ISSN : 2723 - 4193
E-ISSN : 2775-8338

Implementasi Neural Network untuk Monitoring Level CPO dan Pengendalian Pompa Berbasis Arduino dan Aplikasi Android pada Tangki Bulking dalam Rangka Transformasi Industri 4.0

Abdul Azis Rahmansyah*[1], Ahmad Rizki Taufagus[2], Anna Angela Sitinjak[1], Golfrid Gultom[1], Dejoi Irfian Situnkir[1]
[1]Politeknik Teknologi Kimia Industri, Prodi Teknik Mekanika
Alamat Jln Medan Tenggara VII, Kota Medan
[2]Mahasiswa Prodi Teknik Mekanika
Alamat Jln Medan Tenggara VII, Kota Medan
*Email: azis@ptki.ac.id

Abstrak

Penerapan teknologi otomatisasi berbasis kecerdasan buatan menjadi salah satu elemen penting dalam mendukung transformasi menuju Industri 4.0, khususnya pada sektor industri kelapa sawit. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem monitoring level Crude Palm Oil (CPO) pada tangki bulking menggunakan sensor ultrasonik dan mengatur kecepatan pompa secara otomatis berdasarkan klasifikasi hasil Neural Network (NN) yang diimplementasikan pada mikrokontroler Arduino. Sistem yang dirancang memanfaatkan sensor ultrasonik HC-SR04 untuk membaca tinggi permukaan CPO, kemudian data tersebut diproses melalui model jaringan syaraf tiruan dengan satu hidden layer berisi tiga neuron dan enam output kelas untuk menentukan tingkat kecepatan pompa. Hasil klasifikasi ini dikonversi menjadi sinyal PWM yang digunakan untuk mengendalikan motor pompa melalui motor driver. Pengujian dilakukan sebanyak 10 kali dengan variasi tinggi cairan, menunjukkan bahwa sensor memiliki tingkat akurasi tinggi dengan rata-rata error sebesar 0,13 cm. Model NN menghasilkan akurasi klasifikasi sebesar 100% pada data uji, dan kontrol kecepatan motor berjalan secara proporsional terhadap level cairan. Sistem ini terbukti responsif dan mampu melakukan pengendalian cairan secara efisien serta real-time. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pendekatan ini layak diterapkan untuk otomasi pengisian dan pengosongan tangki CPO secara cerdas dan adaptif, sejalan dengan prinsip-prinsip Industri 4.0.

Kata kunci: *Neural Network, Arduino, Sensor Ultrasonik, Kecepatan Pompa, Tangki Bulking, CPO, Industri 4.0*

Abstract

The application of automatic technology based on artificial intelligence is one of the important elements in supporting the transformation towards Industry 4.0, especially in the palm oil industry sector. This study aims to develop a Crude Palm Oil (CPO) level monitoring system in a bulking tank using an ultrasonic sensor and automatically regulate the pump speed based on the classification of the Neural Network (NN) results implemented on an Arduino microcontroller. The designed system utilizes an HC-SR04 ultrasonic sensor to read the CPO surface height, then the data is processed through an artificial neural network model with one hidden layer containing three neurons and six output classes to determine the pump speed level. The results of this conversion become a PWM signal which is used to control the pump motor through the motor driver. Testing was carried out 10 times with variations in liquid height, showing that the sensor has a high level of accuracy with an average error of 0.13 cm. The NN model produces a classification accuracy of 100% on the test data, and the motor speed control runs proportionally to the liquid level. This system has proven to be responsive and capable of controlling fluids efficiently and in real-time. The results of the study indicate that this approach is feasible to be applied for intelligent and adaptive automation of filling and emptying CPO tanks, in line with the principles of Industry 4.0.

