

J-ELTRIK

**Jurnal Elektronika, Listrik, Telekomunikasi, Komputer,
Informatika, Sistem Kontrol**

Vol. 5 | No. 2 | Halaman: 53 - 109 | Surabaya, November 2023

**Studi Analisis Potensi PLTMH di Sungai Welang Kecamatan Purwodadi
Kabupaten Pasuruan**

Nur Ulfa Mauludina, Yasmin Fakhira Ichsan, Millatina Fadhillah

**Desain dan Implementasi Pembersih Panel Surya Otomatis dengan Teknologi
IoT pada Penerangan Jalan Umum untuk Kinerja Optimal**

Faisal Raja Naban, Belly Yan Dewantara, Istiyo Winarno

Implementasi *Inverse Kinematics* pada Lengan Robot Pengambil Sampah

Annisa Rizka Fitriani

**Rancang Bangun Display Informasi Akademik Digital dengan Kontrol
melalui Aplikasi *Mobile Android***

Muchlis Nanda Agung Anafi, Joko Subur, Safriudin Rifandi

**Strategi Pertahanan TNI Menghadapi Tindakan Insurgensi KKB Papua
dalam Memperkuat Pertahanan NKRI: Studi Pemanfaatan Drone Komersial**

Suhirwan

***Direct Torque Control* Berbasis *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System*
untuk Pengendali Kecepatan Motor Induksi**

Tommy Nana Pradana

**Prodi Teknik Elektro
Fakultas Teknik dan Ilmu Kelautan
*Universitas Hang Tuah***

J-Eltrik
Jurnal Elektronika, Listrik, Telekomunikasi, Komputer,
Informatika, Sistem Kontrol

Editor in Chief

Dr. Muh. Taufiqurrohman, S.T., M.T.
(Prodi Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Ilmu Kelautan, Univ. Hang Tuah)

Managing Editor

Ir. Belly Yan Dewantara, S.T., M.T.
(Prodi Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Ilmu Kelautan, Univ. Hang Tuah)

Editorial in Board

Safriudin Rifandi, S.T., M.Tr.T.
(Prodi Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Ilmu Kelautan, Univ. Hang Tuah)
Sinung Widiyanto, S.T., M.Eng.
(Prodi Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Ilmu Kelautan, Univ. Hang Tuah)

Reviewer

Associate Professor Dr. Wahyu Mulyo Utomo
(Universiti Tun Onn Malaysia)
Dr. Hindarto, S. Kom., M.T.
(Prodi Teknik Elektro, Fak. Teknik, Univ. Muhammadiyah, Sidoarjo)
Ir. Agus Putu Abiyasa, B. Eng., Ph.D., IPM.
(Prodi Teknik Elektro, Fak. Teknik dan Informatika, Univ. Pendidikan Nasional, Bali)
I Wayan Sukadana, S.T., M.T.
(Prodi Teknik Elektro, Fak. Teknik dan Informatika, Univ. Pendidikan Nasional, Bali)
Dr. Iradiratu Diah P.K, S.T., M.T
(Prodi Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Ilmu Kelautan, Univ. Hang Tuah)
Dr. Suryadhi, S.T., M.T.
(Prodi Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Ilmu Kelautan, Univ. Hang Tuah)
Dr. Istiyo Winarno, S.T., M.T.
(Prodi Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Ilmu Kelautan, Univ. Hang Tuah)
Joko Subur, S.T., M.T.
(Prodi Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Ilmu Kelautan, Univ. Hang Tuah)
Pooja Kenchetty, Ph.D.
(CMR Institute of Technology, India)
Dr. Om Prakash Sahu, Ph.D.
(Vellore Institute of Technology, India)

Alamat Redaksi:

Prodi Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Ilmu Kelautan
Pulau Miangas, Universitas Hang Tuah
Jl. Arif Rahman Hakim, No. 150, Surabaya
e-mail: jurnal.eltrik@hangtuah.ac.id
ojs: eltrik.hangtuah.ac.id

J-Eltrik
**Jurnal Elektronika, Listrik, Telekomunikasi, Komputer,
Informatika, Sistem Kontrol**

E-ISSN: 2656-9388; P-ISSN: 2656-9396

Vol. 5, No. 2, November 2023
DOI: <https://doi.org/10.30649/je.v5i2>

Daftar Isi

Studi Analisis Potensi PLTMH di Sungai Welang Kecamatan Purwodadi Kabupaten Pasuruan Nur Ulfa Mauludina, Yasmin Fakhira Ichsan, Millatina Fadhillah	53-62
Desain dan Implementasi Pembersih Panel Surya Otomatis dengan Teknologi IoT pada Penerangan Jalan Umum untuk Kinerja Optimal Faisal Raja Naban, Daeng Rahmatullah	63-72
Implementasi <i>Inverse Kinematics</i> pada Lengan Robot Pengambil Sampah Annisa Rizka Fitriani	73-83
Rancang Bangun Display Informasi Akademik Digital dengan Kontrol melalui Aplikasi <i>Mobile Android</i> Muchlis Nanda Agung Anafi, Joko Subur, Safriudin Rifandi	84-89
Strategi Pertahanan TNI Menghadapi Tindakan Insurgensi KKB Papua dalam Memperkuat Pertahanan NKRI: Studi Pemanfaatan Drone Komersial Suhirwan	90-99
<i>Direct Torque Control</i> Berbasis <i>Adaptive Neuro Fuzzy Inference System</i> Untuk Pengendali Kecepatan Motor Induksi Tommy Nana Pradana	100-109

Studi Analisis Potensi PLTMH di Sungai Welang Kecamatan Purwodadi Kabupaten Pasuruan

Nur Ulfa Mauludina¹, Yasmin Fakhira Ichsan², Millatina Fadhilah³

^{1,2,3}Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Korespondensi : nurulfamauludina.01@gmail.com

Received: Juli 2023; Accepted: September 2023; Published: November 2023

DOI: <https://doi.org/10.30649/je.v5i2.122>

Abstrak

Penelitian ini bertujuan mengeksplorasi potensi pemanfaatan energi listrik dari Sungai Welang melalui Pendirian Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) sebagai solusi terhadap kekurangan pasokan listrik di daerah yang masih terisolasi. Sungai Welang dipilih karena karakteristiknya yang sangat potensial untuk dikembangkan sebagai sumber energi terbarukan. Penduduk sekitar Sungai Welang telah lama mengandalkan sumber daya alam ini, namun potensi penuhnya belum sepenuhnya dimanfaatkan. Hasil analisis menunjukkan bahwa Sungai Welang memiliki potensi yang signifikan, dengan PLTMH dapat menyumbang sekitar 0,036% dari kebutuhan energi listrik di Kabupaten Pasuruan. Studi melibatkan analisis debit air, elevasi sungai, dan karakteristik aliran air. Meskipun demikian, evaluasi rutin diperlukan untuk memastikan keberlanjutan dan ketersediaan listrik dari PLTMH dalam jangka panjang.

Kata kunci: Energi terbarukan, Pembangkit Listrik Tenaga Micro Hydro, Elevasi sungai.

Abstract

This research aims to explore the potential utilization of electrical energy from the Welang River through the establishment of a Micro Hydro Power Plant (PLTMH) as a solution to the shortage of electricity supply in isolated areas. The Welang River was chosen due to its highly potential characteristics for development as a renewable energy source. The population around the Welang River has long relied on this natural resource, but its full potential has not been fully utilized. The analysis results show that the Welang River has significant potential, with PLTMH contributing about 0.036% of the electricity needs in Pasuruan Regency. The study involves the analysis of water discharge, river elevation, and water flow characteristics. Nevertheless, routine evaluations are required to ensure the sustainability and availability of electricity from PLTMH in the long term.

Key words: Renewable energy, Micro Hydro Power Plant, River elevation

I. PENDAHULUAN

Dalam konteks upaya global untuk memenuhi kebutuhan energi yang terus meningkat, perhatian terhadap pemanfaatan sumber energi terbarukan semakin mendalam. Dalam kerangka ini, Sungai Welang, dengan karakteristiknya yang sangat potensial, muncul sebagai fokus utama untuk dikembangkan sebagai sumber energi listrik melalui Pembangkit Listrik Tenaga *Mikro Hidro* (PLTMH).

Penduduk di sekitar Sungai Welang telah lama mengandalkan sumber daya alam ini untuk keperluan sehari-hari mereka. Namun, meskipun potensi energi listrik yang terkandung dalam sungai ini cukup besar, pemanfaatannya belum sepenuhnya terealisasi. Dengan didirikannya PLTMH di daerah ini, langkah ini diharapkan dapat memberikan solusi konkrit terhadap tantangan pasokan listrik, terutama di daerah yang masih terisolasi. Keunggulan PLTMH sebagai sumber energi terbarukan, bersih, dan andal menjadi fokus utama dalam merespon kebutuhan energi lokal.

Namun, pemanfaatan energi *Mikro Hidro* di Sungai Welang bukan hanya tentang mengatasi kekurangan pasokan listrik semata. Ini melibatkan studi mendalam yang mencakup pemetaan kondisi hidrologi sungai, analisis topografi, dan evaluasi teknis untuk memastikan bahwa pemanfaatan energi air dapat diintegrasikan secara optimal dengan kebutuhan masyarakat sekitar. Studi ini merupakan pondasi utama dalam mendirikan PLTMH sebagai solusi berkelanjutan dan efisien.

PLTMH memiliki prinsip kerja yaitu jumlah air yang jatuh (debit) meter per detik dan juga beda ketinggian yang mengalir melewati pipa dimanfaatkan sehingga menghasilkan daya listrik. Umumnya aliran sungai memiliki debit

air dan tinggi jatuh yang dapat di manfaatkan untuk PLTMH. Turbin air di gerakkan oleh energi dari air yang bergerak (dikarenkan terdapat beda ketinggian) kemudian Energi listrik dihasilkan dari generator yang diputar akibat perputaran dari poros turbin[1].

Proses pembangunan PLTMH juga memberikan dampak positif pada perekonomian lokal. Dengan melibatkan sumber daya manusia lokal untuk pembangunan dan pemeliharaan, pembangunan ini menciptakan lapangan kerja baru dan memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan kesejahteraan masyarakat sekitar. Keberlanjutan PLTMH juga diarahkan untuk memberikan akses listrik yang lebih baik, mendukung aktivitas pendidikan, dan meningkatkan layanan kesehatan di daerah tersebut.

Melalui studi mendalam tentang pemanfaatan potensi energi listrik dari Sungai Welang dengan mendirikan PLTMH, diharapkan bahwa proses ini akan membuka peluang baru untuk pembangunan berkelanjutan. Ini tidak hanya akan meningkatkan ketersediaan listrik, tetapi juga mengurangi ketergantungan pada sumber energi fosil yang semakin terbatas. Dengan menekankan studi pemanfaatan potensi energi listrik di Sungai Welang melalui didirikannya PLTMH, langkah ini menjadi inti dari upaya menuju pemanfaatan energi terbarukan yang berkelanjutan dan bermanfaat jangka panjang bagi masyarakat lokal serta lingkungan sekitar.

II. METODE PENELITIAN

Bagian ini menjelaskan bagaimana penelitian dilakukan. Pada bagian ini akan dijelaskan tentang analisa situasi, cara pengukuran dan pengambilan data serta analisis potensi daya.

A. Analisa Situasi

Pada tahap ini merupakan awal dari studi pemanfaatan, hal-hal yang dilakukan yaitu menentukan lokasi yang akan dijadikan bahan pemanfaatan sebagai perencanaan PLTMH, kemudian mempelajari topik permasalahan dengan studi pustaka.

1. Lokasi

Studi pemanfaatan ini dilakukan di Kawasan hutan Gunung Baung ditunjuk sebagai taman wisata alam dengan luas 195,5 Ha yang terletak di Desa Cowek, Kecamatan Purwodadi, Kabupaten Pasuruan. Adapun sungai welang yang berada di wilayah Gunung Baung ini terletak pada titik koordinat -7.800391, 112.747740. Titik lokasi rencana pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi taman wisata Gunung Baung

B. Pengukuran dan Pengambilan Data

1. Kecepatan Aliran

Metode sederhana untuk mengukur kecepatan aliran air adalah dengan menggunakan alat apung. Kecepatan aliran air adalah hasil pembagian jarak dengan waktu tempuh alat apung mengikuti aliran air. Kekasaran dasar sungai harus diperhitungkan dalam metode ini. Oleh karena itu kecepatan yang dihitung berdasarkan jarak dan

waktu tempuh dan perlu dikoreksi dengan faktor kekasaran sungai. Kecepatan aliran sungai dapat dihitung menggunakan Persamaan (1).

$$V = \frac{L}{t} \times c \quad (1)$$

Dimana:

V = Kecepatan (m/s)
L = Panjang Lintasan (m)
t = Waktu Tempuh (s)
c = Faktor Koreksi (0.85)

2. Luas Penampang Sungai

Pengukuran luas penampang basah saat sungai tidak dalam keadaan banjir yaitu sesudah atau sebelum banjir. Pengukuran paling lambat dua penampang melintang yaitu di hulu dan di hilir yang merupakan titik awal dan titik akhir lintasan penampang. Luas penampang didapat dengan cara merata-ratakan luas kedua penampang basah yang telah diukur. Luas penampang basah sungai adalah penampang vertical sungai yang terisi air. Perhitungan luas penampang basah tersebut bergantung pada ketinggian air sungai saat itu terhadap profil sungai yang telah dibuat sebelumnya. Persamaan (2) merupakan rumus perhitungan luas penampang sungai.

$$A = L \times H \quad (2)$$

Dimana:

A = Luas penampang basah (m²)
L = Lebar saluran (m)
H = Ketinggian saluran (m)

3. Pengukuran Debit Air

Debit merupakan jumlah air yang mengalir di dalam saluran atau sungai per unit waktu. Metode yang umum diterapkan untuk menetapkan debit sungai adalah metode profil sungai (cross section). Pada metode ini debit merupakan hasil perkalian antara luas

penampang vertikal sungai (profil sungai) dengan kecepatan aliran air [2]. Maksud dan metode ini adalah untuk mengetahui apakah debit air yang tersedia mampu untuk menggerakkan turbin sesuai dengan daya yang diinginkan. Debit air dihitung berdasarkan perkalian antara luas penampang basah sungai dengan kecepatan aliran air.

