

PENGEMBANGAN *VENDING MACHINE* OBAT DENGAN SISTEM DETEKSI BERBASIS *MIKROKONTROLER*

Naufal Tsani Firjatulloh^{1*}, Anifatul Faricha², Dimas Adiputra³

^{1, 2, 3}Universitas Telkom

ntsani@student.telkomuniversity.ac.id*, faricha@telkomuniversity.ac.id², dimasze@telkomuniversity.ac.id³

Abstrak

Penelitian ini membahas perancangan dan pengujian Sistem Refrigerasi Kompresi Uap (SRKU) sebagai pendingin kondensor pada ekstraktor soxhlet. Latar belakang penelitian adalah perlunya sistem pendingin yang efisien dan berkelanjutan untuk proses ekstraksi yang berlangsung secara kontinu. Metode yang digunakan meliputi desain dan perakitan SRKU, pengujian performa menggunakan beban panas dari heater, serta verifikasi kinerja melalui aplikasi pada sistem soxhlet dengan pelarut etanol. Parameter utama yang diukur meliputi kapasitas pendinginan (Q), *Coefficient of Performance* (COP), laju produksi kondensat, dan *Specific Energy Consumption* (SEC). Hasil pengujian menunjukkan bahwa SRKU mampu menghasilkan kapasitas pendinginan 100–140 W, yang cukup untuk melawan panas yang dihasilkan dari pemanas soxhlet sebesar 100 W. Nilai COP meningkat saat laju aliran air diturunkan, sedangkan laju produksi kondensat optimal terjadi pada set point suhu menengah. Hasil laju produksi kondensat yang mempunyai hasil terbaik pada suhu menengah. Kesimpulan utama adalah bahwa SRKU yang dirancang dapat diintegrasikan dengan sistem soxhlet dan memiliki kinerja yang memadai untuk kebutuhan pendinginan, serta berpotensi untuk dikembangkan lebih lanjut.

Kata kunci: motor DC, pelayanan kesehatan, *rotary encoder*, sensor ultrasonik, *vending machine* obat

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi pada era modern telah merambah ke berbagai bidang, termasuk sektor kesehatan, di mana permasalahan antrean panjang di apotek menjadi kendala utama dalam pelayanan distribusi obat. Antrean yang terjadi akibat tingginya permintaan layanan melebihi kapasitas pelayanan tidak hanya menyebabkan pemborosan waktu bagi pasien, tetapi juga berpotensi meningkatkan risiko penularan penyakit di fasilitas kesehatan [1]. Oleh karena itu, dibutuhkan solusi yang mampu meningkatkan efisiensi pelayanan dan mengurangi interaksi langsung, salah satunya melalui pemanfaatan *vending machine* untuk distribusi obat.

Vending machine, yang awalnya banyak digunakan untuk penjualan makanan dan minuman, kini dikembangkan untuk mendukung distribusi obat secara otomatis. Teknologi ini mampu mengurangi *human error* dalam transaksi, meningkatkan akurasi pengeluaran barang, serta mempercepat pelayanan [2]. Namun, penelitian sebelumnya menunjukkan keterbatasan pada aspek deteksi dan keandalan sistem, khususnya dalam memantau jumlah obat yang dikeluarkan, yang berdampak pada akurasi distribusi [3]. Untuk menjawab keterbatasan tersebut, inovasi teknologi sensor diterapkan pada sistem *vending machine* obat guna mendukung deteksi, pemantauan stok, dan akurasi distribusi.

Sistem ini memanfaatkan integrasi *rotary encoder* dan sensor ultrasonik, dikendalikan oleh mikrokontroler Arduino Mega 2560 serta motor DC dengan *relay 16-channel* sebagai aktuator utama. *Rotary encoder* memastikan jumlah putaran spiral presisi sesuai *input*, sementara sensor ultrasonik digunakan untuk mendeteksi keberhasilan keluaran obat dan memantau stok secara *real-time* [4,5]. Kombinasi kedua

sensor ini memungkinkan sistem bekerja secara presisi, aman, dan efisien dalam konsumsi daya, mendukung pelayanan kesehatan yang lebih cepat dan berkelanjutan.