Keywords: Neural Network, Arduino, Ultrasonic Sensor, Pump Speed, Bulking Tank, CPO, Industry 4.0

1. Pendahuluan

Dalam industri kelapa sawit, *Crude Palm Oil* (CPO) merupakan salah satu komoditas unggulan yang sangat bergantung pada sistem penyimpanan yang efisien dan aman. Salah satu tahapan penting dalam rantai pasok CPO adalah penyimpanan di tangki *bulking*, di mana stabilitas kualitas dan kuantitas produk sangat ditentukan oleh keandalan sistem pemantauan level cairan. Kegagalan dalam memantau level CPO secara akurat dapat menimbulkan risiko serius seperti tumpahan, kerusakan pompa, serta kehilangan material yang signifikan [1], [2]. Sayangnya, hingga kini masih banyak fasilitas yang mengandalkan sistem manual yang

ISSN : 2723 - 4193
E-ISSN : 2775-8338

memiliki keterbatasan dari sisi kecepatan, keselamatan kerja, dan integrasi data dalam skala industri [3].

Transformasi digital dalam kerangka Industri 4.0 telah mendorong implementasi teknologi seperti *Internet of Things* (IoT), kecerdasan buatan (AI), dan sistem kendali tertanam (embedded system) untuk meningkatkan efisiensi dan otomasi proses industri. Teknologi *neural network*, sebagai salah satu bentuk dari AI, terbukti efektif dalam memproses data sensor yang bersifat dinamis dan nonlinier seperti pengukuran level cairan [4], [5]. Neural network dapat menangani ketidakpastian pembacaan sensor, fluktuasi lingkungan, dan memberikan estimasi level cairan secara adaptif, bahkan lebih unggul dibandingkan metode konvensional seperti PID atau *fuzzy logic* [6], [7].

Di sisi lain, Arduino sebagai platform mikrokontroler terbuka telah menjadi solusi favorit dalam pengembangan sistem kendali karena fleksibilitasnya dalam integrasi dengan berbagai sensor dan algoritma kendali berbasis AI [2]. Penggunaan Arduino dalam kombinasi dengan sensor ultrasonik seperti HY-SRF05 telah banyak diaplikasikan dalam sistem pengukuran cairan pada tangki bahan bakar, air, dan sistem irigasi [3], [8]. Studi oleh Ma'arif et al. (2021) menunjukkan bahwa sistem berbasis Arduino dapat mengendalikan motor DC secara presisi menggunakan algoritma PID, namun beberapa studi lanjutan seperti oleh Ibrahim (2024) dan Nasir (2023) membuktikan bahwa pendekatan berbasis *deep learning* memberikan keunggulan dalam hal kecepatan adaptasi dan akurasi prediksi.

Meskipun terdapat beberapa penelitian yang memanfaatkan neural network untuk monitoring cairan atau pengendalian aktuator secara terpisah, integrasi penuh antara sensor ultrasonik, neural network, pengontrol mikrokontroler (Arduino), serta pengendalian kecepatan pompa dalam konteks monitoring level CPO di tangki bulking masih jarang dilakukan. Penelitian ini hadir untuk mengisi celah tersebut, yakni dengan mengembangkan sistem monitoring dan kontrol berbasis neural network yang mampu mendukung pengambilan keputusan otomatis dalam sistem penyimpanan CPO sebagai bagian dari strategi digitalisasi industri sawit nasional.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring level cairan serta pengendalian kecepatan pompa secara otomatis menggunakan Arduino dan sensor ultrasonik yang didukung oleh pemrosesan data melalui *neural network*. Sistem ini diharapkan mampu meningkatkan efisiensi, keselamatan, dan kualitas manajemen tangki CPO secara real-time, serta memberikan kontribusi nyata terhadap adopsi teknologi Industri 4.0 di sektor agrikultur dan pengolahan hasil perkebunan.

2. Metode

2.1. Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan adalah penelitian eksperimen terapan (applied experimental research). Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan mengimplementasikan sistem monitoring level cairan (minyak sawit/CPO) menggunakan sensor ultrasonik, serta mengontrol kecepatan motor pompa melalui Neural Network berbasis Arduino dalam 6 tingkatan kecepatan. Penelitian ini mengintegrasikan pendekatan kecerdasan buatan dengan perangkat kendali embedded system untuk mendukung otomatisasi proses industri dalam kerangka Industri 4.0.