Terdapat banyak metode pengukuran debit air. Diantaranya adalah untuk sistem konversi energi skala besar, pengukuran debit dapat berlangsung bertahun-tahun sedangkan untuk sistem konversi energi skala kecil waktu pengukuran dapat lebih pendek [3]. Perkalian antara luas penampang basah sungai dengan kecepatan aliran air untuk mendapatkan nilai debit air bisa menggunakan Persamaan (3).

$$Q = A \times V \quad (3)$$

Dimana:

Q = Debit Aliran (m³/detik)
A = Luas Penampang Vertikal (m²)
V = Kecepatan Aliran Sungai (m/s)

4. Tinggi Jatuh Air

Tinggi jatuh air dapat diperoleh dengan mengurangi tinggi jatuh total dari permukaan air sampai pada permukaan air saluran bawah dengan kehilangan tinggi pada saluran air. Tinggi jatuh penuh adalah tinggi air yang bekerja efektif pada turbin yang sedang berjalan. Cara untuk mencari *Head Losses* menggunakan Persamaan (4).

$$H_l = \frac{1}{3} \times H_{act} \quad (4)$$

Adapun cara untuk menghitung *Head effectif* menggunakan Persamaan (5).

$$H_{off} = H_{act} - H_l \quad (5)$$

5. Efisiensi Turbin dan Generator

Jenis turbin yang digunakan adalah turbin *crossflow* karena konstruksinya lebih sederhana, ukurannya kecil dan lebih mudah dalam proses pembuatannya. Sedangkan rencana generator yang digunakan dalam PLTMH ini adalah generator sinkron. Turbin *crossflow* dispesifikasikan pada head 30 meter hingga 100 meter atau biasa disebut dengan *head* menengah [4].

Dalam menghitung daya yang dapat dihasilkan turbin terdapat efisiensi turbin yang perlu diperhitungkan semaksimal mungkin dikarenakan efisiensi turbin dapat berpengaruh dengan hasil daya yang dapat dibangkitkan turbin.

Untuk menghitung daya yang dihasilkan turbin dapat menggunakan Persamaan (6).

$$NT = 9,81 \times \eta_t \times Q \times H_{eff} \quad (6)$$

Dimana :

NT = Daya Turbin (kW)
 η_t = Efisiensi turbin
9,81 = Konstanta gravitasi
 H_{eff} = Tinggi jatuh efektif (m)
Q = Debit Air (m³/detik)

Sedangkan efisiensi generator dapat dihitung dengan Persamaan (7).

$$Ng = \eta_g \times NT \quad (7)$$

Dimana :

Ng = Daya Generator (kW)
NT = Daya Turbin (kW)
 η_g = Efisiensi generator

C. Analisis Potensi Daya

Potensi daya terbangkitkan tergantung pada hasil pengukuran debit air yang dihasilkan. Apabila debit air yang dihasilkan cukup besar maka potensi daya yang dihasilkan sangat besar. Tapi kalau sudah menggunakan

batas efisiensi tertinggi maka potensi daya yang dihasilkan berkurang. Perhitungan potensi daya yang dapat dimanfaatkan dapat dihitung menggunakan Persamaan (8).

$$P_{netto} = \frac{Ng}{\eta_g \times \eta_{tr}} \quad (8)$$

Dimana:

P_{netto} = Daya

η_{tr} = Efisiensi kopling flens (0,95)

η_g = Efisiensi generator

Sedangkan untuk menghitung banyaknya energi potensial yang dihasilkan pembangkit dalam satu bulan menggunakan Persamaan (9).

$$E = P \times t \times n \quad (9)$$

Dengan :

P = daya (kW)

n = Jumlah hari

t = Jumlah periode

E = Energi potensial (kWh)

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini akan menjelaskan hasil pengolahan data.

A. Hasil Pengolahan Data

1. Debit Air

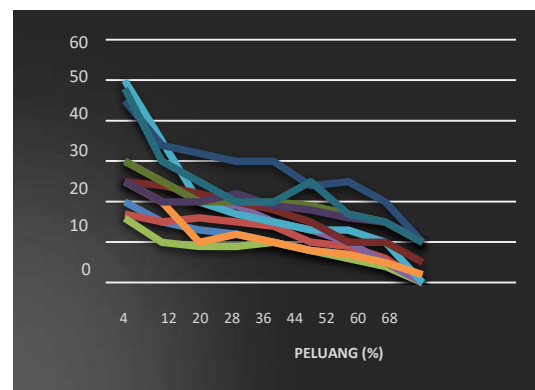
Guna mendapatkan kapasitas PLTMH, tidak terlepas dari perhitungan berapa banyak air yang dapat diandalkan untuk membangkitkan PLTMH. Debit andalan adalah debit yang masih dimungkinkan untuk keamanan operasional suatu bangunan air, dalam hal ini adalah debit rencana pada tahun yang dipilih dengan cara mengurutkan mulai debit terbesar sampai dengan debit terkecil, sehingga didapatkan peluang terjadinya debit selama satu tahun.

Hasil rekapitulasi disajikan dalam Tabel 1 dan Gambar 2. Debit yang

digunakan untuk perhitungan desain PLTMH adalah debit terpilih pada tahun 2010.

Tabel 1. Debit tahun 2010

Bulan	Periode	Debit (m^3/s)	Debit Terurut (m^3/s)	Peluang (%)
Januari	I	27.68	28.75	4.00
Januari	II	23.53	27.68	8.00
Februari	I	20.42	27.39	12.00
Februari	II	22.75	27.09	16.00
Maret	I	28.75	25.35	20.00
Maret	II	15.32	24.64	24.00
April	I	19.44	23.53	28.00
April	II	27.39	22.75	32.00
Mei	I	27.09	20.42	36.00
Mei	II	16.38	19.44	40.00
Juni	I	18.58	18.58	44.00
Juni	II	4.81	16.81	48.00
Juli	I	10.03	16.38	52.00
Juli	II	4.10	15.32	56.00
Agustus	I	1.84	13.55	60.00
Agustus	II	7.61	11.30	64.00
September	I	5.70	10.91	68.00
September	II	10.91	10.03	72.00
Oktober	I	11.30	7.61	76.00
Oktober	II	13.55	7.45	80.00
November	I	25.35	5.70	84.00
November	II	16.81	4.81	88.00
Desember	I	24.64	4.10	92.00
Desember	II	7.45	1.84	96.00



Gambar 2. Kurva durasi aliran sungai Welang

Debit air yang dijadikan dasar perhitungan dan desain PLTMH merupakan debit yang terpilih pada tahun 2010, yang merupakan titik referensi

penting dalam menentukan potensi energi yang bisa dihasilkan oleh sistem *mikro hidro*. Analisis mendalam terhadap data tersebut akan memberikan wawasan yang diperlukan dalam pengembangan dan optimalisasi PLTMH untuk memenuhi kebutuhan energi yang berkelanjutan.

Debit rencana pada tahun tersebut dapat dipilih dengan cara mengurutkan dari mulai debit terbesar sampai dengan debit terkecil, sehingga didapatkan peluang terjadinya debit selama satu tahun. Pada Tabel 1 dipilih debit dengan peluang terjadi 32% sesuai dengan (Anonim, 2007) sebesar 22,75 ($m^3/detik$).

2. Pipa Pesat

Pipa pesat merupakan pipa yang direncanakan untuk dapat menahan tekanan tinggi dan berfungsi untuk mengalirkan air dari kolam penampungan menuju turbin. Pipa pesat direncanakan dengan menggunakan pipa *Galvanized Iron* (GI).

Pipa pesat ini dipilih berdasarkan ketersediaan air juga kapasitas dari pembangkit itu sendiri. Pemasangan pipa pesat ini sudah sesuai dengan standart perencanaan pipa pesat yang mencakup pemilihan material, diameter, tebal dan jenis sambungan dan bahan pipa pesat terbuat dari baja [5].

- Diameter Pipa Pesat = 2,74 m
- Tebal Pipa Pesat = 97,68 mm

3. Pengukuran Tinggi Jatuh Air

Pengukuran tinggi jatuh air (*head*) dilakukan dengan menggunakan metode meteran pandang berupa *waterpass*. *Waterpass* adalah suatu alat ukur tanah yang dipergunakan untuk mengukur beda ketinggian antara titik-titik yang saling berdekatan. Pengukuran dilakukan dengan meletakkan *waterpass* di antara titik atas dan titik bawah untuk mengukur ketinggian di lokasi perencanaan pembangunan PLTMH. Hasil pengukuran diperoleh berupa gambar

peta kontur dengan jarak dan tinggi sekitaran lokasi. Setelah didapatkan perkiraan *Hgrosss* (kotor), dilakukan penentuan *Hnetto* (bersih) yang berhubungan dengan perencanaan bangunan sipil [6].

Dari pengukuran diperoleh data elevasi di titik dibawah (X) adalah 226,18 mdpl dan data elevasi di titik bawah (Y) adalah 213,25 mdpl. Bisa dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Peta Kontur Ketinggian Jatuh Air

Kemudian dilakukan perhitungan perbedaan elevasi atas dengan bawah untuk mengetahui ketinggian *head*.

$$\begin{aligned} H_{act} &= \text{Elevasi atas} - \text{Elevasi bawah} \\ &= 226,18 - 213,25 \\ &= 12,93 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H_l &= \frac{1}{3} \times 12,93 \\ &= 4,31 \end{aligned}$$

Maka :

$$\begin{aligned} H_{eff} &= H_{act} - H_l \\ &= 12,93 - 4,31 \\ &= 8,62 \end{aligned}$$

Berdasarkan pengukuran diperoleh *head actual* setinggi 12,93 m. *Head* yang diperlukan adalah *head* efektif sehingga dilakukan perhitungan yang menghasilkan *head* efektif setinggi 8,62 m.

4. Kecepatan Spesifik

Berdasarkan spesifikasi teknis turbin dan mempertimbangkan ketersediaan turbin yang sudah ada maka digunakan turbin bertipe *crossflow* dengan kecepatan spesifik, yang besarnya berkisar antara 2 sampai 16, menurut Mockmore, hasil eksperimen yang dilakukan menunjukkan bahwa, efisiensi maksimum terjadi pada harga $N_s = 14$. maka digunakan asumsi bahwa turbin bekerja dengan efisiensi maksimum dengan $N_s = 14$.

5. Daya pada Turbin

Perhitungan daya yang dihasilkan oleh turbin *mikro hidro* dimulai dengan mengukur debit air yang mengalir serta tinggi jatuh air, kemudian menggunakan rumus daya hidrolik yang melibatkan kedua faktor tersebut.

Dengan hasil perhitungan yang didapat sebelumnya:

$$\begin{aligned}\eta_t &= 70\% \\ Q &= 22,75 \text{ (m}^3\text{/detik)} \\ H_{eff} &= 8,62 \text{ m}\end{aligned}$$

Maka, daya yang dapat dibangkitkan turbin adalah 1346,65 kW atau 1,3 MW.

6. Generator yang Dibutuhkan

Generator yang digunakan adalah generator pembangkit listrik AC. Untuk memilih kemampuan generator dalam menghasilkan energi listrik disesuaikan dengan perhitungan daya dari data hasil survei [8].

Analisis kapasitas daya perlu dilakukan dalam menentukan jenis dan spesifikasi generator yang sesuai dengan kebutuhan beban. Daya yang mampu dibangkitkan generator yaitu bisa dihitung menggunakan Persamaan (7).

Dengan mengetahui luas penampang aliran air dan kecepatannya, serta mempertimbangkan efisiensi dari

turbin [7]. Proses ini penting dalam merencanakan dan mengoptimalkan pembangkit listrik tenaga *mikro hidro* untuk memaksimalkan hasil energi yang dihasilkan. untuk menghitung daya yang dihasilkan turbin menggunakan Persamaan (6).

$$\eta_g = 80\%$$

Maka, daya generator yang dibutuhkan adalah 1,07 MW, Dengan daya yang dibangkitkan generator sebesar 1,07 MW, maka kapasitas generator yang dibutuhkan yaitu bertambah 20% dari daya generator untuk menjaga keandalan sistem.

$$N_g = 1,07 \rightarrow 1,33 \text{ MW}$$

Maka didapatkan data generator yang akan digunakan sebagai berikut:

- $P = 1330 \text{ kW} / 1,33 \text{ MW}$
- $V = 400\text{V}/230\text{V}$
- $I = 3325\text{-}5782\text{A}$
- $P_f = 0,8$
- $F = 50\text{Hz}$
- $\text{Speed} = 1500 \text{ RPM}$
- $\text{Type} = \text{Generator Sinkron}$

7. Perhitungan Daya dan Energi

Kapasitas debit air mempengaruhi terhadap kapasitas daya listrik yang mampu dihasilkan oleh PLTMH. Untuk mencari potensi daya terbangkitkan dengan menggunakan batas efisiensi terendah adalah seperti pada Persamaan (8). Dengan hasil perhitungan yang didapatkan sebelumnya. Maka, potensi daya maksimum yang dapat dihasilkan oleh generator dan dapat dimanfaatkan energinya sebesar 1750 kW atau 1.7 MW.

Adapun jadwal penggunaan generator dengan memperhitungkan keadaan tertentu seperti keadaan *maintenance* yang dilakukan setiap seminggu sekali sehingga generator

hanya bekerja selama 26 hari dalam sebulan. Jadwal *maintenance* dapat dilihat pada Tabel 2.

Perhitungan banyaknya energi potensial yang dihasilkan pembangkit dalam satu bulan menggunakan Persamaan (9).

Tabel 2. Jadwal Maintenance

Senin	Selasa	Rabu	Kamis	Jumat	Sabtu	Minggu
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
21	22	23	24	25	26	27
28	29	30				

Pada perhitungan daya dan energi masing masing keandalan menghasilkan energi tahunan sesuai dengan kapasitas terpasang. Setiap keandalan memiliki beberapa alternatif kapasitas terpasang sesuai dengan energi potensial yang

dihasilkan. Maka, energi yang dihasilkan pembangkit dalam satu bulan adalah 1.260.000 kWh atau 1.260 MWH. Daftar konsumsi energi listrik dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Konsumsi Energi Listrik

Konsumsi Energi Listrik Menurut Kantor Cabang dan Golongan Tarip Tahun 2016	
Kantor Cabang	Jumlah (MWH)
Surabaya Selatan	3.952.587
Surabaya Utara	2.510.632
Malang	2.279.819
Pasuruan	3.412.546
Kediri	1.996.776
Mojokerto	3.703.107
Madiun	1.025.207
Jember	1.256.951
Bojonegoro	2.924.130
Banyuwangi	862.209
Pamekasan	974.507
Situbondo	498.827
Gresik	1.940.561
Sidoarjo	3.055.215
Surabaya Barat	1.895.565
Ponorogo	638.202
Jumlah	32.926.841

Berdasarkan data BPS Kab. Pasuruan, luas wilayah di Kabupaten Pasuruan yang mencapai 1.474,02 Km² dengan penduduk sejumlah 1.619.035 jiwa. Kebutuhan energi pada Kab.

