem yang dirancang dapat bekerja sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan.

3.6. Desain Penelitian

Pengujian dilakukan untuk mengetahui kinerja sistem secara keseluruhan, meliputi:

3.6.1. Uji Sensor Suhu

Dilakukan untuk mengetahui akurasi pembacaan sensor DS18B20 dibandingkan dengan kondisi suhu aktual.

3.6.2. Uji Sensor Proximity

Dilakukan untuk mengetahui kemampuan sensor dalam mendeteksi objek dengan kondisi output ON/OFF.

3.6.3. Uji Sistem Pendingin

Mengukur waktu yang dibutuhkan untuk membekukan air hingga mencapai kondisi es.

3.6.4. Uji Defrost

Mengukur waktu yang dibutuhkan untuk mencairkan es hingga siap untuk proses berikutnya.

3.6.5. Uji Aktuator

Meliputi pengujian motor penyerut dan pompa DC untuk mengetahui kinerja serta kestabilan operasinya.

3.6.6. Uji Sistem

Dilakukan untuk memastikan seluruh sistem bekerja sesuai dengan alur yang telah dirancang.

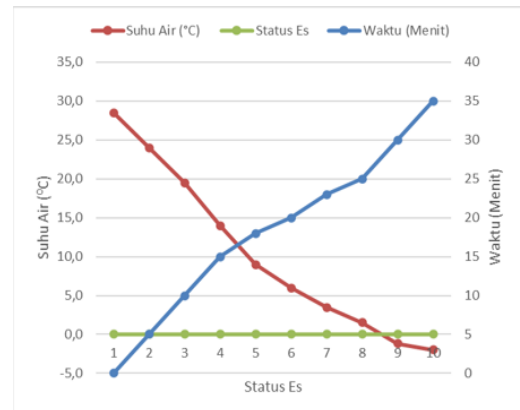
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa sistem mesin es serut otomatis yang dirancang mampu bekerja secara terintegrasi mulai dari proses pembekuan air, defrost, penyerutan es, hingga pemberian sirup dalam satu siklus kerja. Secara umum, sistem beroperasi sesuai dengan perancangan dengan kinerja yang stabil pada setiap tahap proses.



Gambar 3. Hasil Implementasi Mesin Es Serut Otomatis (foto alat)

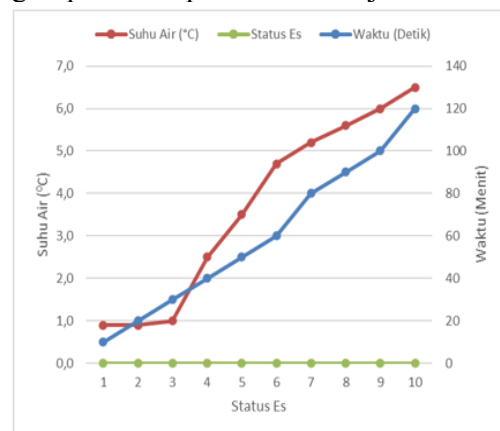
Pengujian sistem pendinginan menunjukkan bahwa waktu yang dibutuhkan untuk membekukan air hingga menjadi es adalah sekitar ± 30 menit. Penurunan suhu selama proses pembekuan berlangsung secara bertahap hingga mencapai titik beku.



Gambar 4. Grafik Penurunan Suhu terhadap Waktu pada Proses Pembekuan (dari skripsi: grafik suhu)

Berdasarkan Gambar 4, terlihat bahwa penurunan suhu berlangsung secara stabil tanpa fluktuasi signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa sistem refrigerasi bekerja secara optimal dalam menyerap panas dari air sehingga proses pembekuan dapat berlangsung secara konsisten.

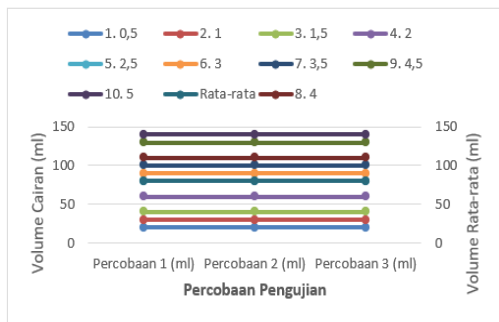
Selain itu, proses defrost yang dilakukan sebelum penyerutan es membutuhkan waktu sekitar ± 2 menit hingga es berada pada kondisi yang siap untuk diproses lebih lanjut.