Tujuan penelitian ini adalah merancang dan mengimplementasikan sistem *vending machine* obat berbasis mikrokontroler dengan *rotary encoder* dan sensor ultrasonik, serta mengevaluasi performanya melalui pengukuran akurasi (RMSE dan MAPE) dan efisiensi energi. Hasil penelitian ini diharapkan menjadi solusi inovatif yang dapat meningkatkan kualitas pelayanan kesehatan sekaligus menjadi referensi bagi pengembangan perangkat distribusi obat otomatis yang hemat energi.

II. KAJIAN TEORI

A. *Vending Machine* Obat

Vending machine merupakan mesin otomatis yang dapat mengeluarkan barang setelah pengguna melakukan transaksi pembayaran sesuai instruksi. Mesin ini bekerja secara *standalone* dan lazim digunakan untuk penjualan produk seperti makanan, minuman, atau rokok. Perkembangan teknologi memungkinkan *vending machine* dikembangkan untuk distribusi obat di fasilitas kesehatan, sehingga mampu mempercepat pelayanan tanpa antrean panjang [6,7]. Sistem ini umumnya menggunakan antarmuka berupa layar sentuh atau tombol pilihan untuk memilih obat, sebelum produk dikeluarkan secara otomatis [8].

B. Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560 adalah papan mikrokontroler berbasis Atmega2560 dengan 54 pin digital (14 mendukung PWM) dan 16 pin analog, yang digunakan untuk mengendalikan sensor dan aktuator dalam sistem elektronik.

Dalam penelitian ini, Arduino berperan sebagai pengendali utama pengeluaran obat, validasi deteksi, serta pemantauan stok obat. Arduino memproses data dari sensor ultrasonik dan *rotary encoder*, memastikan distribusi obat presisi dan mendukung pencegahan kesalahan operasional [9].

C. Motor DC

Motor *Direct Current* (DC) berfungsi mengubah energi listrik menjadi energi mekanik berupa gerak. Motor ini digunakan luas sebagai aktuator karena dapat dikendalikan arah dan kecepatannya melalui sistem elektronika daya dan mikrokontroler, menjadikannya sesuai untuk aplikasi robotika dan mesin otomatis [10,11]. Dalam penelitian ini, motor DC menggerakkan spiral pada tiap *channel* untuk menyalurkan obat sesuai instruksi pengguna [12,13].

D. Rotary Encoder

Rotary encoder adalah perangkat pengubah gerak rotasi menjadi sinyal digital atau analog untuk mendeteksi kecepatan, arah, dan posisi poros. *Encoder* optik dan magnetik merupakan dua jenis utama, dengan keunggulan presisi pada pengukuran sudut dan keandalan untuk kontrol *closed-loop* [14]. *Rotary encoder* pada penelitian ini dipasang pada motor DC guna mendeteksi jumlah putaran spiral sehingga jumlah obat yang dikeluarkan sesuai dengan *input* [15].

E. Sensor Ultrasonik

Sensor ultrasonik bekerja dengan mengirimkan pulsa suara frekuensi tinggi dan menerima pantulannya, sehingga dapat menghitung jarak atau mendeteksi keberadaan objek. Sensor ini efektif digunakan pada lingkungan dengan gangguan visual atau elektromagnetik dan cocok diterapkan pada *vending machine* untuk memastikan obat jatuh dengan benar serta meminimalkan kesalahan deteksi [16,17].

F. Pelayanan Kefarmasian

Pelayanan kefarmasian bertujuan menjamin keamanan, efektivitas, dan rasionalitas penggunaan obat sebagai bagian dari upaya meningkatkan kesehatan masyarakat. Standar pelayanan kefarmasian diatur melalui Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 73 Tahun 2016, yang mencakup pengelolaan sediaan farmasi serta pelayanan farmasi klinik, seperti pengkajian resep, *dispensing*, pelayanan informasi obat, dan pemantauan terapi [18]. Sistem otomatisasi, seperti *vending machine* obat, dapat mendukung standar ini dengan mempercepat distribusi obat sekaligus menjaga kualitas penyimpanan dan akurasi distribusi [19].