Pasuruan dengan jumlah 24 Kecamatan. Maka PLTMH ini dapat men-supply sekitar kurang lebih 0,036% dari kebutuhan energi listrik di Kab. Pasuruan.

IV. SIMPULAN

Potensi energi listrik yang terdapat di Sungai Welang merupakan sumber daya yang sangat bernilai untuk pendirian PLTMH. Dengan melakukan perhitungan debit air, elevasi sungai, dan karakteristik aliran air sehingga dapat ditentukan bahwa sungai ini memiliki potensi yang cukup besar untuk menghasilkan listrik melalui PLTMH. Dan berdasarkan analisis potensi yang kami lakukan bahwa PLTMH ini dapat mensupply sekitar kurang lebih 0,036% dari kebutuhan energi listrik di Kab. Pasuruan.

PLTMH dapat menjadi solusi yang efektif dalam mengatasi masalah kekurangan pasokan listrik di daerah yang memanfaatkan potensi Sungai Welang. Dengan memanfaatkan energi air sebagai sumber utama, PLTMH mampu memberikan kontribusi yang signifikan dalam menyediakan pasokan listrik yang stabil dan berkelanjutan. Namun, evaluasi perlu dilakukan secara berkala untuk memastikan bahwa produksi listrik dari PLTMH dapat memenuhi kebutuhan dan menjaga ketersediaan listrik dalam jangka panjang.

V. RUJUKAN

- [1] I. Murtadlo, T. Wrahatnolo, S. I. Haryudo, M. Widyartono, "Analisis kelayakan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) di Embung Kuniran Kecamatan Sine Kabupaten Ngawi," *Jurnal Teknik Elektro*, Vol. 10, No. 3, 2021.
- [2] T. Marhendi, "Studi Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Di Sungai Brukah (Kali Bening, Banjarnegara)," *Techno*, Vol. 20, No. 1, 2019.
- [3] M. D. Tobi, V. N. V. Harling, "Studi Perencanaan Pembangunan PLTMH Di Kampung Sasnek Distrik Sawiat Kabupaten Sorong Selatan Provinsi Papua Barat," *Electro Luceat Journal*, Vol. 3, No. 1, 2017.
- [4] S. Harianja, S. Sebayang, T. Hasballah, "Studi Perencanaan Turbin Air Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Rahuning 70 KW," *Jurnal Teknologi Mesin UDA*, Vol. 3, No. 2, 2022.
- [5] B. Simanjorang, S. Siahaan, J. L. Hutabarat, "Studi Analisis Eksitasi dan Governor Untuk Mengatur Tegangan dan Frekuensi Keluaran Generator Pada PLTMH Aek Raison I," *Jurnal Elpotecs*, Vol. 4, No. 2, 2021.
- [6] K. D. S. Widiarta, I. W. A. Wijaya, I. M. Suartika, "Studi Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Di Desa Aan, Kabupaten Klungkung Provinsi Bali," *Jurnal SPEKTRUM*, Vol. 8, No. 3, 2021.
- [7] R. K. Ellanda, P. T. Juwono, R. Asmaranto, "Kajian Optimasi Energi Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Kanzy I Di Kabupaten Pasuruan," *Jurnal Teknik Pengairan*, Vol. 9, No. 1, 2018.
- [8] D. P. Joseph, H. Tumaliang, L. S. Patras, "Feasibility Study Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Akesimbeka Pulau Siau," Skripsi, Manado: Universitas Sam Ratulangi, 2022.
- [9] B. Y. Dewantara, I. D. P. Karyatanti, D. Rahmatullah, Nuhman, I. Winarno, "Pemanfaatan Energi Surya Sebagai Pengisi Daya Kendaraan Listrik," Surabaya: Hang Tuah University Press, 2024.
- [10] B. Y. Dewantara, "Potensi Pemanfaatan Kotoran Sapi untuk Bahan Bakar PLT Biogas di Kecamatan Bluto Desa Kapedi," *Cyclotron*, Vol. 7, No. 02, 2024.

- [11] B. Y. Dewantara, “Perhitungan Kebutuhan Daya Listrik untuk Penggerak Perahu Nelayan Bertenaga Surya,” *Cyclotron*, Vol. 3, No. 1, 2024.
- [12] B. Y. Dewantara, “Perancangan Perahu Nelayan Ramah Lingkungan Menggunakan Motor Listrik Bertenaga Surya,” *Cyclotron*, Vol. 2, No. 1, 2019.
- [13] M. T. Setiawan, I. Winarno, B. Y. Dewantara, “Implementasi Internet of Things Dalam Rancang Bangun Sistem Monitoring Pada Solar Cell Berbasis Web,” *Journal of Electrical Engineering and Computer*, Vol. 3, No. 1, 2021.

Desain dan Implementasi Pembersih Panel Surya Otomatis dengan Teknologi IoT pada Penerangan Jalan Umum untuk Kinerja Optimal

Faisal Raja Naban¹, Daeng Rahmatullah²

¹Teknik Elektro, Universitas Hang Tuah, Surabaya, Indonesia

²Departemen Pendidikan Teknik Elektro, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia

Korespondensi: faisal.naban@gmail.com

Received: Juli 2023; Accepted: September 2023; Published: November 2023

DOI: <https://doi.org/10.30649/je.v5i2.127>

Abstrak

Makalah ini mengeksplorasi pengembangan dan implementasi sistem pembersihan panel surya otomatis menggunakan teknologi IoT, yang bertujuan untuk meningkatkan efisiensi sistem penerangan jalan bertenaga surya (PJU). Akumulasi kotoran pada panel surya secara signifikan mengurangi efisiensinya, berdampak pada kinerja keseluruhan sistem PJU. Sistem yang diusulkan mengatasi masalah ini dengan mengintegrasikan sensor tegangan dan arus yang memantau panel, dengan data yang diproses oleh mikrokontroler menggunakan Arduino. Informasi ini kemudian ditransmisikan ke ponsel cerdas pengguna, memungkinkan pemantauan waktu nyata dan deteksi anomali, yang memfasilitasi tindakan pembersihan segera bila diperlukan. Hasil eksperimen menunjukkan efektivitas sistem, menunjukkan peningkatan tegangan, arus, dan *output* daya setelah pembersihan. Secara khusus, tegangan meningkat dari 16,45 V menjadi 17,35 V, arus dari 0,52 A menjadi 0,61 A, dan daya dari 8,55 W menjadi 10,68 W, menunjukkan peningkatan penyerapan dan konversi energi matahari. Studi ini menyoroti pentingnya pemeliharaan rutin untuk mempertahankan kinerja optimal dan memperpanjang umur panel surya, menawarkan solusi hemat biaya dan andal untuk infrastruktur energi publik. Integrasi teknologi IoT mengatasi inefisiensi metode pembersihan manual, yang padat karya dan mahal, sementara juga menimbulkan risiko kerusakan dan kecelakaan. Sistem berbasis IoT memungkinkan pemantauan dan kontrol waktu nyata, meningkatkan keandalan dan konsistensi proses pembersihan. Penelitian ini secara signifikan berkontribusi pada pengembangan teknologi pembersihan panel surya yang efektif dan efisien, mempromosikan solusi energi berkelanjutan untuk infrastruktur publik.

Kata kunci: Sistem Pembersihan Otomatis, Teknologi IoT, Efisiensi Panel Surya, Penerangan Jalan Umum (PJU), Efek Bayangan

Abstract

This paper explores the development and implementation of an automated solar panel cleaning system using IoT technology, aiming to improve the efficiency of solar-powered street lighting (PJU) systems. The accumulation of dirt on solar panels significantly reduces their efficiency, impacting the overall performance of the street lighting system. The proposed system addresses this issue by integrating voltage and current sensors that monitor the panels, with the data processed by a

microcontroller using Arduino. This information is then transmitted to the user's smartphone, enabling real-time monitoring and anomaly detection, which facilitates immediate cleaning action when required. The experimental results demonstrate the system's effectiveness, showing an increase in voltage, current, and power output after cleaning. Specifically, the voltage increased from 16.45 V to 17.35 V, the current from 0.52 A to 0.61 A, and the power from 8.55 W to 10.68 W, indicating improved solar energy absorption and conversion. The study highlights the importance of regular maintenance to maintain optimal performance and extend the life of solar panels, offering a cost-effective and reliable solution for public energy infrastructure. The integration of IoT technology overcomes the inefficiencies of manual cleaning methods, which are labour-intensive and costly, while also posing risks of damage and accidents. The IoT-based system enables real-time monitoring and control, improving the reliability and consistency of the cleaning process. This research significantly contributes to the development of effective and efficient solar panel cleaning technologies, promoting sustainable energy solutions for public infrastructure.

Key words: Automatic Cleaning System, IoT Technology, Solar Panel Efficiency, Public Street Lighting (PJU), Shadow Effect.

I. PENDAHULUAN

Energi terbarukan telah menjadi fokus utama dalam upaya global untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan menurunkan emisi karbon, sejalan dengan agenda keberlanjutan lingkungan yang dicanangkan di berbagai negara [1]. Panel surya, sebagai sumber energi terbarukan yang bersih dan bebas emisi, telah diimplementasikan secara luas dalam berbagai aplikasi, termasuk sistem Penerangan Jalan Umum (PJU) berbasis tenaga surya. Sistem ini menawarkan keuntungan signifikan dalam hal efisiensi energi dan penghematan biaya listrik, menjadikannya solusi yang ideal bagi kawasan perkotaan dan pedesaan [2]. Efektivitas panel surya dalam sistem Penerangan Jalan Umum (PJU) tenaga surya sangat bergantung pada kondisi permukaan panel yang bersih untuk menyerap cahaya matahari secara maksimal [3], [4].

Saat ini, pemeliharaan panel surya, khususnya proses pembersihan, masih banyak mengandalkan metode manual yang membutuhkan frekuensi tinggi dan melibatkan tenaga kerja signifikan,

sehingga menambah beban biaya operasional dan waktu. Pendekatan manual ini tidak hanya kurang efisien tetapi juga menimbulkan tantangan tersendiri dalam hal konsistensi hasil dan keandalannya dalam jangka panjang, terutama di daerah dengan tingkat debu atau polusi udara yang tinggi [5]. Akumulasi kotoran pada permukaan panel dapat menurunkan efisiensi pengumpulan energi secara signifikan, yang berdampak pada kinerja keseluruhan sistem PJU [6]. Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada kebutuhan mendesak untuk mengembangkan teknologi pembersihan otomatis yang dapat diterapkan secara efektif pada skala PJU, memungkinkan pemeliharaan yang berkesinambungan dan efisien guna mencapai kinerja optimal dalam sistem tenaga surya.

Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada kebutuhan mendesak untuk mengembangkan teknologi pembersihan otomatis yang dapat diterapkan secara efektif pada skala PJU, memungkinkan pemeliharaan yang berkesinambungan dan efisien guna mencapai kinerja optimal dalam sistem tenaga surya .

Penelitian sebelumnya telah mengembangkan berbagai sistem pembersihan otomatis untuk panel surya, namun sebagian besar solusi tersebut terbatas pada penerapan skala kecil dan kurang terintegrasi dengan teknologi canggih seperti Internet of Things (IoT). Selain itu, penelitian mengenai pembersihan panel surya pada Penerangan Jalan Umum (PJU) berbasis tenaga surya masih minim, sehingga celah penelitian tetap terbuka untuk mengembangkan sistem yang mampu beroperasi secara efisien pada skala besar dengan pemantauan dan kontrol berbasis data[7], [8]. Kurangnya solusi pembersihan yang mengandalkan otomatisasi IoT secara khusus untuk PJU tenaga surya menandakan kebutuhan akan pendekatan yang memungkinkan pemeliharaan mandiri, monitoring real-time, dan peningkatan efisiensi energi secara berkelanjutan[6], [9], [10]. Penelitian ini mengisi celah tersebut dengan merancang sistem pembersih panel PJU yang memanfaatkan IoT guna mengoptimalkan kinerja energi dan memperpanjang masa pakai panel, memberikan kontribusi praktis sekaligus memperkaya literatur pada bidang pengembangan teknologi IoT dalam aplikasi energi terbarukan[11], [12].

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem pembersihan otomatis berbasis Internet of Things (IoT) yang ditujukan untuk menjaga kebersihan dan meningkatkan kinerja panel surya pada sistem Penerangan Jalan Umum (PJU) [12]. Melalui penerapan teknologi IoT, sistem ini dirancang agar mampu mengidentifikasi kebutuhan pembersihan panel secara real-time dan mengaktifkan mekanisme pembersihan otomatis ketika diperlukan, tanpa memerlukan intervensi manual. Inovasi ini diharapkan dapat secara signifikan meningkatkan efisiensi pengumpulan energi, memperpanjang

masa operasional panel, dan mengurangi biaya pemeliharaan jangka panjang pada sistem PJU berbasis tenaga surya. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya berupaya menghadirkan solusi teknis bagi permasalahan penurunan kinerja panel surya akibat akumulasi kotoran, tetapi juga bertujuan untuk meningkatkan keberlanjutan operasional PJU sebagai komponen penting dalam infrastruktur perkotaan yang ramah lingkungan.

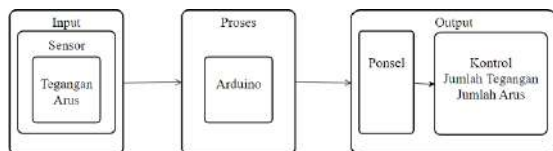
II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini membahas sistem pembersihan panel penerangan jalan bertenaga surya, yang didasarkan pada Internet of Things (IoT), menggunakan metodologi komprehensif untuk mengatasi tantangan yang terkait dengan menjaga efisiensi panel surya. Metodologi ini dirancang untuk memastikan sistem ini efektif dan berkelanjutan.

Selain itu, penelitian juga mencakup pengujian terhadap berbagai jenis kotoran yang menempel pada panel surya, seperti debu, dedaunan, dan kotoran lainnya untuk mengetahui seberapa efektif alat pembersih ini dalam membersihkan panel surya. Proses pengujian dilakukan secara bertahap mulai dari kotoran ringan hingga kotoran berat yang menempel kuat pada panel surya. Selain itu, dalam tahap pengambilan data sebelum dan sesudah proses pembersihan, dilakukan pengukuran terhadap daya yang diserap oleh panel surya untuk mengetahui apakah kinerja panel surya meningkat setelah dibersihkan oleh alat yang telah dirancang.