2.2. Perancangan Sistem

Perancangan sistem mencakup beberapa komponen utama:

a. Perangkat Keras (Hardware)

- Esp8266: Sebagai mikrokontroler utama.
- Sensor Ultrasonik HC-SR04: Digunakan untuk mendeteksi jarak permukaan cairan ke sensor (maksimal 25 cm).
- Motor Driver (L298N/DRV8833): Untuk mengontrol arah dan kecepatan motor pompa.
- Pompa DC: Aktuator untuk memindahkan cairan berdasarkan level cairan.

b. Perangkat Lunak (Software)

- Python: Digunakan untuk melatih model Neural Network (menggunakan `scikit-learn`) dan menghasilkan bobot dan bias.
- Arduino IDE (C/C++): Digunakan untuk mengimplementasikan model NN secara manual melalui *forward pass* dan mengontrol pompa melalui PWM.

c. Logika Neural Network

ISSN : 2723 - 4193
E-ISSN : 2775-8338

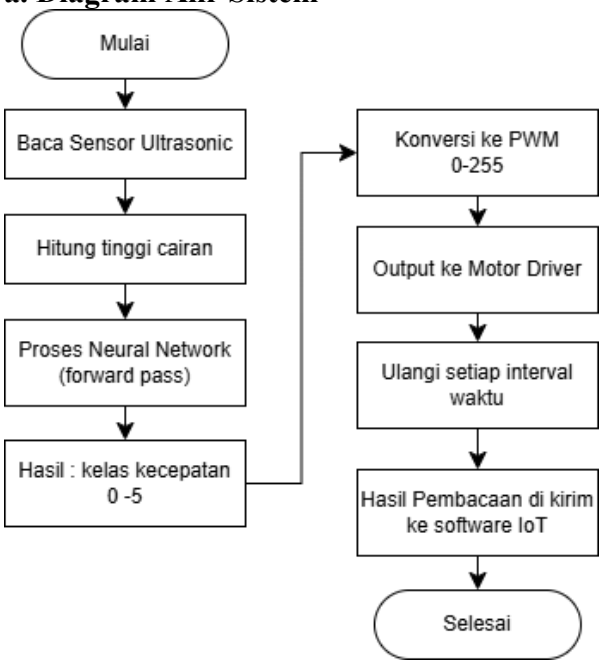
Ditahap ini akan dilakukan train di software Python dengan ketentuan sebagai berikut :

- Input: Tinggi cairan (25 – jarak sensor)
- Hidden Layer: 3 neuron dengan aktivasi ReLU
- Output Layer: 6 neuron (klasifikasi level kecepatan pompa)
- Output Akhir: Nilai kelas (0–5) yang dikonversi ke PWM

Hasil dari phyton berupa nilai bobot dan bias yang akan dimasukkan ke dalam program Arduino.