III. METODE

Penelitian ini mengembangkan studi terdahulu dengan menambahkan sistem deteksi otomatis pada *vending machine* obat berbasis mikrokontroler. Inovasi meliputi integrasi *rotary encoder* untuk mendeteksi putaran spiral secara presisi dan sensor ultrasonik untuk memonitor keluaran obat. Sistem menggunakan Arduino Mega 2560, motor DC, dan *relay 16 channel* untuk mengendalikan sembilan *channel* spiral berukuran 2 cm (*kaplet* kecil/ tipe I), 3 cm (*kaplet* besar/ tipe I), dan 7 cm (obat cair/ tipe II). Tahapan penelitian meliputi studi literatur, persiapan alat dan bahan, pemrograman dan integrasi komponen, implementasi

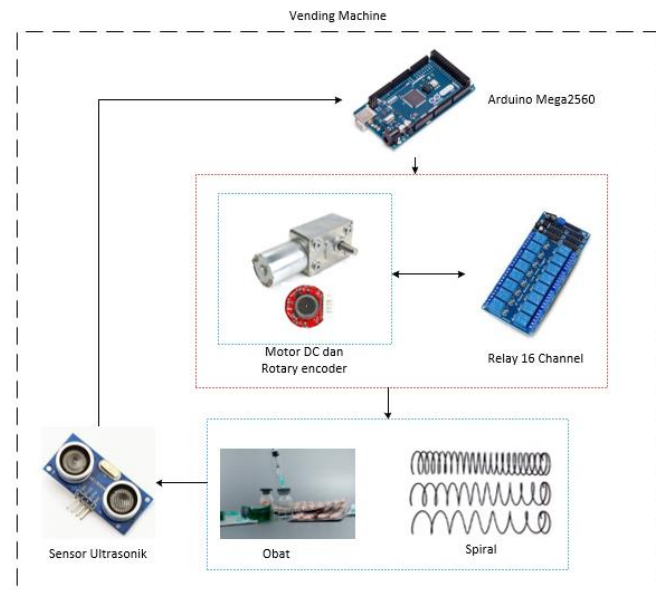
pada prototipe, pengujian kinerja tiap *channel* dan simultan, analisis akurasi distribusi obat dan efisiensi energi, serta penarikan kesimpulan dan rekomendasi pengembangan.

Tabel 1 menyajikan daftar alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini, beserta spesifikasi teknis dan fungsi utama masing-masing komponen yang mendukung pengembangan serta pengujian sistem *vending machine* obat.

TABEL 1
ALAT DAN BAHAN PENELITIAN

No.	Alat/Bahan	Spesifikasi	Fungsi
1	Sensor <i>Rotary Encoder</i>	5V/3.3V, <40 mA, <i>dual channel</i> (A&B), <i>TTL output</i> , <i>incremental feedback</i>	Menghitung putaran spiral motor
2	Sensor Ultrasonik	5V, 15 mA, jangkauan 2 cm–4 m, sudut 15°, <i>TTL output</i>	Mendeteksi keluarnya obat dari spiral
3	Arduino Mega 2560	ATmega2560, 5V, 54 I/O (15 <i>PWM</i>), 16 <i>input analog</i> , <i>clock</i> 16 MHz	Mengontrol motor dan sensor
4	Adaptor 12V	<i>Input</i> 110–240V AC, <i>output</i> 12V DC 30A	Sumber daya utama sistem
5	Motor DC (ZGY370)	<i>Geared motor</i> , 300 mA, torsi 10 kg.cm, daya 3W	Menggerakkan spiral ulir pengeluaran obat
6	<i>Relay 16 Channel</i>	5V, kapasitas AC 250V 10A/DC 30V 10A, <i>TTL logic</i> , <i>LED indikator</i>	Mengatur motor tiap <i>channel</i> secara terpisah
7	Kabel <i>Jumper</i>	Bervariasi	Menghubungkan komponen sistem