Gambar 1 menunjukkan diagram sistem pembersihan panel penerangan jalan bertenaga surya, yang didasarkan pada Internet of Things (IoT). Dalam

diagram tersebut, terdapat sensor tegangan dan sensor arus yang mengirimkan data ke mikrokontroler untuk diproses dengan Arduino. Data tersebut didistribusikan ke aplikasi di ponsel pengguna untuk memantau tegangan, arus, dan deteksi anomali pada panel. Apabila terdeteksi gangguan, pengguna dapat melakukan pembersihan panel PJU secara real-time. Penelitian ini menggunakan sumber DC untuk mensuplai dua aktuator JGY370 pada pembersih panel surya, dengan motor DC 80 rpm, 12V. Pembersih panel dilengkapi dengan Arduino ESP 32 yang terhubung ke internet, dan dioperasikan melalui smartphone.



Gambar 1. Diagram sistem alat pembersih

Data yang diperoleh dari pengujian ini kemudian dianalisis secara mendalam untuk melihat perbedaan kinerja sebelum dan sesudah proses pembersihan. Seluruh hasil dari penelitian ini kemudian disusun dalam laporan akhir yang berisikan rangkuman dari seluruh proses penelitian, temuan, serta rekomendasi untuk pengembangan lebih lanjut. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi yang berharga dalam pengembangan teknologi pembersih panel surya yang efektif dan efisien dalam meningkatkan kinerja panel surya secara keseluruhan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian ini akan dilakukan dengan menggunakan alat yang telah dirancang khusus untuk mengukur kinerja sel surya. Alat tersebut akan

dipasang di lokasi yang terpapar sinar matahari secara langsung untuk memastikan bahwa sel surya menerima radiasi matahari yang optimal. Pada pukul 08.00 pagi, pengujian akan dilakukan untuk memantau kinerja sel surya saat kondisi cahaya matahari masih rendah. Kemudian, pada pukul 12.00 siang, pengujian akan dilakukan saat sinar matahari mencapai intensitas tertinggi untuk melihat sejauh mana sel surya dapat menghasilkan listrik dalam kondisi optimum. Selanjutnya, pada pukul 16.00 sore, pengujian akan dilakukan untuk mengamati kinerja sel surya saat kondisi cahaya matahari mulai berkurang. Hal ini penting untuk mengetahui seberapa efisien sel surya dalam mengkonversi energi matahari menjadi listrik meskipun dalam kondisi cahaya yang minim.

Data yang diperoleh dari pengujian ini akan dibandingkan untuk melihat perbedaan hasil kinerja sel surya sebelum dan sesudah proses pembersihan. Dengan demikian, diharapkan dapat diketahui sejauh mana pengaruh kotoran dan efek bayangan terhadap kinerja sel surya dan seberapa efektif proses pembersihan dalam meningkatkan kinerja sel surya tersebut.



Gambar 2. Tampilan aplikasi otomatis robo-clean

Mode otomatis pada aplikasi Robo Clean dirancang untuk membantu pengguna dalam menentukan waktu dan frekuensi penggunaan sapuan rol pembersih, seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Dengan fitur ini, robot pembersih dapat beroperasi secara otomatis setelah pengguna mengatur alarm melalui aplikasi.

3.1 Pengujian Dengan Shading Effect Daun

Dalam pengujian kali ini, diberikan kotoran berupa daun pada permukaan panel PJU. Pengujian dilakukan pada tiga waktu yang berbeda, yaitu pukul 08.00, pukul 12.00, dan pukul 16.00. Setiap pengujian menggunakan tiga mode sapuan rol pembersih yang berbeda, yaitu satu kali sapuan, dua kali sapuan, dan tiga kali sapuan. Tabel 1 menyajikan data pembacaan parameter pada pukul 08.00 WIB dengan kotoran daun.

Pembersihan dilakukan dengan beberapa kali “sapuan”, untuk memberikan gambaran terkait tingkat kebersihan dari permukaan solar panel. Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan, terlihat bahwa proses pembersihan memberikan dampak positif terhadap kinerja sistem, yang ditunjukkan dengan peningkatan signifikan pada tegangan, arus, dan daya.

Untuk mengetahui daya keluaran dari panel surya dapat dilakukan dengan melakukan perhitungan menggunakan persamaan (1).

$$P = V \cdot I \quad (1)$$

Dimana:

P = Daya Keluaran panel surya,

V = Tegangan yang dihasilkan panel surya,

I = Arus yang mengalir

Sebagai contoh, jika tegangan yang dihasilkan panel surya sebesar 15,02 V dan arus yang mengalir sebesar 0,38 A, maka daya keluaran panel surya dapat dihitung sebagai berikut:

$$P = 15,02 \times 0,38 = 5,7 \text{ Watt}$$

Hasil perhitungan dari keseluruhan data yang diambil dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Pembersihan pada pukul 08.00 WIB dengan kotoran daun

Kondisi	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (Watt)
Sebelum	15,02	0,38	5,70
Sesudah Pembersihan			
1 sapuan	15,24	0,40	6,09
2 sapuan	16,45	0,52	8,55
3 sapuan	16,75	0,55	9,21

Pembersihan berfungsi untuk mengurangi hambatan serapan radiasi matahari yang disebabkan oleh kotoran atau residu. Peningkatan kinerja ini paling jelas terlihat setelah dilakukan sapuan kedua, di mana tegangan, arus, dan daya menunjukkan lonjakan yang cukup besar jika dibandingkan dengan kondisi awal. Efek dari pembersihan mencapai titik optimal setelah dilakukan tiga kali sapuan, yang menunjukkan bahwa perawatan lebih lanjut mungkin memberikan manfaat yang semakin berkurang. Untuk memastikan kinerja perangkat tetap optimal, disarankan untuk melakukan pembersihan hingga dua atau tiga kali sapuan. Dengan membersihkan secara rutin, perangkat dapat berkinerja lebih baik tanpa melebihi batas spesifikasi. Ini juga mencegah masalah dan kerusakan.

Untuk lebih menggambarkan perbandingan antara kondisi setelah dilakukan pembersihan dan kondisi tanpa

pembersihan, dilakukan penggambaran melalui grafik. Gambar 3 menunjukkan grafik perbandingan daya yang dihasilkan oleh panel surya pada pukul 08.00, baik ketika terdapat daun maupun setelah proses pembersihan dilakukan. Grafik tersebut menggambarkan hubungan antara daya (Watt) dan perlakuan (sebelum serta setelah pembersihan dengan beberapa sapuan). Terlihat bahwa setiap perlakuan pembersihan meningkatkan daya, menunjukkan peningkatan efisiensi sistem setelah proses pembersihan dilakukan.



Gambar 3. Grafik daya pada pukul 08.00 untuk kondisi kotoran daun

Pengukuran yang dilakukan pada pukul 12.00 dan 16.00 menunjukkan hasil yang konsisten dengan parameter tegangan, arus, dan daya yang serupa pada kedua waktu tersebut. Tidak terdapat perbedaan signifikan antara hasil pengukuran di kedua waktu ini, yang mengindikasikan kestabilan kondisi sistem serta kinerja yang tidak terpengaruh oleh faktor lingkungan atau perubahan temporal. Temuan ini mencerminkan reliabilitas sistem dalam mempertahankan performa optimal sepanjang waktu pengujian, sehingga memberikan validitas yang lebih tinggi terhadap hasil analisis dan interpretasi data.

Tabel 2. Data rata-rata pengujian dengan shading effect daun

Kondisi	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (Watt)
Sebelum	16,28	0,5	8,57
Sesudah Pembersihan			
1 sapuan	16,59	0,53	8,93
2 sapuan	17,29	0,61	10,53
3 sapuan	17,12	0,62	10,84

Tabel 2 menyajikan data rata-rata dari tiga kondisi perlakuan yang berbeda, yaitu satu kali sapuan, dua kali sapuan, dan tiga kali sapuan, untuk tiga waktu pengambilan data, yaitu pukul 08.00, 12.00, dan 16.00. Data ini mencerminkan hasil pengukuran yang diperoleh dari masing-masing perlakuan pada waktu-waktu yang telah ditentukan.

Dari data yang diperoleh, terlihat adanya perubahan yang signifikan pada ketiga parameter yang diukur. Tegangan meningkat dari 16,28 V menjadi 17,29 V, yang menunjukkan bahwa sistem beroperasi pada potensi yang lebih baik setelah dilakukan pembersihan. Peningkatan arus dari 0,50 A menjadi 0,62 A mengindikasikan bahwa aliran listrik yang lebih besar diperbolehkan setelah pembersihan, kemungkinan besar akibat berkurangnya resistansi dalam sistem. Selain itu, daya listrik menunjukkan peningkatan paling signifikan, yaitu dari 8,57 W sebelum pembersihan menjadi 10,84 W setelah tiga kali sapuan, yang mencerminkan peningkatan efisiensi sistem setelah proses pembersihan.



Gambar 4. Grafik nilai rata-rata daya untuk kondisi kotoran daun

Gambar 4 menyajikan grafik yang membandingkan nilai rata-rata daya yang dihasilkan oleh panel surya pada berbagai waktu, baik saat terdapat daun maupun setelah proses pembersihan dilakukan. Grafik tersebut menunjukkan hubungan antara daya (Watt) dan perlakuan yang diterapkan, yaitu sebelum dan setelah pembersihan dengan beberapa sapuan. Hasil yang terlihat mengindikasikan bahwa setiap perlakuan pembersihan berkontribusi pada peningkatan daya, yang menunjukkan adanya peningkatan efisiensi sistem setelah proses pembersihan dilaksanakan.

3.2 Pengujian Dengan Shading Effect Debu

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas dari berbagai mode sapuan rol pembersih terhadap kotoran debu yang menempel pada permukaan panel PJU. Dengan melaksanakan pengujian pada tiga waktu yang berbeda, yaitu pukul 08.00, pukul 12.00, dan pukul 16.00, kita dapat melihat bagaimana kotoran debu tersebut berubah seiring berjalannya waktu. Selain itu, penggunaan tiga mode sapuan rol pembersih yang berbeda, yaitu satu kali sapuan, dua kali sapuan, dan tiga kali sapuan, juga merupakan faktor yang penting untuk diperhatikan dalam pengujian ini.

Tabel 3. Pembersihan pada pukul 08.00 WIB dengan kotoran debu

Kondisi	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (Watt)
Sebelum	15,52	0,41	6,36
Setelah Pembersihan			
1 sapuan	15,73	0,45	7,07
2 sapuan	16,29	0,50	8,14
3 sapuan	16,41	0,52	8,53

Dengan menggunakan berbagai mode sapuan ini, kita dapat melihat apakah ada perbedaan dalam efektivitas membersihkan kotoran debu pada permukaan panel PJU. Dengan demikian, data pembacaan parameter pada pukul 08.00 WIB dengan kotoran debu yang disajikan dalam Tabel 3 dan Gambar 5 memberikan insight yang berharga dalam mengevaluasi efektivitas dari berbagai mode sapuan rol pembersih terhadap kotoran debu pada panel PJU.



Gambar 5. Grafik daya pada pukul 08.00 untuk kondisi kotoran daun

Setelah dilakukan pembersihan untuk mengatasi efek shading yang disebabkan oleh debu, terdapat peningkatan yang signifikan pada parameter tegangan, arus, dan daya. Tegangan awal tercatat sebesar 15,52 V, dan setelah tiga kali sapuan pembersihan, tegangan meningkat menjadi 16,41 V, yang menunjukkan peningkatan total sebesar 5,74%. Arus juga mengalami kenaikan yang signifikan, dari 0,41 A sebelum pembersihan menjadi 0,52 A setelah tiga kali sapuan, yang berarti peningkatan sebesar 26,83%. Peningkatan arus ini mengindikasikan berkurangnya efek shading, sehingga aliran listrik yang dihasilkan menjadi lebih optimal. Selain itu, daya listrik yang dihasilkan oleh sistem juga mengalami peningkatan, dari 6,36 Watt sebelum pembersihan menjadi 8,53 Watt setelah sapuan ketiga, dengan peningkatan total

sebesar 34,28%. Hal ini menunjukkan bahwa pembersihan tersebut berhasil meningkatkan efisiensi sistem secara keseluruhan dengan menghilangkan debu yang menghalangi cahaya, sehingga perangkat dapat beroperasi pada performa maksimal.

Pada pukul 12.00 dan 16.00, pengukuran yang dilakukan secara konsisten menunjukkan hasil yang stabil pada parameter yang diuji, yaitu tegangan, arus, dan daya. Hal ini menunjukkan bahwa sistem yang diuji berada dalam kondisi stabil dan tidak terpengaruh oleh lingkungan sekitarnya atau fluktuasi waktu. Dengan hasil pengukuran yang konsisten pada waktu yang berbeda, dapat disimpulkan bahwa sistem tersebut memiliki tingkat keandalan yang tinggi dalam mempertahankan kinerja optimalnya.

Tabel 4 menunjukkan data rata-rata dari tiga kondisi perlakuan yang berbeda (satu, dua, dan tiga kali sapuan) pada tiga waktu pengambilan (08.00, 12.00, dan 16.00). Penelitian ini bertujuan untuk memahami dampak frekuensi sapuan terhadap efek perlindungan tanaman terhadap shading effect debu. Analisis data dalam tabel ini memberikan gambaran pengamatan kondisi perlakuan dan waktu. Hasil ini dapat digunakan untuk mengembangkan strategi perlindungan efektif terhadap debu.

Tabel 4. Data rata-rata pengujian dengan shading effect debu

Kondisi	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (Watt)
Sebelum	16,45	0,52	8,55
Sesudah Pembersihan			
1 sapuan	16,74	0,55	9,25
2 sapuan	17,19	0,59	10,24
3 sapuan	17,35	0,61	10,68

Data pada tabel menunjukkan bahwa pembersihan sistem panel surya secara signifikan meningkatkan kinerja dengan peningkatan yang jelas dalam parameter tegangan, arus, dan daya. Sebelum pembersihan, sistem beroperasi dengan tegangan 16,45 V, arus 0,52 A, dan daya 8,55 W. Namun, setelah pembersihan dilakukan dengan tiga sapuan, tegangan meningkat hingga 17,35 V, arus menjadi 0,61 A, dan daya mencapai 10,68 W. Perubahan ini menunjukkan bahwa pembersihan berkontribusi dalam meningkatkan daya serap terhadap iradiasi, yang memungkinkan lebih banyak serapan sinar matahari. Peningkatan daya dengan selisih mencolok antara setiap tahap pembersihan menggambarkan pentingnya pemeliharaan berkala untuk memastikan sistem listrik tetap optimal dan efisien dalam operasionalnya. Analisa ini dapat dideskripsikan secara lebih jelas pada Gambar 6.