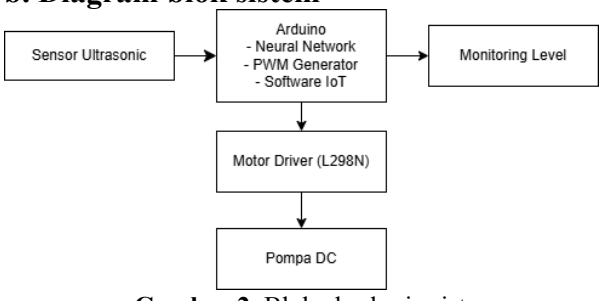
2.3. Diagram Alir Penelitian

a. Diagram Alir Sistem



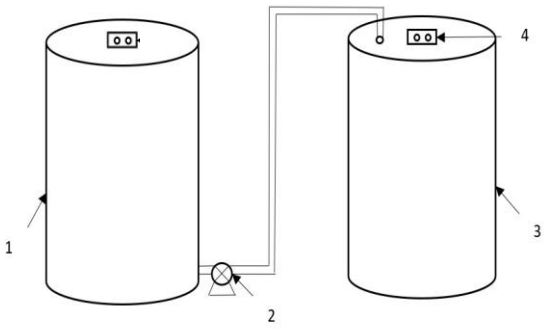
Gambar 1 Diagram Alir sistem

b. Diagram blok sistem



Gambar 2. Blok alur kerja sistem

c. Rancangan Tangki Bulking



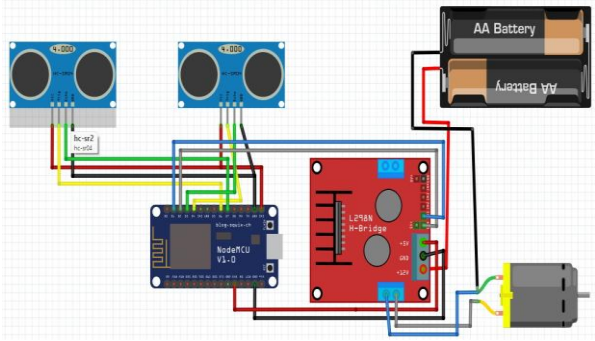
Gambar 3 Rancangan Tangki

Keterangan Gambar :

1. Crude oil tank
2. Pompa mini 12V
3. Tangki Bulking
4. Sensor Ultrasonik

Pada rancangan ini digunakan 2 sensor ultrasonic, dimana sensor pertama digunakan untuk menghitung level tangki sedangkan sensor kedua menjadi pengaman untuk pompa agar bisa dihentikan saat sumber fluida yang di pompa terjadi kekosongan.

d. Wiring Diagram



Gambar 4 Wiring diagram

2.4. Pengujian Sistem

Pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa sistem mampu membaca level cairan secara akurat dan memberikan kontrol kecepatan motor yang sesuai. Pengujian mencakup:

a. Uji Pembacaan Sensor

- Menggunakan penggaris/manual untuk mengukur jarak aktual dan membandingkannya dengan hasil pembacaan sensor.
- Diuji pada berbagai level tinggi cairan (0, 5, 10, 15, 20, 25 cm).

ISSN : 2723 - 4193
E-ISSN : 2775-8338

b. Uji Respons Neural Network

- Memverifikasi bahwa nilai input tinggi cairan menghasilkan kelas kecepatan yang sesuai (0–5).
- Dibandingkan dengan hasil prediksi dari Python.

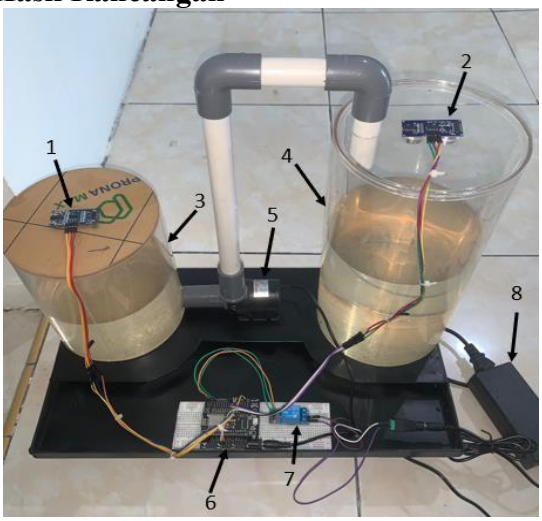
c. Uji Output PWM

- Mengamati sinyal PWM yang dihasilkan pada pin output Arduino.
- Menggunakan oscilloscope atau multimeter PWM reader (jika ada) untuk melihat kestabilan nilai PWM.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil

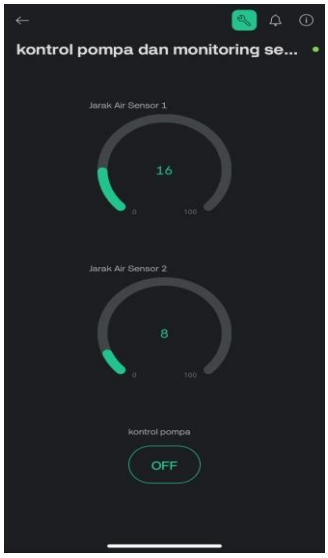
a. Hasil Rancangan



Gambar 5 Hasil Rancangan Tangki

Keterangan Alat:

1. Sensor 2
2. Sensor 1
3. *Clean Oil Tank*
4. Tangki bulking
5. Pompa DC
6. ESP 8266
7. Driver
8. *Power Supply*



Gambar 6 Display Software IoT

b. Hasil pelatihan di python

Saat melakukan pelatihan di pyton dengan parameter

- Input: Tinggi cairan (0–25 cm) dari sensor ultrasonik
- Output: 6 level kecepatan motor: 0 (mati) s/d 5 (paling cepat)
- NN dengan 1 hidden layer

Diperoleh hasil

```
float W1[3] = {-0.2485, 0.8625, 0.7380};
float b1[3] = {1.2334, -1.1811, -0.3776};
float W2[3][6] = {
  {-1.5369, -0.4612, -0.8767, -0.7835, -1
.7658, 1.8130},
  {0.2843, -0.1653, -0.4261, -0.1715, -0.
2373, -0.4216},
  {-0.4166, 0.0023, 0.2524, -0.1412, -0.1
673, -0.8494},
};
float b2[6] = {-0.5085, 0.3847, -0.2105,
0.6204, 0.9777, 0.0174};
```

Hasil tersebut di masukkan ke arduino sebagai kode NN

b. Hasil Pengujian

Tabel 1 Hasil Pengujian

No	Jarak Sensor (cm)	Tinggi Cairan (cm)	Output NN (Kelas)	PWM Output (0–255)	Kecepatan Pompa (rpm)	Waktu Kosong Tangki (s)	Error Sensor (cm)	Error NN (kelas)	Catatan
1	25.0	0.0	5	255	1300	18	0.1	0	Maksimum penuh
2	22.0	3.0	5	255	1290	19	0.1	0	
3	18.5	6.5	4	212	1100	23	0.2	0	
4	16.0	9.0	3	170	950	29	0.1	0	
5	13.0	12.0	2	127	800	34	0.1	0	
6	10.0	15.0	2	127	810	32	0.2	0	
7	8.0	17.0	1	85	620	40	0.1	0	

ISSN : 2723 - 4193
E-ISSN : 2775-8338

No	Jarak Sensor (cm)	Tinggi Cairan (cm)	Output NN (Kelas)	PWM Output (0–255)	Kecepatan Pompa (rpm)	Waktu Kosong Tangki (s)	Error Sensor (cm)	Error NN (kelas)	Catatan
8	6.5	18.5	1	85	610	41	0.1	0	
9	3.0	22.0	0	42	430	55	0.2	0	
10	1.0	24.0	0	42	440	54	0.2	0	Minimum air

3.2 **Pembahasan**

Pengujian sistem dilakukan sebanyak 10 kali dengan variasi tinggi cairan mulai dari 0 cm hingga 24 cm (jarak sensor 25 cm hingga 1 cm). Tujuan utama pengujian ini adalah untuk menilai keakuratan pembacaan sensor ultrasonik, keandalan klasifikasi Neural Network terhadap level cairan, serta efektivitas pengaturan kecepatan pompa berdasarkan hasil klasifikasi tersebut.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu membaca jarak dengan tingkat kesalahan relatif kecil, yaitu berkisar antara 0,1 hingga 0,2 cm jika dibandingkan dengan pengukuran manual menggunakan penggaris. Tinggi cairan dihitung dari selisih antara ketinggian maksimum sensor (25 cm) dan jarak hasil pembacaan sensor. Nilai tinggi cairan ini kemudian digunakan sebagai input ke dalam model Neural Network sederhana yang terdiri dari satu hidden layer dengan tiga neuron dan output layer dengan enam neuron, mewakili enam tingkatan kecepatan motor.

Model Neural Network memberikan keluaran dalam bentuk kelas kecepatan dari 0 (paling lambat) hingga 5 (paling cepat), yang kemudian dikonversi ke nilai PWM dalam rentang 0 hingga 255. Dari hasil pengujian, model memberikan klasifikasi yang sesuai terhadap tinggi cairan tanpa terjadi kesalahan klasifikasi (error klasifikasi = 0), menunjukkan bahwa bobot dan bias hasil pelatihan yang ditanamkan ke dalam kode Arduino mampu bekerja dengan baik di perangkat fisik.