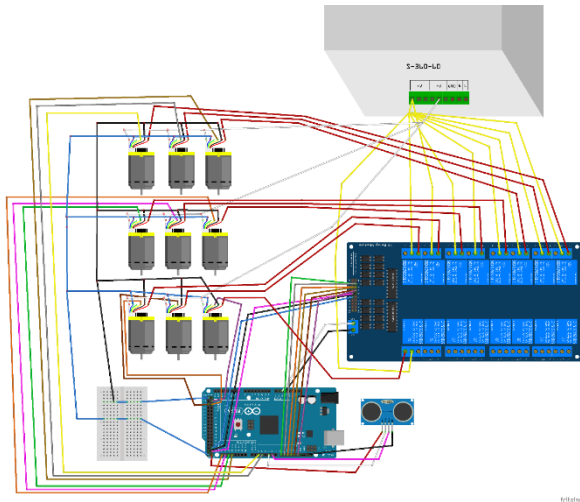
Rangkaian sistem direpresentasikan dalam blok diagram pada Gambar 1, yang menggambarkan secara jelas aliran perintah mulai dari *input* pengguna, proses pengendalian dan deteksi oleh komponen utama, hingga keluaran obat sebagai *output* akhir sistem.



GAMBAR 1
BLOK DIAGRAM

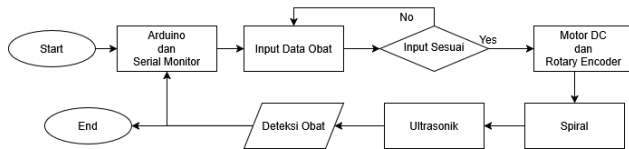
Skematik sistem Gambar 2 menggambarkan hubungan kelistrikan, meliputi sambungan sensor (pin 2,3,18–21,50–52 untuk *encoder*, pin 42–43 untuk ultrasonik), motor DC (pin 8–13,22–24), dan *relay* ke *power supply* 12V. Arduino

menerima data sensor dan mengatur motor agar spiral berhenti presisi.



GAMBAR 2
SKEMATIK SISTEM

Algoritma Gambar 3 dimulai dari *input* obat, verifikasi posisi dan stok obat melalui sensor, eksekusi motor DC, lalu pengecekan ulang hasil distribusi. Jika akurat, sistem *standby*; jika tidak, penyesuaian otomatis dilakukan.



GAMBAR 3
ALGORITMA SISTEM

Akurasi pengeluaran obat dianalisis menggunakan *Root Mean Square Error* (RMSE) dan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE). RMSE mengukur besar deviasi absolut antara jumlah obat yang dikeluarkan dan jumlah yang diminta, sedangkan MAPE menunjukkan tingkat kesalahan relatif dalam persentase untuk mempermudah evaluasi kinerja tiap *channel*. RMSE dihitung menggunakan Persamaan (1):

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_o - \hat{O}_i)^2}{n}} \quad (1)$$

Sedangkan MAPE dihitung menggunakan Persamaan (2):

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{O_{out} - \hat{O}_{in}}{\hat{O}_{in}} \right| \times 100\% \quad (2)$$

dengan O_{out} adalah jumlah aktual obat yang keluar, $\hat{O}_{in}$ adalah jumlah obat yang diminta, dan n adalah jumlah total pengujian. Pengujian konsumsi daya dilakukan selama lima hari menggunakan wattmeter, baik pada kondisi siaga (*standby*) maupun pengoperasian aktif. Data konsumsi daya

dianalisis dan dibandingkan dengan standar efisiensi perangkat otomatisasi skala kecil [20] untuk menilai kelayakan dan efisiensi energi.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian dilakukan pada prototipe *vending machine* obat dengan sembilan *channel* spiral menggunakan tiga ukuran ulir (2 cm untuk obat kaplet kecil, 3 cm untuk kaplet besar, dan 7 cm untuk obat cair). Evaluasi difokuskan pada tiga aspek utama, yaitu akurasi pengeluaran obat, kinerja sensor (*rotary encoder* dan ultrasonik), serta efisiensi konsumsi daya.