Gambar 6 adalah grafik yang menampilkan perbandingan nilai rata-rata daya yang dihasilkan oleh panel surya pada beberapa waktu yang berbeda. Grafik ini sangat penting karena dapat memberikan informasi mengenai efisiensi panel surya tergantung pada kondisi lingkungan di sekitarnya. Pada grafik tersebut, dapat terlihat bahwa terdapat perbedaan nilai daya yang dihasilkan oleh panel surya sebelum dan setelah proses pembersihan dilakukan. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi bersih atau kotor dari panel surya dapat mempengaruhi kinerja dan efisiensi dari panel tersebut. Dari grafik tersebut juga dapat dilihat bahwa terdapat peningkatan daya yang signifikan setelah proses pembersihan dilakukan, baik itu dengan menggunakan beberapa sapuan atau metode pembersihan lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa pembersihan secara berkala dapat meningkatkan efisiensi sistem secara keseluruhan. Dengan

demikian, dapat disimpulkan bahwa pembersihan panel surya secara teratur dapat membantu meningkatkan kinerja dan efisiensi dari panel surya tersebut. Oleh karena itu, penting untuk memperhatikan dan menjaga kebersihan panel surya agar dapat mendapatkan hasil yang optimal dalam menghasilkan daya.



Gambar 6. Grafik nilai rata-rata daya untuk kondisi kotoran daun

IV. SIMPULAN

Penelitian ini menyimpulkan bahwa akumulasi debu dan kotoran pada panel surya secara signifikan mengurangi efisiensinya, berdampak pada kinerja sistem penerangan jalan umum bertenaga surya (PJU). Penelitian ini menyoroti perlunya pembersihan rutin dan efektif untuk mempertahankan konversi energi yang optimal. Sistem pembersihan otomatis yang diusulkan, terintegrasi dengan teknologi IoT, mengatasi inefisiensi metode pembersihan manual, yang padat karya, mahal, dan menimbulkan risiko kerusakan dan kecelakaan. Sistem berbasis IoT memungkinkan pemantauan dan kontrol waktu nyata, meningkatkan keandalan dan konsistensi proses pembersihan.

Hasil eksperimen memvalidasi efektivitas sistem pembersihan otomatis, menunjukkan peningkatan tegangan, arus, dan output daya pasca pembersihan. Misalnya, tegangan meningkat dari 16,45 V menjadi 17,35 V, arus dari 0,52 A menjadi 0,61 A, dan daya dari 8,55 W

menjadi 10,68 W, menunjukkan peningkatan penyerapan dan konversi energi matahari. Studi ini menggarisbawahi pentingnya pemeliharaan berkala untuk mempertahankan kinerja optimal dan memperpanjang umur panel surya, membuat sistem lebih berkelanjutan dan hemat biaya dalam jangka panjang. Penelitian ini menawarkan solusi yang layak untuk meningkatkan efisiensi dan keandalan panel surya, berkontribusi pada solusi energi yang lebih berkelanjutan untuk infrastruktur publik.

V. RUJUKAN

- [1] L. Li, J. Lin, N. Wu, S. Xie, C. Meng, Y. Zheng, X. Wang, Y. Zhao, "Review and outlook on the international renewable energy development," *Energy and Built Environment*, Vol. 3, No. 2, 2022,
- [2] A. Shahsavari dan M. Akbari, "Potential of solar energy in developing countries for reducing energy-related emissions," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 90, 2018.
- [3] Sumanth B. R., Lakshmi pathy N., "Design Of Street Lights Powered By Solar Power System," *International Journal of Current Advanced Research (IJCAR)*, Vol. 6, No. 3, 2017.
- [4] A. Saravanan dan N. Sivaramakrishnan, "Improve The Solar Panel Proficiency By Using Of Free Energy From Street Light," *Emerging Research in Computing, Information, Communication and Applications*, Vol. 928, 2022.
- [5] G. Liu, "Sustainable feasibility of solar photovoltaic powered street lighting systems," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, Vol. 56, 2014.

- [6] A. Kumar, S. Manish, "Analyzing the impact of dust accumulation and different cleaning mechanism on efficiency of solar photovoltaic panel," *Thermal Science and Engineering*, Vol. 1, No. 3, 2018.
- [7] Y. H. Mahmood, M. A. Majeed, "Design of a Simple Dust Removal System for a Solar Street Light System," *Baghdad Science Journal*, Vol. 19, No. 5, 2022.
- [8] B. O. Olorunfemi, O. A. Ogbolumani, N. Nwulu, "Solar Panels Dirt Monitoring and Cleaning for Performance Improvement: A Systematic Review on Smart Systems," *MDPI Sustainability*, Vol. 14, No. 17, 2022.
- [9] T. Ramachandran, V. Ponnusamy, N. Z. Jhanjhi, "Solar Powered Smart Street Light with Maintenance Service System," New York: IGI Global Scientific Publishing, 2016.
- [10] S. Akbar, T. Ahmad, "Enhance and Maintain Efficiency of Solar Panel using Auto Cleaning System," *International Journal of Engineering*, Vol. 6, No. 5, 2019.
- [11] S. Gochhait, R. Asodiya, T. Hasarmani, V. Patin, O. Maslova, "Application of IoT: A Study on Automated Solar Panel Cleaning System," *2022 4th International Conference on Electrical, Control and Instrumentation Engineering (ICECIE)*, 2022.
- [12] L. K. Hema, R. K. Dwibedi, J. Ashwin Kumar, P. Raj, M. Shanmugavel, "Design and Implementation of Roof Top Solar Panel Cleaner Robot Using IoT," *J Phys Conf Ser*, Vol. 1964, No. 6, 2021.

Implementasi *Inverse Kinematics* Pada Lengan Robot Pengambil Sampah

Annisa Rizka Fitriani¹

¹SMK Negeri 6 Surabaya

Korespondensi: claralee436@gmail.com

Received: Juli 2023; Accepted: September 2023; Published: November 2023

DOI: <https://doi.org/10.30649/je.v5i2.128>

Abstrak

Perkembangan teknologi di bidang robotika sangat pesat, berbagai macam robot diciptakan untuk membantu kehidupan manusia. Untuk mendukung perkembangan teknologi di Indonesia, banyak robot yang telah diciptakan. Salah satu robot yang sedang dikembangkan adalah robot pemilah sampah. Robot pemilah sampah ini berjenis robot *manipulator* atau robot yang sistem mekaniknya menyerupai sistem kerja tangan manusia dan mampu menempatkan sesuatu dengan tepat. Oleh karena itu sangat penting untuk memperhatikan pengendalian pergerakan lengan robot agar dapat mengambil sampah tersebut. Pada penelitian ini digunakan metode *Inverse Kinematic* untuk mengendalikan pergerakan lengan robot agar dapat mengambil sampah dengan baik. Dari hasil penelitian, penerapan *Inverse Kinematic* berhasil membuat lengan robot bergerak mengambil sampah dengan baik. Sedangkan untuk rata-rata kesalahan koordinat didapatkan untuk seluruh posisi sampah pada sumbu x adalah 4,17%, sumbu y adalah 6,83%, dan sumbu z adalah 5,64%.

Kata kunci: Robot pemilah sampah, *Manipulator*, *Inverse Kinematic*

Abstract

Technological developments in the field of robotics are very rapid, various kinds of robots have been created to help human life. To support technological developments in Indonesia, many robots have been created. One of the robots being developed is a waste sorting robot. This waste sorting robot is a type of manipulator robot or robot whose mechanical system resembles the working system of a human hand and is able to place things precisely. Therefore, it is very important to pay attention to controlling the movement of the robot arm so that it can pick up the waste. In this research, the Inverse Kinematic method was used to control the movement of the robot arm so that it can pick up trash properly. From the research results, the application of Inverse Kinematic succeeded in making the robot arm move to pick up trash well. Meanwhile, the average coordinate error is obtained for all trash positions on the X-axis was 4,17%, the Y-axis was 6,83%, and the Z-axis was 5,64%.

Key words: Waste sorting robot, *Manipulator*, *Inverse Kinematic*

I. PENDAHULUAN

Manusia dan sampah telah hidup berdampingan selama puluhan abad. Sampah merupakan limbah yang dihasilkan dari adanya aktivitas manusia [1]. Namun saat ini, kesadaran masyarakat akan kebersihan lingkungan semakin menurun. Hal tersebut menyebabkan lingkungan menjadi kumuh dan dapat menjadi sumber berbagai jenis penyakit [2].

Masalah pengelolaan sampah kota semakin mendesak di kota-kota besar dunia. Menurut data Bank Dunia (2024), produksi sampah kota secara global diperkirakan meningkat dari 1,3 miliar ton pada tahun 2010 menjadi 2,2 miliar ton pada tahun 2025. Di Indonesia, Badan Pusat Statistik (2022) melaporkan bahwa jumlah tempat pembuangan sampah meningkat dari 65,2 juta ton pada tahun 2016 menjadi 72 juta ton pada tahun 2022, dengan 36% atau sekitar 9 juta ton sampah tidak dikelola dengan baik. Sampah rumah tangga mendominasi 32,5% dari total tempat pembuangan sampah setiap tahunnya [3].

Pertumbuhan populasi yang cepat, urbanisasi, dan pembangunan ekonomi berkontribusi terhadap peningkatan jumlah sampah, yang memberikan beban pada sistem pengelolaan sampah yang ada. Salah satu kelemahan utama dalam pengelolaan sampah adalah pemilahan yang masih dilakukan secara manual. Pekerjaan ini tidak hanya kotor dan tidak sehat bagi pekerjanya tetapi juga mempunyai risiko tinggi terhadap kesehatan akibat paparan zat-zat berbahaya seperti timbal, merkuri dan zat-zat yang berasal dari limbah rumah sakit [3].

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, teknologi robotika dan kecerdasan buatan dapat dimanfaatkan. Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Ristek melalui Pusat

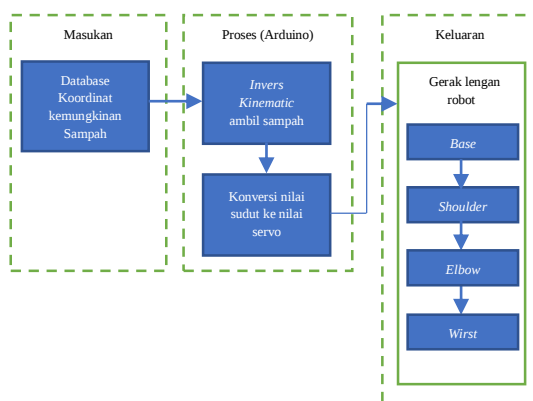
Prestasi Nasional (Puspresnas) menyelenggarakan Kontes Robot Indonesia (KRI), salah satunya Kontes Robot Tematik Indonesia (KRTMI). Pada tahun 2024, KRTMI mengusung tema “Robot Pemilah Sampah” yang bertujuan untuk mengembangkan ide-ide solusi pengelolaan sampah di masa depan [4].

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengembangkan robot pemilah sampah, namun masih belum efektif. Misalnya, Eno, F. W., et. al. mengembangkan *prototipe* lengan robot yang hanya dapat mendeteksi limbah logam menggunakan sensor jarak, yang masih belum efisien. Mualief, A. I., et. al. mengembangkan tempat sampah pintar berbasis *Internet of Things* (IoT) yang hanya memberikan informasi kapasitas tanpa pemilahan sampah yang efektif. Elfirza, R. dan Rizky P. telah menciptakan sistem robot yang mengkategorikan sampah berdasarkan sensor, namun belum sepenuhnya optimal. Untuk meningkatkan efisiensi diperlukan struktur robot yang baik dengan lengan robot yang dikendalikan oleh beberapa motor servo, seperti yang diteliti oleh Afrizal, S. A., et. al. dan Heru, S.

Dalam rangka KRTMI 2024, solusi yang diusulkan adalah pembuatan lengan robot pemilah sampah yang dapat mendeteksi sampah kertas berdasarkan warna menggunakan pengolahan gambar dan memindahkannya ke tempat yang sesuai dengan menggunakan perhitungan kinematika terbalik. Robot ini diharapkan dapat berfungsi dengan baik dalam mengambil sampah, sehingga memberikan kontribusi nyata dalam mengatasi permasalahan pengelolaan sampah di masa depan.

II. METODE PENELITIAN

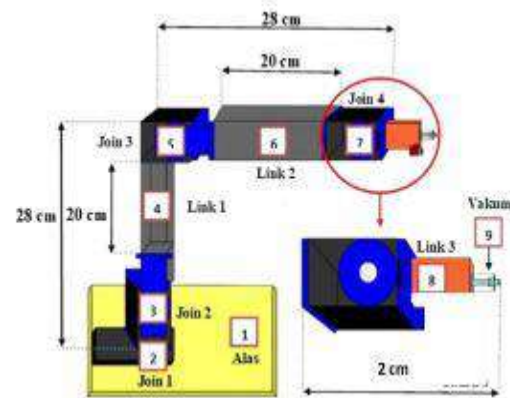
Sistem lengan robot pemilah sampah akan dijelaskan sesuai alur diagram blok pada Gambar 1. Sistem lengan robot pemilah sampah ini diasumsikan sudah mengetahui koordinat kemungkinan sampah berada. Data koordinat tersebut kemudian dikirimkan ke sistem kendali lengan robot untuk mengatur pergerakan lengan sesuai dengan posisi dan orientasi objek.



Gambar 1. Diagram blok sistem

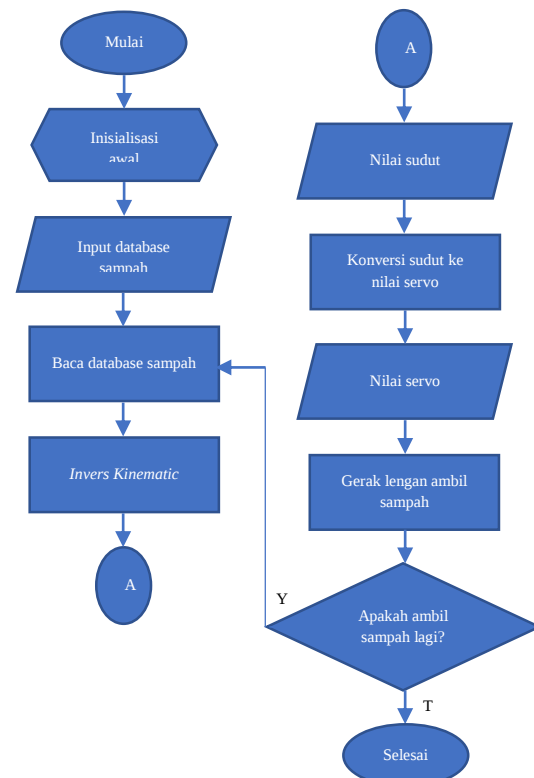
Selanjutnya algoritma perhitungan *inverse kinematic* digunakan untuk mengubah koordinat benda menjadi sudut sambungan yang dibutuhkan oleh lengan robot. Setelah perhitungan *inverse kinematik* selesai, nilai sudut sambungan diubah menjadi nilai servo bertipe data bit sebagai masukan pergerakan lengan robot. Nilai-nilai tersebut kemudian dikirimkan ke setiap sendi pada lengan robot, yang mengatur pergerakan lengan sesuai hasil perhitungan untuk mengambil sampah. Dari diagram blok pada Gambar 1 diperoleh *flowchart* pada Gambar 3. Sedangkan untuk desain dari lengan robot dapat dilihat pada Gambar 2.