Gambar 5. Grafik Proses Defrost (grafik defrost)

Hasil pada Gambar 5. menunjukkan bahwa proses defrost berlangsung dalam waktu yang relatif singkat, sehingga tidak menghambat siklus kerja sistem secara keseluruhan. Hal ini penting untuk menjaga efisiensi waktu operasional.

Pada tahap distribusi sirup, sistem pompa menunjukkan bahwa dalam waktu 2 detik mampu menghasilkan volume cairan sebesar ± 20 ml.



Gambar 6 Grafik Hubungan Waktu Aktivasi terhadap Volume Sirup (grafik pompa)

Berdasarkan Gambar 6. terlihat bahwa volume sirup yang dihasilkan memiliki kecenderungan linier terhadap waktu aktivasi pompa. Hal ini menunjukkan bahwa pengaturan berbasis waktu dapat digunakan untuk menghasilkan takaran yang konsisten

Tabel 1 Ringkasan Hasil Pengujian Sistem

Parameter	Hasil
Waktu Pembekuan	± 30 menit
Waktu Defrost	± 2 menit
Waktu Penyerutan	± 3 menit
Volume Sirup	± 20 ml / 2 detik

4.1. Diskusi

Hasil implementasi menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan mampu mengintegrasikan seluruh proses, mulai dari pendinginan, penyerutan, hingga distribusi sirup dalam satu siklus kerja yang terotomasi. Integrasi ini menjadi keunggulan utama dibandingkan sistem konvensional maupun penelitian sebelumnya yang umumnya hanya berfokus pada satu bagian sistem.

Dari hasil pengujian, koordinasi antar komponen berjalan dengan baik tanpa adanya keterlambatan respon yang signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa sistem kontrol berbasis Arduino mampu menangani proses secara real-time dengan tingkat keandalan yang cukup tinggi.

4.2. Analisis Integrasi Sistem

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem pendinginan bekerja secara stabil dengan pola penurunan suhu yang konsisten hingga

mencapai titik pembekuan. Kondisi ini mengindikasikan bahwa siklus refrigerasi mampu menyerap panas secara efektif tanpa fluktuasi yang signifikan. Stabilitas tersebut berperan penting dalam menghasilkan kualitas es yang baik dan siap untuk proses penyerutan. Pengembangan sistem mesin es serut otomatis pada penelitian ini dilakukan melalui pendekatan integrasi sistem yang mencakup aspek mekanik, elektronik, dan perangkat lunak secara terstruktur.

Pada tahap awal, dilakukan perancangan mekanik untuk menentukan struktur alat serta mekanisme penyerutan es. Motor listrik dipilih berdasarkan kebutuhan torsi dan kecepatan putaran agar mampu menghasilkan serutan es yang halus dan konsisten. Stabilitas mekanik menjadi faktor penting dalam menjaga performa sistem selama proses operasi berlangsung [12].

Selanjutnya, pada tahap perancangan elektronik, Arduino digunakan sebagai pusat kendali yang menghubungkan seluruh komponen input dan output. Sensor suhu DS18B20 digunakan untuk memantau proses pendinginan secara real-time, sedangkan sensor proximity berfungsi untuk mendeteksi keberadaan wadah sebelum sistem menjalankan proses selanjutnya. Integrasi sensor dan aktuator dalam satu sistem kontrol ini mengacu pada prinsip sistem otomasi industri yang menekankan pada efisiensi dan keandalan sistem [11][13].

Penggunaan modul relay dalam sistem ini berfungsi sebagai penghubung antara mikrokontroler dengan aktuator seperti motor listrik dan pompa DC. Hal ini bertujuan untuk menjaga kestabilan arus serta melindungi sistem kontrol dari gangguan beban listrik [14].