A. Akurasi Pengeluaran Obat

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mengeluarkan obat sesuai jumlah *input* tanpa adanya kelebihan atau kekurangan unit. Akurasi dianalisis menggunakan *Root Mean Square Error* (RMSE) untuk mengukur deviasi absolut, dan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) untuk mengukur deviasi relatif. Rata-rata RMSE mencapai 1,04 dan MAPE 24,20%. Tabel 2 menyajikan rata-rata perhitungan RMSE dan MAPE.

TABEL 2.
RATA-RATA RMSE DAN MAPE

No.	Channel	Jumlah Obat	Tipe Obat	Kalibrasi	RMSE	MAPE
1	A	9	I	aman	1,65	30,01%
2	B	3	II	aman	0,73	26,11%
3	C	7	I	aman	1,11	32,94%
4	D	6	I	aman	1,09	18,28%
5	E	3	II	aman	0,44	11,67%
6	F	7	I	aman	1,06	20,26%
7	G	6	I	aman	0,91	27,61%
8	H	3	II	aman	0,65	26,67%
9	I	9	I	aman	1,74	24,25%
Rata-rata					1,042222	24,20%

Meskipun MAPE berada pada kategori “perkiraan baik” (10–30%) sesuai klasifikasi [21], deviasi berasal dari pembacaan sensor ultrasonik, bukan dari mekanisme spiral. Sistem motor DC dan *rotary encoder* memastikan distribusi obat berjalan presisi.

B. Kinerja *Rotary Encoder* dan Sensor Ultrasonik

Rotary encoder berfungsi optimal dalam menghitung putaran spiral sehingga pengeluaran obat tidak mengalami kesalahan mekanis. Sensor ultrasonik mengalami deviasi pembacaan (RMSE 0,44–1,74; MAPE 11–33%) akibat arah jatuh obat, variasi reflektivitas permukaan, dan keterbatasan sudut deteksi. Deviasi ini tidak memengaruhi distribusi obat karena sensor hanya berfungsi sebagai fitur *monitoring*, bukan kontrol utama. Hal ini sejalan dengan toleransi deviasi ± 4 unit yang masih diterima untuk sistem otomatis [22].

C. Efisiensi Konsumsi Daya

Tabel 3 menyajikan hasil pengukuran konsumsi daya selama lima hari pengujian.

TABEL 3.
TOTAL RATA-RATA KONSUMSI DAYA

No.	Waktu	Kondisi	Daya Terendah (W)	Daya Tertinggi (W)	Daya/jam (kWh)
1	Hari kesatu	standby	0,9	1,5	0,025
2	Hari kedua	standby	1,2	2,1	0,039
3	Hari ketiga	pengujian	1,2	2,4	0,43
4	Hari keempat	pengujian	1,2	2,1	0,038
5	Hari kelima	standby	0,9	2,1	0,036
Total Rata-rata Daya/Jam					0,181

Total konsumsi daya tercatat 0,181 kWh dengan puncak daya 2,4 W pada kondisi operasional aktif. Nilai ini tergolong rendah untuk sistem mikrokontroler *multi-channel* dan sejalan dengan prinsip efisiensi energi pada sistem tertanam menurut [20]. Arsitektur sederhana, siklus aktif pendek, dan tegangan suplai tetap memungkinkan efisiensi tanpa memerlukan *Dynamic Voltage and Frequency Scaling* (DVFS).

D. Waktu Distribusi Obat dan Perbandingan Penelitian Terdahulu

Tabel 4 menyajikan waktu pengeluaran rata-rata dengan jenis obat kaplet/ tipe I dan cair/ tipe II dengan tujuh kali pengambilan data.