Pada Gambar 2 dapat diketahui bahwa rangka utama badan robot terbuat dari bahan akrilik dengan ketebalan alas 5cm dan link 3cm serta terdapat lubang yang digunakan sebagai titik tumpu servo dynamixel.



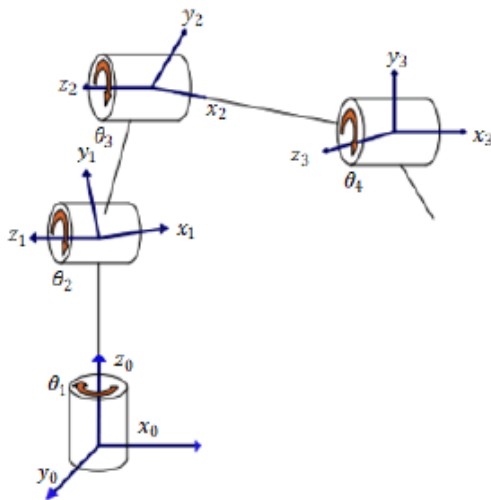
Gambar 2. Desain lengan robot

Sementara itu, *Inverse Kinematic* merupakan suatu metode untuk mengubah besaran kartesius pada setiap kaki menjadi besaran sudut pada setiap servo. Posisi dan orientasi *end-effector* pada masing-masing kaki robot dapat ditentukan berdasarkan posisi sudut sambungan dan struktur lengan pada robot yang dapat ditentukan oleh nilai pada setiap sumbu putar servo yang dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 3. Flowchart sistem

Pada Gambar 4 dapat dilihat bahwa lengan robot mempunyai 4 bagian yaitu bagian pangkal, siku, lengan dan jari, dimana bagian-bagian tersebut mempunyai perhitungan yang berbeda-beda sesuai dengan kebutuhan. Pada penelitian ini derajat kebebasannya adalah 4, sehingga perhitungan yang diperlukan agar hasil derajat sudut servo juga adalah 4.



Gambar 4. Konfigurasi Lengan Robot 4-Dof

Untuk menghitung sudut θ_1 dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (1) [10].

$$\theta_1 = \text{Atan2} \left(\frac{x}{y} \right) \times 57,32 \quad (1)$$

Pada Persamaan (1), faktor kali 57,32 diperoleh dari hasil $180/\pi$, karena dengan menggunakan Atan2 hasil perhitungannya masih dalam satuan radian, oleh karena itu perlu diubah menjadi satuan derajat. Perhitungan pergerakan dari sudut pandang atas lengan robot seperti pada Gambar 5.

Pada Persamaan (2) sampai Persamaan (12) [10] digunakan untuk perhitungan joint 2, joint 3 dan joint 4. Untuk konfigurasi dapat dilihat pada

Gambar 6 yang menunjukkan konfigurasi lengan robot 4-DoF tampak samping.

$$\emptyset = \theta_2 + \theta_3 + \theta_4 \quad (2)$$

$$r_2 = r_3 - a_4 \cos \emptyset \quad (3)$$

$$z_2 = z_3 - a_4 \sin \emptyset \quad (4)$$

$$\cos \theta_2 = \frac{(a_2 + a_3 \cos \theta_3)r_2 + (a_3 \sin \theta_3)z_2}{r_2^2 + z_2^2} \quad (5)$$

$$\sin \theta_2 = \frac{(a_2 + a_3 \cos \theta_3)z_2 + (a_3 \sin \theta_3)r_2}{r_2^2 + z_2^2} \quad (6)$$

$$\theta_2 = \tan^{-1} \left(\frac{\sin \theta_2}{\cos \theta_2} \right) \quad (7)$$

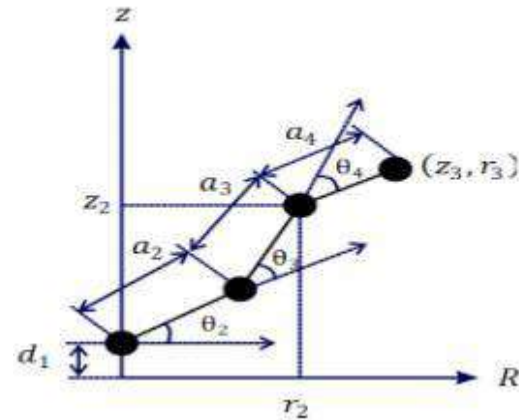
$$\cos \theta_3 = \frac{r_2^2 + z_2^2 - (a_2^2 + a_3^2)}{2a_2a_3} \quad (8)$$

$$r_3 = \cos \theta_2 (a_2 + a_3 \cos \theta_3) - \sin \theta_2 (a_3 \sin \theta_3) \quad (9)$$

$$z_3 = \cos \theta_2 (a_3 \sin \theta_3) + \sin \theta_2 (a_2 + a_3 \cos \theta_3) \quad (10)$$

$$\theta_3 = \pm \cos^{-1} \left(\frac{r_2^2 + z_2^2 - (a_2^2 + a_3^2)}{2a_2a_3} \right) \quad (11)$$

$$\theta_4 = \theta_2 + \theta_3 \quad (12)$$



Gambar 5. Konfigurasi Lengan Robot 4-Dof Tampak Samping

Dari persamaan invers kinematik pada Persamaan (1) sampai Persamaan (12), dapat dicari sudut pada masing-masing servo. Dengan memasukkan koordinat *end-effector* lengan robot pada sumbu X, Y, Z sebagai data masukan ke *inverse kinematic* sehingga menghasilkan data keluaran berupa nilai setiap joint θ_2 , θ_3 , dan θ_4 .

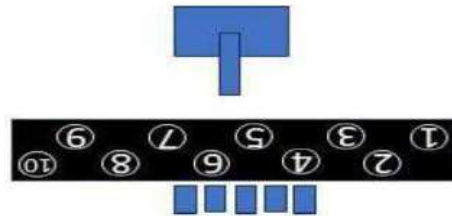
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian pada lengan dilakukan untuk mengetahui tingkat akurasi lengan robot pada tiap langkah atau step yang diambilnya. Pengujian ini dilakukan dengan cara mengukur koordinat yang dicapai oleh lengan kemudian dibandingkan dengan koordinat yang

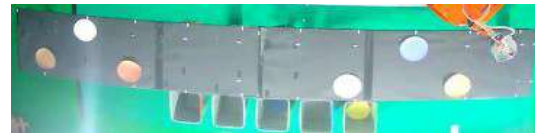
Gambar 7. Posisi *end effector* lengan

robot saat mengambil sampah posisi 1 posisi. Dalam proses pengujian ini, gerakan lengan robot diuji berdasarkan masukan program yang telah ditentukan sebelumnya dan dibandingkan dengan

hasil nyata yang diperoleh saat lengan bergerak untuk mengambil sampah. Gambar 7 menunjukkan posisi sampah dari posisi 1 sampai posisi 10. Gambar 8 menunjukkan posisi *end effector* lengan robot saat mengambil sampah pada posisi 1.



Gambar 6. Posisi sampah



Sedangkan Tabel 1 menunjukkan nilai hasil pengujian posisi *end effector* saat mengambil sampah pada posisi 1.

Tabel 1. Nilai hasil pengujian posisi *end effector* saat mengambil sampah pada posisi 1

Percobaan Ke-	Input			Output			Error (cm)			Error (%)		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
1	60	10	17	68	10	15	8	0	2	13,3	0,0	11,7
2	60	10	17	60	10	17	0	0	0	0,0	0,0	0,0
3	60	10	17	68	10	15	8	0	2	13,3	0,0	11,7
4	60	10	17	68	10	15	8	0	2	13,3	0,0	11,7
5	60	10	17	68	10	15	8	0	2	13,3	0,0	11,7
Rata-rata							6,4	0	1,6	10,6	0,0	9,4

Pengujian selanjutnya dilakukan pada posisi sampah ke-2. Gambar 9 menunjukkan posisi *end effector* lengan robot saat mengambil sampah pada posisi 2. Sedangkan Tabel 2 menunjukkan nilai hasil pengujian posisi *end effector* saat mengambil sampah pada posisi 2.



Gambar 8. Posisi *end effector* lengan robot saat mengambil sampah posisi 2

Tabel 2. Nilai hasil pengujian posisi *end effector* saat mengambil sampah pada posisi 2

Percobaan Ke-	Input			Output			Error (cm)			Error (%)		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
1	60	35	17	65	30	17	5	5	0	8,3	14,2	0,0
2	60	35	17	60	35	15	0	0	2	0,0	0,0	11,7
3	60	35	17	62	29	17	2	6	0	3,3	17,1	0,0
4	60	35	17	60	29	17	0	6	0	0,0	17,1	0,0
5	60	35	17	60	35	15	0	0	2	0,0	0,0	11,7
Rata-rata							1,4	3,4	0,8	2,3	9,7	4,7

Selanjutnya dilakukan pengujian pada posisi sampah ke-3. Gambar 10 menunjukkan posisi *end effector* lengan robot saat mengambil sampah pada posisi 3. Sedangkan Tabel 3 menunjukkan nilai hasil pengujian posisi *end effector* saat mengambil sampah pada posisi 3.

**Gambar 9.** Posisi *end effector* lengan robot saat mengambil sampah posisi 3**Tabel 3.** Nilai hasil pengujian posisi *end effector* saat mengambil sampah pada posisi 3

Percobaan Ke-	Input			Output			Error (cm)			Error (%)		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
1	-60	10	17	-60	15	15	0	5	2	0,0	5,0	11,7
2	-60	10	17	-55	19	17	5	9	0	8,3	9,0	0,0
3	-60	10	17	-60	15	15	0	5	2	0,0	5,0	11,7
4	-60	10	17	-58	19	17	5	9	0	3,3	9,0	0,0
5	-60	10	17	-58	15	17	2	5	0	3,3	5,0	0,0
Rata-rata							2,4	6,6	0,8	3	6,6	4,7

Kemudian, pengujian pada posisi sampah ke-4. Gambar 11 menunjukkan posisi *end effector* lengan robot saat mengambil sampah pada posisi 4. Sedangkan Tabel 4 menunjukkan nilai hasil pengujian posisi *end effector* saat mengambil sampah pada posisi 4.

**Gambar 10.** Posisi *end effector* lengan robot saat mengambil sampah posisi 4

Tabel 4. Nilai hasil pengujian posisi end effector saat mengambil sampah pada posisi 4

Percobaan Ke-	Input			Output			Error (cm)			Error (%)		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
1	60	35	17	65	30	17	5	5	0	8,3	14,2	0,0
2	60	35	17	60	35	15	0	0	2	0,0	0,0	11,7
3	60	35	17	62	29	17	2	6	0	3,3	17,1	0,0
4	60	35	17	60	29	17	0	6	0	0,0	17,1	0,0
5	60	35	17	60	35	15	0	0	2	0,0	0,0	11,7
Rata-rata							1,4	3,4	0,8	2,3	9,7	4,7

Selanjutnya dilakukan pengujian pada posisi sampah ke-5. Gambar 12 menunjukkan posisi *end effector* lengan robot saat mengambil sampah pada posisi 5. Untuk nilai hasil pengujian posisi *end effector* saat mengambil sampah pada posisi 5 dapat dilihat pada Tabel 5

**Gambar 11.** Posisi *end effector* lengan robot saat mengambil sampah posisi 5**Tabel 5.** Nilai hasil pengujian posisi end effector saat mengambil sampah pada posisi 5

Percobaan Ke-	Input			Output			Error (cm)			Error (%)		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
1	60	10	17	68	10	15	8	0	2	13,3	0,0	11,7
2	60	10	17	60	10	17	0	0	0	0,0	0,0	0,0
3	60	10	17	68	10	15	8	0	2	13,3	0,0	11,7
4	60	10	17	68	10	15	8	0	2	13,3	0,0	11,7
5	60	10	17	68	10	15	8	0	2	13,3	0,0	11,7
Rata-rata							6,4	0	1,6	10,6	0,0	9,4

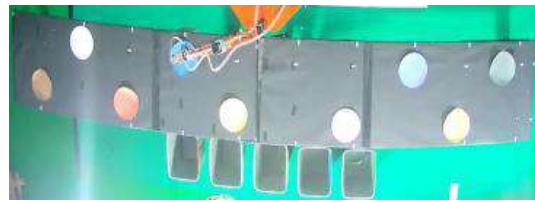
Pengujian selanjutnya pada posisi sampah ke-6 dapat dilihat pada Gambar 13 menunjukkan posisi *end effector* lengan robot saat mengambil sampah pada posisi 6. Untuk nilai hasil pengujian posisi *end effector* saat mengambil sampah pada posisi 6 dapat dilihat pada Tabel 6.

**Gambar 12.** Posisi *end effector* lengan robot saat mengambil sampah posisi 6

Tabel 6. Nilai hasil pengujian posisi end effector saat mengambil sampah pada posisi 6

Percobaan Ke-	Input			Output			Error (cm)			Error (%)		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
1	60	35	17	65	30	17	5	5	0	8,3	14,2	0,0
2	60	35	17	60	35	15	0	0	2	0,0	0,0	11,7
3	60	35	17	62	29	17	2	6	0	3,3	17,1	0,0
4	60	35	17	60	29	17	0	6	0	0,0	17,1	0,0
5	60	35	17	60	35	15	0	0	2	0,0	0,0	11,7
Rata-rata							1,4	3,4	0,8	2,3	9,7	4,7

Posisi selanjutnya dilakukan pengujian pada posisi sampah ke-7. Gambar 14 menunjukkan posisi *end effector* lengan robot saat mengambil sampah pada posisi 7. Sedangkan Tabel 7 menunjukkan nilai hasil pengujian posisi end effector saat mengambil sampah pada posisi 7.