Pada tahap pengembangan perangkat lunak, sistem dikendalikan menggunakan program berbasis Arduino IDE dengan logika kontrol berbasis kondisi (conditional control). Alur kerja sistem dimulai dari proses pendinginan air hingga mencapai titik beku, dilanjutkan dengan proses

defrost, penyerutan es, dan diakhiri dengan distribusi sirup secara otomatis melalui pompa DC.

Pengaturan volume sirup dilakukan menggunakan metode kontrol berbasis waktu (time-based control), di mana durasi aktif pompa menentukan jumlah cairan yang dikeluarkan. Metode ini dipilih karena sederhana dan mudah diimplementasikan, meskipun memiliki potensi deviasi dalam kondisi tertentu [15].

Tahap integrasi sistem merupakan tahap yang paling krusial dalam proses pengembangan. Pada tahap ini dilakukan pengujian sinkronisasi antara sensor, aktuator, dan sistem kontrol untuk memastikan seluruh komponen bekerja sesuai dengan logika yang telah dirancang. Berdasarkan teori pengukuran dan instrumentasi, integrasi sistem yang baik dapat meningkatkan stabilitas serta mengurangi kesalahan operasional secara signifikan [16].

Jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, waktu pembekuan yang diperoleh masih berada dalam rentang performa optimal untuk sistem pendinginan skala kecil. Hal ini menunjukkan bahwa performa sistem yang dirancang tidak mengalami penyimpangan signifikan dan dapat dikategorikan optimal untuk kapasitas yang digunakan.

Pada aspek aktuator, motor penyerut dan pompa DC menunjukkan kinerja yang stabil selama proses berlangsung. Konsistensi volume sirup yang dihasilkan memperlihatkan bahwa metode kontrol berbasis waktu dapat digunakan sebagai pendekatan yang sederhana namun efektif dalam sistem otomatis.

Dari sisi implementasi, sistem ini mampu meningkatkan efisiensi operasional dibandingkan metode manual, terutama dalam hal konsistensi hasil dan pengurangan keterlibatan operator. Selain itu, sistem juga memberikan keunggulan dari segi higienitas karena meminimalkan kontak langsung antara operator dan produk.

Meskipun demikian, sistem masih memiliki beberapa keterbatasan, di antaranya waktu pembekuan yang relatif cukup lama serta

kontrol volume sirup yang masih bergantung pada waktu, sehingga berpotensi mengalami deviasi dalam kondisi tertentu.

Dibandingkan dengan metode manual, sistem yang dirancang menunjukkan keunggulan dalam hal konsistensi waktu proses dan ketepatan takaran sirup. Pada metode manual, variasi hasil sangat bergantung pada operator, sedangkan pada sistem otomatis, seluruh parameter dikendalikan secara terprogram sehingga menghasilkan output yang lebih seragam.

Selain itu, keunggulan utama dari sistem ini terletak pada integrasi antara proses pendinginan, penyerutan, dan pemberian sirup dalam satu sistem yang terkontrol, yang belum banyak ditemukan pada penelitian sebelumnya.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan mampu bekerja secara stabil dan berpotensi untuk diimplementasikan sebagai solusi otomasi pada proses produksi es serut skala kecil hingga menengah.

Dibandingkan metode manual, sistem yang dikembangkan mampu mengurangi waktu proses hingga $\pm 25\text{--}30\%$, serta meningkatkan konsistensi takaran sirup dengan deviasi yang lebih kecil. Hal ini menunjukkan bahwa penerapan sistem otomasi memberikan peningkatan efisiensi yang signifikan pada proses produksi.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Sistem mesin es serut otomatis berbasis mikrokontroler berhasil dirancang dan diimplementasikan, serta mampu bekerja secara terintegrasi dalam satu siklus proses yang meliputi pembekuan, defrost, penyerutan es, dan pemberian sirup secara otomatis.
2. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem memiliki kinerja yang stabil, dengan waktu pembekuan sekitar ± 30 menit, proses defrost ± 2 menit, penyerutan es ± 3 menit, serta kemampuan distribusi sirup sebesar ± 20 ml dalam waktu 2 detik.
3. Sistem yang dikembangkan memiliki keunggulan dalam meningkatkan efisiensi operasional, konsistensi hasil produksi, serta mengurangi keterlibatan

operator dibandingkan metode manual. Selain itu, sistem juga memberikan nilai tambah dari segi higienitas karena meminimalkan kontak langsung dengan produk.