TABEL 4.
RATA-RATA WAKTU DISTRIBUSI OBAT

No.	Uji coba ke – N	Rata-rata waktu pengeluaran per unit obat (detik)
1	Percobaan pertama	2,74
2	Percobaan kedua	2,67
3	Percobaan ketiga	2,59
4	Percobaan keempat	2,66
5	Percobaan kelima	2,72
6	Percobaan keenam	2,72
7	Percobaan ketujuh	2,74

Selama tujuh kali pengujian simultan seluruh *channel*, waktu pengeluaran obat per unit rata-rata berada pada rentang 2,59–2,74 detik, menunjukkan kecepatan distribusi yang konsisten bahkan pada beban maksimum. Waktu ini termasuk efisien untuk sistem otomatisasi *multi-channel*. Dibandingkan dengan penelitian terdahulu yang mencatat nilai RMSE sebesar 0,161, nilai MAPE sebesar 1,74%, dan nilai rata-rata konsumsi daya 0,144kWh, sistem ini memang mencatat RMSE (1,04) dan MAPE (24,20%) yang lebih tinggi serta konsumsi daya 0,181 kWh. Namun, penelitian ini membawa *novelty* berupa integrasi *rotary encoder* dan sensor ultrasonik, memungkinkan deteksi putaran spiral presisi, pemantauan keberhasilan distribusi, dan potensi pengembangan *monitoring* stok secara *real-time*. Penelitian sebelumnya hanya mengandalkan motor standar tanpa kontrol putaran dan tidak menyediakan data sensor, sehingga tidak mampu memberikan visibilitas terhadap deviasi maupun status distribusi obat.

Selain itu, meskipun konsumsi daya lebih tinggi, performa distribusi obat tetap cepat (rata-rata 2,6 detik/unit) dan sistem dinilai efisien secara struktural. Peningkatan daya

wajar karena adanya fitur deteksi tambahan, sesuai temuan [20] yang menyatakan bahwa penambahan komponen *monitoring* biasanya meningkatkan konsumsi daya, tetapi dapat dijaga efisien dengan arsitektur *low-power* dan *duty-cycling*, seperti pada sistem ini. Sistem ini lebih unggul dalam fungsionalitas, kecepatan distribusi, dan kemampuan *monitoring real-time*, meskipun terdapat peningkatan konsumsi daya dan deviasi pembacaan sensor yang masih dapat diperbaiki melalui kalibrasi dan optimasi sensor.

V. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan prototipe *vending machine* obat berbasis mikrokontroler dengan integrasi sensor *rotary encoder* dan ultrasonik untuk mendukung distribusi obat secara presisi melalui sembilan *channel* spiral dengan tiga ukuran ulir (2 cm, 3 cm, dan 7 cm) sesuai jenis obat. Sistem menunjukkan distribusi obat yang akurat dengan waktu pengeluaran rata-rata 2,59–2,74 detik per unit, tanpa kelebihan maupun kekurangan jumlah obat. Analisis akurasi menggunakan *Root Mean Square Error* (RMSE) dan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) menunjukkan nilai rata-rata masing-masing 1,04 unit dan 24,20%, di mana deviasi berasal dari pembacaan sensor ultrasonik dan tidak memengaruhi mekanisme spiral sebagai komponen utama distribusi.

Konsumsi daya selama lima hari pengujian tercatat sebesar 0,181 kWh dengan puncak daya 2,4 W, tergolong efisien untuk sistem *multi-channel* berbasis mikrokontroler sebagaimana direkomendasikan [20]. Dibandingkan penelitian terdahulu, meskipun nilai deviasi sensor dan konsumsi daya relatif lebih tinggi, sistem ini menghadirkan keunggulan berupa deteksi presisi menggunakan *rotary encoder*, fitur *monitoring* dengan sensor ultrasonik, serta distribusi obat yang lebih cepat dan stabil. Dengan keunggulan tersebut, prototipe ini dinilai layak untuk dioptimalkan lebih lanjut, khususnya melalui peningkatan kalibrasi sensor, agar dapat mendukung implementasi nyata dalam meningkatkan efisiensi dan kualitas pelayanan kesehatan.