**Gambar 13.** Posisi *end effector* lengan robot saat mengambil sampah posisi 7**Tabel 7.** Nilai hasil pengujian posisi end effector saat mengambil sampah pada posisi 7

Percobaan Ke-	Input			Output			Error (cm)			Error (%)		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
1	-60	10	17	-60	15	15	0	5	2	0,0	5,0	11,7
2	-60	10	17	-55	19	17	5	9	0	8,3	9,0	0,0
3	-60	10	17	-60	15	15	0	5	2	0,0	5,0	11,7
4	-60	10	17	-58	19	17	5	9	0	3,3	9,0	0,0
5	-60	10	17	-58	15	17	2	5	0	3,3	5,0	0,0
Rata-rata							2,4	6,6	0,8	3	6,6	4,7

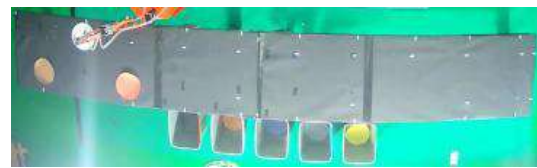
Kemudian, pengujian pada posisi sampah ke-8. Gambar 15 menunjukkan posisi *end effector* lengan robot saat mengambil sampah pada posisi 8. Untuk nilai hasil pengujian posisi *end effector* saat mengambil sampah pada posisi 8 dapat dilihat pada Tabel 8.

**Gambar 14.** Posisi *end effector* lengan robot saat mengambil sampah posisi 8

Tabel 8. Nilai hasil pengujian posisi end effector saat mengambil sampah pada posisi 8

Percobaan Ke-	Input			Output			Error (cm)			Error (%)		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
1	60	35	17	65	30	17	5	5	0	8,3	14,2	0,0
2	60	35	17	60	35	15	0	0	2	0,0	0,0	11,7
3	60	35	17	62	29	17	2	6	0	3,3	17,1	0,0
4	60	35	17	60	29	17	0	6	0	0,0	17,1	0,0
5	60	35	17	60	35	15	0	0	2	0,0	0,0	11,7
Rata-rata							1,4	3,4	0,8	2,3	9,7	4,7

Selanjutnya dilakukan pengujian pada posisi sampah ke-9. Gambar 16 menunjukkan posisi *end effector* lengan robot saat mengambil sampah pada posisi 9. Sedangkan Tabel 9 menunjukkan nilai hasil pengujian posisi *end effector* saat mengambil sampah pada posisi 9.

**Gambar 15.** Posisi *end effector* lengan robot saat mengambil sampah posisi 9**Tabel 9.** Nilai hasil pengujian posisi end effector saat mengambil sampah pada posisi 9

Percobaan Ke-	Input			Output			Error (cm)			Error (%)		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
1	-60	10	17	-60	15	15	0	5	2	0,0	5,0	11,7
2	-60	10	17	-55	19	17	5	9	0	8,3	9,0	0,0
3	-60	10	17	-60	15	15	0	5	2	0,0	5,0	11,7
4	-60	10	17	-58	19	17	5	9	0	3,3	9,0	0,0
5	-60	10	17	-58	15	17	2	5	0	3,3	5,0	0,0
Rata-rata							2,4	6,6	0,8	3	6,6	4,7

Pengujian selanjutnya pada posisi sampah ke-10 dapat dilihat pada Gambar 17. Untuk nilai hasil pengujian posisi *end effector* saat mengambil sampah pada posisi 10 dapat dilihat pada Tabel 10.

**Gambar 16.** Posisi *end effector* lengan robot saat mengambil sampah posisi 10

Tabel 10. Nilai hasil pengujian posisi end effector saat mengambil sampah pada posisi 10

Percobaan Ke-	Input			Output			Error (cm)			Error (%)		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
1	60	35	17	65	30	17	5	5	0	8,3	14,2	0,0
2	60	35	17	60	35	15	0	0	2	0,0	0,0	11,7
3	60	35	17	62	29	17	2	6	0	3,3	17,1	0,0
4	60	35	17	60	29	17	0	6	0	0,0	17,1	0,0
5	60	35	17	60	35	15	0	0	2	0,0	0,0	11,7
Rata-rata							1,4	3,4	0,8	2,3	9,7	4,7

IV. SIMPULAN

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa rata-rata *error* untuk sumbu X pada posisi sampah ke-1 sebesar 10,6%, untuk sumbu Y sebesar 0,0%, untuk sumbu Z sebesar 9,4%. Sedangkan untuk posisi sampah ke-2 rata-rata *error* untuk sumbu X sebesar 2,3%, untuk sumbu Y sebesar 9,7%, dan untuk sumbu Z sebesar 4,7%. Untuk posisi sampah ke-3 rata-rata *error* untuk sumbu X sebesar 3%, untuk sumbu Y sebesar 6,6%, dan untuk sumbu Z sebesar 4,7%. Untuk posisi sampah ke-4 rata-rata *error* untuk sumbu X sebesar 2,3%, untuk sumbu Y sebesar 9,7%, dan untuk sumbu Z sebesar 4,7%. Kemudian untuk posisi sampah ke-5 rata-rata *error* untuk sumbu X sebesar 10,6%, untuk sumbu Y sebesar 0,0%, dan untuk sumbu Z sebesar 9,4%.

Sedangkan untuk posisi sampah ke-6 rata-rata *error* untuk sumbu X sebesar 2,3%, untuk sumbu Y sebesar 9,7%, dan untuk sumbu Z sebesar 4,7%. Kemudian untuk posisi sampah ke-7 rata-rata *error* untuk sumbu X sebesar 3%, untuk sumbu Y sebesar 6,6%, dan untuk sumbu Z sebesar 4,7%. Untuk posisi sampah ke-8 rata-rata *error* untuk sumbu X sebesar 2,3%, untuk sumbu Y sebesar 9,7%, dan untuk sumbu Z sebesar 4,7%. Untuk posisi sampah ke-9 rata-rata *error* untuk sumbu X sebesar 3%, untuk sumbu Y sebesar 6,6%, dan untuk sumbu Z sebesar 4,7%.

Sedangkan untuk posisi sampah terakhir atau posisi ke-10, rata-rata *error* untuk sumbu X sebesar 2,3%, untuk sumbu Y sebesar 9,7%, dan untuk sumbu Z sebesar 4,7%.

V. RUJUKAN

- [1] N. Harahap, "Pengembangan Robot Pemilah Sampah untuk Meningkatkan Sikap Peduli Lingkungan di MTsN 1 Banda Aceh," *Jurnal Biologi Edukasi*, Vol. 12 No. 2, 2020.
- [2] A. Rohman, J. Aditama, M. B. Arifin, R. Rahmawati, S. Sendari, "Rancang Bangun Smart Cleaner Robot sebagai Robot Pengambil dan Pemilah Sampah," *SinarFe7*, Vol. 1 No. 1, 2018.
- [3] N. Midayanti, C. Widya, D. Aryanti, Krismawati, "*Statistik Lingkungan Hidup Indonesia 2022*," Badan Pusat Statistik, 2022.
- [4] B. Kusumoputro, M. H. Purnomo, H. S. B. Rochardjo, et. al., "*Pedoman Kontes Robot Indonesia Tahun 2024*," Balai Pengembangan Talenta Indonesia, 2024.
- [5] E. F. Wardani, N. K. Daulay, M. N. Alamsyah, "Prototype Lengan Robot Pemilah Sampah Organik dan Anorganik," *Kajian Ilmiah Informatika dan Komputer*. Vol 3, No 5, 2023.

- [6] M. Ismail, R. K. Abdullah, S. Abdussamad, "Tempat Sampah Pintar Berbasis Internet of Things (IoT) Dengan Sistem Teknologi Informasi," *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering (JEEEE)*, Vol. 3, No. 1, 2021.
- [7] E. Rosiana, R. Perdana, "Rancang Bangun Sistem Robot Pemilah Sampah Anorganik dengan *Inductive Proximity* dan LDR Sebagai Sensor," *Building of Informatics, Technology and Science (BITS)*, Vol. 4, No. 2, 2022.
- [8] A. S. Arisandi, J. Subur, Suryadhi, "Rancang Bangun Robot Lengan Pemindah Barang 3 Dof Menggunakan Metode Inverse Kinematics Berbasis Android," *Jurnal: Elektriika Borneo (JEB)*, Vol. 6, No. 2, Oktober 2020.
- [9] H. Suprpto, "*Trajectory Planning Pada Robot Manipulator Menggunakan Inverse Kinematic*," Tesis, Jakarta: Institut Sains dan Teknologi Nasional Jakarta, 2017.
- [10] H. Z. Ting, M. H. M. Zaman, M. F. Ibrahim, A. M. Moubark, "Kinematic Analysis for Trajectory Planning of Open-Source 4-DoF Robot Arm," *(IJACSA) International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, Vol. 12, No. 6, 2021.

Rancang Bangun Display Informasi Akademik Digital Dengan Kontrol Melalui Aplikasi Mobile Android

Muchlis Nanda Agung Anafi¹, Joko Subur², Safriudin Rifandi³

^{1,2,3}Universitas Hang Tuah Surabaya

Korespondensi: muchlisnandaagung@gmail.com

Received: Juli 2023; Accepted: September 2023; Published: November 2023

DOI: <https://doi.org/10.30649/je.v5i2.111>

Abstrak

Tampilan informasi di lingkungan universitas memiliki peran penting dalam menyediakan akses terhadap informasi yang jelas dan mendorong partisipasi aktif mahasiswa, staf, dan pengunjung. Studi ini meneliti tentang pentingnya tampilan informasi di Universitas Hang Tuah dalam mendorong keterlibatan komunitas akademik, meningkatkan kesadaran akan aktivitas kampus, dan memperluas cakupan informasi yang relevan. Di Fakultas Teknik dan Ilmu Kelautan di Universitas Hang Tuah belum adanya display informasi akademik yang terupdate secara otomatis. Metodologi ini menggunakan pengumpulan data primer dan study literature. Pada tahap awal pembuatan *hardware* dilakukan dengan pemilihan tipe dan warna Dot Matrix. Sedangkan pada pembuatan *software* digunakan mikrokontroler Arduino Uno dan aplikasi MIT App Inventor sebagai *control* data sistem. Hasil dari proyek akhir ini adalah sistem informasi yang dapat dikontrol melalui MIT App Inventor. Kontrol ini digunakan untuk mengupdate data waktu, tanggal, bulan, tahun dan informasi akademik berupa running text.

Kata kunci: Display informasi akademik, Dot Matrix, Arduino Uno, MIT App Inventor

Abstract

The display of information in a university environment plays an important role in providing clear access to information and encouraging active participation among students, staff, and visitors. This study investigates the importance of information displays at Hang Tuah University in promoting community engagement, increasing awareness of campus activities, and expanding the coverage of relevant information. In the Faculty of Engineering and Marine Science at Hang Tuah University, there is currently no automatically updated academic information display. This methodology uses primary data collection and literature review. In the initial stage of hardware development, the type and color of the Dot Matrix are selected. For software development, the Arduino Uno microcontroller and the MIT App Inventor application are used for system data control. The result of this final project is an information system that can be controlled through MIT App Inventor. This control is used to update data on time, date, month, year, and academic information in the form of running text.

Key words: *Academic information display, Dot Matrix, Arduino Uno, MIT App Inventor*

I. PENDAHULUAN

Saat ini teknologi informasi berkembang sangat pesat. Teknologi informasi adalah teknologi yang digunakan untuk mengolah data, termasuk mengolah, mengumpulkan, menyusun, menyimpan, dan memanipulasi data dengan berbagai cara untuk menghasilkan informasi yang berkualitas, efektif, tepat waktu, dan menarik bagi masyarakat. Perkembangan teknologi informasi menciptakan cara hidup baru, mulai dari menentukan waktu yang dibutuhkan untuk persiapan program kerja, pendidikan, dan kesehatan [1]. Untuk meningkatkan kesadaran dalam mengatur waktu bagi mahasiswa dan masyarakat dilingkungan kampus, display wajib memuat waktu atau prosedur standar perkuliahan. Informasi yang tertulis di layar merupakan bagian dari prosedur kampus yang diperlukan untuk tujuan memberikan informasi kepada mahasiswa atau pegawai serta Informasi yang diberikan oleh tampilan juga membantu mahasiswa dan pegawai mengetahui agenda perkuliahan. Tampilan tersebut dapat berupa waktu dan teks yang dimaksudkan untuk meningkatkan perkuliahan bagi mahasiswa [2]. Salah satu media penyampaian informasi adalah *Running Text*, *Running Text* atau tulisan berjalan adalah suatu media elektronik yang bersifat informative. *Running Text* adalah sebuah teknik elektronik yang menampilkan sebuah tulisan bergerak atau berjalan yang terdiri dari susunan LED (*Light Emiting Diode*), kemudian terhubung secara matrix dengan perpaduan LED antara baris dan kolomnya. *Running Text* merupakan

salah satu bentuk penyampaian informasi kepada public dengan bantuan LED. *Running Text* merupakan media informasi yang efektif karena mampu menarik perhatian, dapat membuat banyak konten (isi tulisan) dan sederhana [3]. RTC (*Real Time Clock*) merupakan chip IC yang mempunyai fungsi menghitung waktu yang dimulai dari detik, menit, jam, hari, tanggal, bulan, hingga tahun dengan akurat. Untuk menjaga atau menyimpan data waktu yang telah di-ON-kan pada modul terdapat sumber catu daya sendiri yaitu baterai jam kancing, serta keakuratan data waktu yang ditampilkan digunakan osilator kristal eksternal [4]. Rancang bangun jam digital waktu sholat berbasis mikrokontroler AT89S52 yang dapat memberikan informasi lengkap dan praktis dalam penunjukan akan waktu sholat yang bersesuaian dengan tanggal, bulan, tahun, serta 6 waktu sholat yang bersesuaian dengan tanggal yang bersangkutan. Dalam sistem yang dibuat menggunakan display tampilan 7 segmen berupa jam, menit, tanggal, bulan, tahun, dan 6 waktu shalat yang bersesuaian dengan tanggal. Penelitian ini menghasilkan sistem jam digital waktu shalat yang menggunakan 7 segmen sebagai display, RTC sebagai real time clock, buzzer sebagai alarm, dan Eeprom AT24C32 sebagai memori eksternal. Eeprom AT24C32 digunakan untuk menyimpan data base jadwal waktu shalat selama 1 tahun [5]. Penggunaan MIT App Inventor tidak harus menguasai bahasa pemrograman karena pengguna cukup melakukan drag and drop objek visual untuk menciptakan aplikasi yang bisa dijalankan pada perangkat android. Kelebihan dari MIT App Inventor adalah pengguna tidak perlu mengingat dan

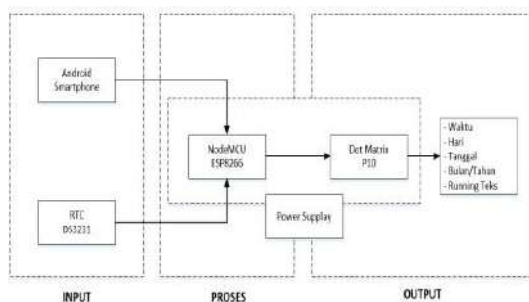
menulis instruksi jadi tidak akan menimbulkan frustasi dalam mengembangkan aplikasi. Pembuatan aplikasi berbasis android sangatlah menyenangkan karena pengguna bisa membuat aplikasi yang sesuai dengan kebutuhan pembelajaran [6]. Aplikasi Mobile adalah perangkat lunak yang berjalan pada perangkat mobile seperti smartphone atau tablet PC. Aplikasi Mobile juga dikenal sebagai aplikasi yang dapat diunduh dan memiliki fungsi tertentu sehingga menambah fungsionalitas dari perangkat mobile itu sendiri. Untuk mendapatkan mobile application yang diinginkan, user dapat mengunduhnya melalui situs tertentu sesuai dengan sistem operasi yang dimiliki. Google Play dan iTunes merupakan beberapa contoh dari situs yang menyediakan beragam aplikasi bagi pengguna Android dan iOS untuk mengunduh aplikasi yang diinginkan [7].