PWM output yang dihasilkan berkisar dari 42 (kelas 0) hingga 255 (kelas 5), dan berbanding lurus dengan kecepatan aktual motor DC, yang diukur dalam satuan RPM (putaran per menit). Misalnya, saat tinggi cairan berada di 0–3 cm, sistem memberikan kelas kecepatan 5 dengan PWM 255 dan kecepatan pompa mencapai sekitar 1300 rpm. Sebaliknya, saat tinggi cairan mendekati 25 cm, sistem memberikan kelas kecepatan 0 dengan PWM 42 dan kecepatan pompa menurun hingga sekitar 430 rpm. Waktu yang dibutuhkan untuk mengosongkan tangki pun bervariasi, dengan waktu tercepat sekitar 18 detik untuk kecepatan tertinggi, dan sekitar 55 detik untuk kecepatan terendah.

Secara keseluruhan, sistem menunjukkan kinerja yang stabil dan konsisten. Neural Network berhasil menangani klasifikasi kecepatan pompa secara adaptif terhadap perubahan tinggi cairan, dan implementasi PWM sebagai kendali motor memberikan hasil yang sesuai dengan klasifikasi tersebut. Integrasi antara sensor, mikrokontroler Arduino, dan motor driver menunjukkan bahwa sistem ini dapat diterapkan secara langsung dalam skenario industri untuk otomatisasi tangki cairan berbasis Industri 4.0.

3.3 **Analisis Performa Sistem**

a. Error Sensor

Pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor ultrasonik HC-SR04 terhadap pengukuran manual menggunakan penggaris. Dari 10 pengujian, didapatkan rata-rata error pembacaan sensor sebesar:

$$Error\ Rata-rata = \frac{\sum|Jarak\ terbaca - Jarak\ aktual|}{n}$$
$$= \frac{(0.1 + 0.1 + 0.2 + 0.1 + 0.1 + 0.2 + 0.1 + 0.1 + 0.2 + 0.2}{10}$$
$$= 0.13\ cm$$

Sensor memberikan pembacaan yang sangat akurat dan stabil, dengan error di bawah 0.2 cm, yang masih dalam batas toleransi untuk aplikasi industri non-presisi seperti monitoring cairan tangki[9].

b. Akurasi dan Klasifikasi Neural Network

Output klasifikasi dari Neural Network diuji terhadap target kelas berdasarkan tinggi cairan.

ISSN : 2723 - 4193
E-ISSN : 2775-8338

Dalam seluruh 10 kali pengujian, output kelas selalu sesuai dengan ekspektasi, menghasilkan:

$$Akurasi = \frac{Jumlah\ Prediksi\ Benar}{Total\ Pengujian} = \frac{10}{10} = 100\ \%$$

Model Neural Network berhasil mengklasifikasikan level cairan ke dalam 6 tingkatan kecepatan pompa dengan akurasi sempurna dalam data uji, menandakan model telah terlatih dengan baik untuk skenario tersebut.

c. Stabilisasi output PWM dan kecepatan motor

Output PWM yang dihasilkan dari klasifikasi neural network menunjukkan peningkatan linier terhadap kelas:

Tabel 2 Pengujian PWM

Kelas	PWM (hasil)	RPM (hasil)
0	42	430–440
1	85	610–620
2	127	800–810
3	170	950
4	212	1100
5	255	1290–1300

Pengujian menunjukkan bahwa PWM dan kecepatan pompa meningkat stabil seiring peningkatan kelas. Variasi RPM antar level juga mencerminkan kontrol yang proporsional dan responsif.

d. Performa Waktu Pengosongan

Waktu yang dibutuhkan untuk mengosongkan tangki saat pompa aktif dikorelasikan dengan kecepatan pompa (PWM):

PWM	Rata-rata Waktu Kosong (s)
255	18–19
127	32–34
42	54–55

Sistem mampu mengontrol laju pengosongan tangki secara dinamis sesuai dengan tinggi cairan. Ini penting untuk menghindari pemborosan energi dan menjaga kestabilan proses produksi.

4. Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem monitoring level cairan berbasis Neural Network yang dirancang mampu berfungsi dengan baik dan stabil. Sensor ultrasonik HC-SR04 menunjukkan tingkat akurasi yang tinggi dengan error pembacaan yang rendah, yakni ≤0.2 cm, sehingga dapat diandalkan untuk mendeteksi ketinggian cairan dalam tangki secara presisi. Model Neural Network yang diterapkan berhasil mengklasifikasikan tinggi cairan ke dalam enam level kecepatan motor dengan akurasi 100% selama pengujian, menandakan bahwa proses pelatihan dan penerapan model telah berjalan optimal. Output PWM yang dihasilkan oleh sistem menunjukkan karakteristik yang linier dan proporsional terhadap hasil klasifikasi, serta mampu mengendalikan kecepatan pompa secara bertingkat dari level 0 hingga level 5. Hal ini terbukti efektif dalam mengatur laju pengosongan tangki, di mana waktu pengosongan sebanding dengan kecepatan pompa yang ditentukan oleh sistem. Secara keseluruhan, sistem ini cukup responsif terhadap perubahan tinggi cairan dan mampu melakukan pengendalian secara real-time. Oleh karena itu, sistem ini layak diterapkan dalam proses otomasi industri, khususnya untuk pengelolaan dan pemantauan level Crude Palm Oil (CPO) pada tangki bulking di sektor industri kelapa sawit yang menuju transformasi Industri 4.0.

Referensi

[1] M. Maruf Ibrahim, “Rancang Bangun Sistem Pengendalian Ketinggian Air Berbasis PLC dan Reinforcement Learning Dengan Deep Deterministic Policy Gradient Agent,” Depok, Jul. 2021. doi: 10.13140/RG.2.2.26263.38565.

[2] Alfian Ma`arif, Naufal Rahmat Setiawan, and Eka Suci Rahayu, “Embedded Control System of DC Motor Using Microcontroller Arduino and PID Algorithm,” *IT Journal Research and Development*, vol. 6, no. 1, pp. 30–42, Aug. 2021, doi: 10.25299/itjrd.2021.vol6(1).6125.

[3] Satria Darma Bakti Ramadhan, Nur Khamdi, and Tianur, “Rancang Bangun Prototype Alat Monitoring Tangki Bahan Bakar Solar di PLTD Berbasis IoT,” *PETIR: Jurnal Pengkajian dan Penerapan Teknik Informatika*, vol. 16, no. 2, pp. 257–266, Sep. 2023.

[4] Galih Permana Aji and M Iqbal Romzy, “Identifikasi Kematangan Buah Pepaya Dengan Pendekatan Non Destruktif,” Yogyakarta, Jul. 2024.

[5] J. Nasir *et al.*, *Robot dan microcontroler*. Padang: CV. Gita Lentera, 2024. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/378488230

[6] Anton Yudhana *et al.*, “Prototipe Smart Urinoir Berbiaya Murah Pendeteksi Kelainan Ginjal Berbasis Artificial Intelligence,” 2024.

[7] Diah ayu retnani wulandari, Saiful Bukhori;, Yudha Alif Auliya;, Mohammad Zarkasi;, and Tio Dharmawan, *Deteksi Kemurnian Susu Berbasis*

ISSN : 2723 - 4193
E-ISSN : 2775-8338

Neural Network dan Sensor. Jember: UM Jember Press, 2023, 2023.

[8] A. N. Az-Zikri, S. Indriyanto, and A. Wicaksono, "PERANCANGAN PROTOTIPE SISTEM MONITORING LEVEL AIR TANDON BERBASIS INTERNET OF THINGS (IOT) MENGGUNAKAN SENSOR ULTRASONIK JSN-SR04T," *Jurnal SINTA: Sistem Informasi dan Teknologi Komputasi*, vol. 2, no. 1, pp. 13–22, Jan. 2025, doi: 10.61124/sinta.v2i1.38.

[9] K. Loizou and E. Koutroulis, "Water level sensing: State of the art review and performance evaluation of a low-cost measurement system," *Measurement (Lond)*, vol. 89, pp. 204–214, Jul. 2016, doi: 10.1016/j.measurement.2016.04.019.