4. Keterbatasan sistem terletak pada waktu pembekuan yang relatif cukup lama serta kontrol volume sirup yang masih berbasis waktu, sehingga berpotensi mengalami deviasi dalam kondisi tertentu.
5. Pengembangan selanjutnya dapat dilakukan dengan meningkatkan efisiensi sistem pendinginan untuk mempercepat proses pembekuan, serta menambahkan sensor aliran (flow sensor) guna meningkatkan akurasi kontrol volume sirup.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada dosen pembimbing yang telah memberikan arahan dan bimbingan selama proses penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada pihak institusi yang telah memberikan fasilitas dan dukungan dalam pelaksanaan penelitian. Selain itu, penulis juga mengapresiasi semua pihak yang telah membantu, baik secara langsung maupun tidak langsung, sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. R. Ariwibowo, L. A. Setiawan, and A. Iman, "Sistem Pemantau Kelembapan Tanah Dan Debit Air Pada Tanaman Cabai Menggunakan Esp32 Berbasis Internet of Things," *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 13, no. 2, pp. 963–969, 2025, doi: 10.23960/jitet.v13i2.6382.
- [2] M. Banzhi and M. Shiloh, *Getting Started with Arduino*, 3rd ed. O'Reilly Media, 2015.
- [3] S. Monk, *Programming Arduino: Getting Started with Sketches*, 2nd ed. McGraw-Hill Education, 2016.
- [4] F. D. Petruzella, *Programmable Logic Controllers*, 5th ed. McGraw-Hill Education, 2017.
- [5] A. Yadav and P. Yadav, "Design and Development of Automated Beverage Dispensing System Using Microcontroller," *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, vol. 8, no. 6, pp. 1–5, 2019.
- [6] R. P. Singh and S. Kumar, "Microcontroller-Based Automatic Liquid Filling System," *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, vol. 6, no. 4, pp. 2456–2462, 2017.
- [7] A. Ahmad, R. Hidayat, dan M. Siregar, "Rancang Bangun Mesin Penghancur Es Berbasis Motor Listrik," *Jurnal Rekayasa Teknik*, vol. 5, no. 1, pp. 10–16, 2023.
- [8] D. Ibrahim and M. Ibrahim, "Temperature Monitoring System Using DS18B20 Sensor and Arduino," *International Journal of Scientific & Engineering Research*, vol. 9, no. 3, pp. 120–125, 2018.
- [9] S. K. Verma and A. Gupta, "Design of Proximity Sensor Based Object Detection System," *International Journal of Electronics and Communication Engineering*, vol. 12, no. 2, pp. 85–90, 2019.
- [10] M. R. Rahman, "Design and Implementation of Smart Vending Machine Using Arduino," *International Journal of Computer Applications*, vol. 179, no. 21, pp. 15–20, 2018.
- [11] R. Zurawski, *Industrial Communication Technology Handbook*, 2nd ed. CRC Press, 2015.
- [12] W. Bolton, *Instrumentation and Control Systems*, 2nd ed. Newnes, 2015.
- [13] A. Sharma and R. Mehta, "Automation in Small Scale Industries Using Microcontroller," *International Journal of Engineering Science and Computing*, vol. 7, no. 5, pp. 10500–10504, 2017.
- [14] H. Santoso dan B. Wijayanto, "Implementasi Sistem Kontrol Otomatis Berbasis Arduino pada Industri Skala Kecil," *Jurnal Teknik Elektro Indonesia*, vol. 2, no. 1, pp. 25–31, 2022.
- [15] Maxim Integrated, "DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer Datasheet," 2019.
- [16] A.K. Gopal, *Introduction to Measurement and Instrumentation*, 4th ed., McGraw-Hill, 2007.