REFERENSI

- [1] F. Fadilah, J. Nangi, dan R. A. Saputra, "Sistem Antrian Konsultasi Dokter Praktik Menggunakan *Single Channel Single Phase* Berbasis Website," *Jurnal Manajemen Informatika (JAMIKA)*, vol. 13, no. 1, pp. 73–83, 2023, doi: <https://doi.org/10.34010/jamika.v13i1.9307>.
- [2] V. Mora Alkautsar dan I. Husnaini, "Perancangan *Vending Machine* Menggunakan Uang Kertas Berbasis Arduino," *JTEIN: Jurnal Teknik Elektro Indonesia*, vol. 2, no. 2, pp. 142–147, 2021, doi: <http://dx.doi.org/10.24036/jtein.v2i2.139>.
- [3] V. Sibanda, L. Munetsi, K. Mpofu, E. Murena, dan J. Trimble, "Design of a High-Tech *Vending Machine*," *Procedia CIRP*, vol. 91, pp. 678–683, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.04.133>.

- [4] D. T. Laksono, M. A. R. Waskita Wicaksono, M. F. Fahmi, dan D. T. Laksono, "Pengaturan Water Pump dan Deteksi Koin pada Vending Machine Jamu Tradisional Madura," *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, vol. 12, no. 1, 2024, doi: <https://doi.org/10.23960/jitet.v12i1.3863>.
- [5] A. Aulia dan A. Rohmanu, "Penerapan Metode Prototyping Dalam Perhitungan Hasil Produksi Menggunakan Arduino Uno R3 dan PHP di PT. Indonesia Epson Industry," *Jurnal Informasi dan Komputer*, vol. 9, 2021, [Online]. Available: <https://www.deckotabumi.ac.id/ojs/index.php/jik/article/view/249>.
- [6] Y. Cao, Y. Ikenoya, T. Kawaguchi, S. Hashimoto, dan T. Morino, "A Real-Time Application for the Analysis of Multi-Purpose Vending Machines with Machine Learning," *Sensors*, vol. 23, no. 4, 2023, doi: <https://doi.org/10.3390/s23041935>.
- [7] F. Titiani, S. Anggraeni Putri, W. Gata, dan S. Tinggi Manajemen Informatika dan Komputer Nusa Mandiri, "Penerapan Konsep Finite State Automata Pada Aplikasi Simulasi Vending Machine Jamu Tradisional," *Jurnal Informatika*, vol. 7, no. 2, pp. 141–147, 2020, doi: <https://doi.org/10.31294/ji.v7i2.8151>.
- [8] J. D. Prasath dan A. Professor, "Fabrication of Smart Food Product Vending Machine Using Arduino," *International Research Journal of Education and Technology*, vol. 5, no. 5, pp. 311–316, 2023.
- [9] D. Yeniwati, Riswan, Nilawati, dan Trigina, "Sistem Absensi Siswa Menggunakan Fingerprint Berbasis Arduino Mega 2560," *FORTECH*, vol. 6, no. 1, 2022, doi: <https://doi.org/10.53564/fortech.v6i1.874>.
- [10] A. Maarif dan N. R. Setiawan, "Control of DC Motor Using Integral State Feedback and Comparison with PID: Simulation and Arduino Implementation," *Journal of Robotics and Control (JRC)*, vol. 2, no. 5, pp. 456–461, 2021, doi: <https://doi.org/10.18196/jrc.25122>.
- [11] V. H. Pinto, J. Gonçalves, dan P. Costa, "Modeling and Control of a DC Motor Coupled to a Non-Rigid Joint," *Applied System Innovation*, vol. 3, no. 2, pp. 1–19, 2020, doi: <https://doi.org/10.3390/asi3020024>.
- [12] M. A. Ardiansyah, R. Rakhmawati, H. E. H. Suharyanto, dan E. Purwanto, "Evaluasi Performa Fuzzy Logic Controller untuk Mengatur Kecepatan Motor DC Penguatan Terpisah," *Energi & Kelistrikan*, vol. 12, no. 2, pp. 100–110, 2020, doi: <https://doi.org/10.33322/energi.v12i2.1000>.
- [13] T. P. Cabré, A. S. Vela, M. T. Ribes, J. M. Blanc, J. R. Pablo, dan F. C. Sancho, "Didactic Platform for DC Motor Speed and Position Control in Z-plane," *ISA Transactions*, vol. 118, pp. 116–132, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.isatra.2021.02.020>.
- [14] M. Dalboni dan A. Soldati, "Absolute Two-Track Optical Rotary Encoders Based on Vernier Method," *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 72, 2023, doi: <https://doi.org/10.1109/TIM.2022.3225052>.
- [15] J. Palacín dan D. Martínez, "Improving the Angular Velocity Measured with a Low-Cost Magnetic Rotary Encoder Attached to a Brushed DC Motor by Compensating Magnet and Hall-Effect Sensor Misalignments," *Sensors*, vol. 21, no. 14, pp. 1–12, 2021, doi: <https://doi.org/10.3390/s21144763>.
- [16] Y. Natali, R. F. N., A. Nurhayati, M. Rizky, A. M. N., M. Roihan, P. Dorand, dan S. Suyatno, "Komunikasi Cahaya Tampak untuk Model Sistem Pintu Otomatis Berbasis Internet of Things," *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Telekomunikasi, dan Elektronika*, vol. 12, no. 4, p. 938, 2024, doi: <https://doi.org/10.26760/elkomika.v12i4.938>.
- [17] A. W. Kurniawan, M. R. Sufandi, dan W. I. Rahayu, "Rancang Bangun Sasaran Tembak Berbasis Mikrokontroler," *ENTRIES (Journal of Electrical Network Systems and Sources)*, vol. 3, no. 2, pp. 104–109, 2024, doi: <https://doi.org/10.58466/entries>.
- [18] D. Mongi, D. Pareta, W. Maarisit, dan J. Kanter, "Evaluasi Pelaksanaan Pelayanan Kefarmasian di Apotek Telemedika Farma 14 Manado," *The Tropical Journal of Biopharmaceutical*, vol. 3, no. 2, pp. 65–71, 2020, doi: <https://doi.org/10.55724/j.biofar.trop.v3i2.286>.
- [19] Y. Paula Ranti, J. Mongi, C. Sambow, dan F. Karauwan, "Evaluasi Sistem Penyimpanan Obat Berdasarkan Standar Pelayanan Kefarmasian di Apotek M Manado," *The Tropical Journal of Biopharmaceutical*, vol. 4, no. 1, pp. 80–87, 2021, doi: <http://dx.doi.org/10.55724/j.biofar.trop.v4i1.312>.
- [20] I. Sofianidis, V. Konstantakos, dan S. Nikolaidis, "Reducing Energy Consumption in Embedded Systems Applications," *Technologies*, vol. 13, no. 2, pp. 1–18, 2025, doi: <https://doi.org/10.3390/technologies13020082>.
- [21] L. Schuhmacher, S. Pollin, dan H. Sallouha, "ecoBLE: A Low-Computation Energy Consumption Prediction Framework for Bluetooth Low Energy," *International Conference on Embedded Wireless Systems and Networks (EWSN)*, pp. 1–6, 2023, [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/2309.16686>.
- [22] A. Karagoz dan G. Dindis, "Object Recognition and Positioning with Neural Networks: Single Ultrasonic Sensor Scanning Approach," *Sensors*, vol. 25, no. 4, pp. 1–24, 2025, doi: <https://doi.org/10.3390/s25041086>.