II. METODE PENELITIAN

Metode penelitian adalah langkah-langkah yang diambil oleh peneliti untuk mengumpulkan data atau informasi untuk diolah dan dianalisis secara ilmiah.

1. Diagram Blok

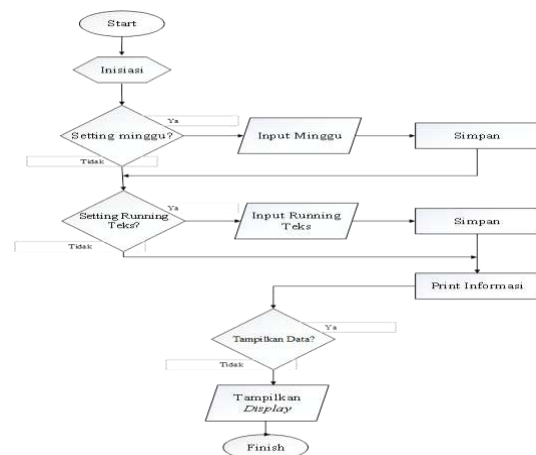
Blok Diagram adalah alur kerja sistem secara sederhana yang bertujuan untuk menerangkan cara kerja sistem seperti gambar berikut



Gambar 1. Diagram blok alat

2. Diagram Alir

Flowchart atau dalam bahasa Indonesia sering disebut dengan Diagram Alir. Flowchart (Diagram Alir) adalah alat yang digunakan untuk melakukan Perencanaan Proses, Analisis Proses, dan Mendokumentasikan Proses sebagai standar Pedoman Produksi. Berikut adalah diagram alir dari sarung tangan pintar

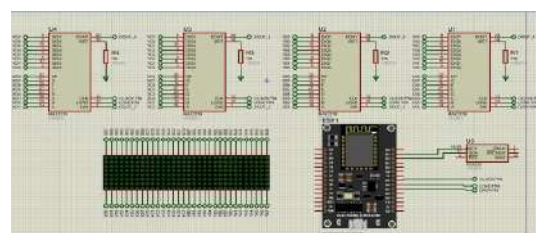


Gambar 2. Diagram Alir

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Rancangan Skematik

Pada perancangan tersebut menggunakan DS3231 sebagai input data yang nantinya akan terhubung dengan NodeMCU ESP8266. Data yang dikirim dari DS3231 nantinya akan diproses oleh NodeMCU ESP8266 lalu hasil dari pemrosesan data tersebut akan dikirim dan ditampilkan pada *display* p10.



Gambar 3. Skematik rangkaian Display

menampilkan minggu menggunakan 2 buah panel P10.



Gambar 8. Pengujian Tampilan Minggu

Pengujian display informasi running teks, alat berhasil menampilkan waktu, tanggal, dan informasi tambahan seperti hari dan minggu ke dengan jelas dan teratur pada panel LED. Hasil pengujian menunjukkan bahwa tampilan teks berjalan pada *display* LED dapat dipercaya dalam menyediakan informasi yang akurat dan mudah dibaca, menjadikannya solusi efektif untuk aplikasi monitor waktu *real-time*. Pengujian *Running Teks* bertujuan juga untuk melihat apakah *display* dapat menampilkan data berupa teks yang dikirim dari android secara tepat. Pada pengujian display untuk running teks menggunakan 5 buah panel P10 sebagai media penampilnya.



Gambar 9. Pengujian Tampilan *Running Teks*

Pada pengujian terakhir ini diharapkan alat yang sudah dibuat dapat menampilkan seluruh tampilan dari mulai menampilkan waktu hingga menampilkan *running teks*. Secara keseluruhan, alat ini telah berhasil mengimplementasikan sistem informasi

running teks menggunakan mikrokontroler ESP8266 untuk menampilkan waktu, tanggal, tahun dan informasi tambahan seperti hari dan minggu. Serta dapat ditampilkan dengan jelas dan teratur pada LED panel P10 serta dapat memperbarui informasi teks berjalan yang diterima dari android secara dinamis untuk keandalan dan fleksibilitas sistem informasi secara *real time*.



Gambar 10. Pengujian Tampilan Keseluruhan alat

IV. SIMPULAN

Dari hasil penulisan yang sudah dikerjakan bahwa alat *display* informasi yang dibuat hasil yang didapatkan setelah melalui proses perancangan, perakitan setiap komponen serta pengujian dan analisis data pengujian yang didapatkan, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. *Display* yang sudah dibuat dapat berjalan dengan baik dengan menampilkan informasi waktu, hari, tanggal, bulan, dan tahun serta menampilkan informasi *running teks*.
2. *Display* alat dapat dikendalikan menggunakan aplikasi android sehingga lebih praktis
3. Pengujian sistem dilakukan dengan membandingkan tampilan waktu pada display dengan informasi waktu pada *smartphone* Android setiap 30 menit selama 24 jam. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem bekerja dengan baik

- dan mampu menampilkan informasi yang akurat sesuai dengan data waktu yang diperoleh dari RTC DS3231.
4. Sistem informasi yang diberikan akan ditampilkan selalu secara *up-to-date*, dikarenakan terkoneksi langsung pada jaringan internet.

V. RUJUKAN

- [1] D. M. Isnaeni, F. Mintarsih, F. Fahrianto, "Implementasi Algoritma Meeus Dalam Penentuan Waktu Shalat Dan Pencarian Masjid Terdekat," *Studia Informatika: Jurnal Sistem Informasi*, Vol. 8, No. 1, 2015.
- [2] D. Junaedi, A. Cholisana, "Perancangan Visual Display Informasi Dengan Pendekatan Ergonomi," *Jurnal PASTI (Penelitian dan Aplikasi Sistem dan Teknik Industri)* Vol. 15, No. 2, 2021.
- [3] H. Widya, H. Alam, J. Wiguna, S. Syafrawali, "Rancang Bangun Running Text Led Display Jadwal Waktu Sholat Berbasis Arduino Uno Sebagai Media Informasi," *JET (Journal of Electrical Technology)*, Vol. 5, No. 2, 2020.
- [4] M. J. D. Suryanto, T. Rijanto, "Rancang Bangun Alat Pencatat Biaya Pemakaian Energi Listrik Pada Kamar Kos Menggunakan Modul Global System For Mobile Communications (GSM) 800L Berbasis Arduino Uno," *Jurnal Teknik Elektro*, Vol. 8, No. 1, 2019.
- [5] D. Darmawan, S. Sudjadi, D. Darjat, "Rancang Bangun Jam Digital Waktu Shalat Berbasis Mikrokontroler At89S52," *TRANSIENT: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, Vol. 2, No. 2, 2013.
- [6] S. Edriati, L. Husnita, E. Amri, A. A. Samudra, N. Kamil, "Penggunaan MIT App Inventor untuk Merancang Aplikasi Pembelajaran Berbasis Android," *E-Dimas: Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat*, Vol. 12, No. 4, 2021,
- [7] Y. Efendi, "Internet Of Things (Iot) Sistem Pengendalian Lampu Menggunakan Raspberry Pi Berbasis Mobile," *Jurnal Ilmiah Ilmu Komputer*, Vol. 4, No. 1, 2018.

Strategi TNI Menghadapi Tindakan Insurgensi KKB Papua Dalam Memperkuat Pertahanan NKRI: Studi Pemanfaatan Drone Komersial

Suhirwan¹

¹Universitas Pertahanan

Korespondensi: suhirwan@idu.ac.id

Received: Juli 2023; Accepted: September 2023; Published: November 2023

DOI: <https://doi.org/10.30649/je.v5i2.125>

Abstrak

Penelitian ini mengkaji penggunaan drone komersial oleh Tentara Nasional Indonesia (TNI) dalam menghadapi insurgensi Kelompok Kriminal Bersenjata (KKB) di Papua, yang merupakan tantangan serius bagi keamanan nasional. Situasi keamanan yang memburuk di wilayah tersebut, ditunjukkan oleh lebih dari 100 insiden kekerasan pada tahun 2022, mendorong perlunya pendekatan inovatif dalam strategi pertahanan. Metode penelitian kualitatif digunakan untuk mengeksplorasi efektivitas dan strategi pemanfaatan drone komersial, dengan pengumpulan data melalui studi literatur dan analisis tematik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan drone komersial dapat meningkatkan akurasi intelijen hingga 30% dan mengurangi risiko bagi personel TNI, meskipun terdapat tantangan terkait jangkauan dan infrastruktur. Penelitian ini merekomendasikan pengembangan infrastruktur pendukung, pelatihan berkelanjutan, dan kolaborasi dengan lembaga teknologi untuk mengoptimalkan penggunaan drone. Temuan ini memberikan kontribusi strategis bagi TNI dalam menjaga kedaulatan NKRI dan menciptakan stabilitas di Papua.

Kata kunci: Drone komersial, TNI, KKB, Papua, Strategi pertahanan

Abstract

This study examines the use of commercial drones by the Indonesian National Armed Forces (TNI) in dealing with the Armed Criminal Group (KKB) insurgency in Papua, which is a serious challenge to national security. The deteriorating security situation in the region, indicated by more than 100 violent incidents in 2022, has prompted the need for an innovative approach in defense strategy. Qualitative research methods were used to explore the effectiveness and strategies of utilizing commercial drones, with data collection through literature studies and thematic analysis. The results of the study indicate that the use of commercial drones can increase intelligence accuracy by up to 30% and reduce risks to TNI personnel, despite challenges related to reach and infrastructure. This study recommends the development of supporting infrastructure, ongoing training, and collaboration with technology institutions to optimize the use of drones. These findings provide a strategic contribution to the TNI in maintaining the sovereignty of the Republic of Indonesia and creating stability in Papua.

Key words: *Commercial drones, TNI, KKB, Papua, Defense strategy*

I. PENDAHULUAN

1. Latar Belakang

Konflik dengan Kelompok Kriminal Bersenjata (KKB) di Papua terus mengancam stabilitas kawasan, dengan peningkatan insiden kekerasan mencapai 200 kasus (2018-2021) dan 100 kasus pada 2022 menurut data BNPT [1]. KKB tidak hanya mengganggu keamanan sipil tetapi juga berupaya memisahkan Papua dari NKRI [3], sehingga memerlukan strategi pertahanan inovatif yang menggabungkan pendekatan militer, sosial, ekonomi, dan politik untuk membangun kepercayaan masyarakat.

TNI menghadapi tantangan medan Papua yang sulit, namun penggunaan drone komersial terbukti efektif untuk operasi pengintaian, intelijen, dan serangan presisi dengan risiko personel minimal [4][5]. Integrasi drone dengan taktik konvensional meningkatkan efisiensi operasi hingga 30% [2], sekaligus mendukung misi kemanusiaan seperti distribusi logistik untuk memperkuat hubungan dengan masyarakat lokal.

Pendekatan holistik dengan drone tidak hanya memperkuat operasi militer tetapi juga mendukung pembangunan infrastruktur dan ekonomi Papua [2][5]. Kombinasi inovasi teknologi dan strategi pertahanan ini diharapkan menciptakan stabilitas jangka panjang serta menjaga kedaulatan NKRI di tengah dinamika konflik yang kompleks.

2. Literature Review

Penelitian terkini menunjukkan bahwa drone memiliki peran krusial dalam operasi militer, termasuk meningkatkan pengawasan, akurasi intelijen, dan efisiensi operasi sekaligus mengurangi risiko personel [6]. Namun,

implementasi-nya juga menghadapi tantangan seperti isu privasi, penyalahgunaan, dan pertimbangan etis, sehingga TNI perlu melakukan kajian mendalam sebelum mengadopsinya. Studi Stellar et al. (2023) menegaskan bahwa drone efektif dalam misi kontra-pemberontakan, seperti deteksi musuh dan dukungan tembakan presisi, yang dapat menjadi keunggulan strategis di Papua asalkan didukung pelatihan intensif bagi personel [7].

Drone telah berevolusi menjadi alat multifungsi dalam militer, mencakup pengintaian, serangan, logistik, dan pemantauan situasional. Laporan Rand Corporation (2022) menyebutkan lebih dari 30 negara mengintegrasikan drone sebagai bagian dari modernisasi militer, membuktikan keefektifannya dalam intelijen akurat dan serangan terarah [8]. Teknologi ini juga memungkinkan pengiriman logistik ke daerah terpencil, seperti medan berat di Papua, meski pengembangannya di Indonesia masih terkendala regulasi, pelatihan, dan ketersediaan peralatan [9][7].

Untuk memaksimalkan potensi drone, TNI perlu memperkuat aspek regulasi dan pelatihan guna memastikan penggunaan yang efektif dan sesuai protokol keamanan. Penelitian Stellar et al. (2023) menekankan bahwa peningkatan kapasitas operasional drone adalah kunci keberhasilan misi militer [7][9]. Dengan pendekatan terstruktur, drone dapat menjadi solusi berkelanjutan untuk menjaga stabilitas keamanan nasional, khususnya di wilayah rawan seperti Papua, sekaligus meminimalkan risiko penyalah-gunaan teknologi.

3. Gap Penelitian

Penelitian ini mengkaji pemanfaatan drone komersial oleh TNI

melawan KKB di Papua, guna mengisi gap literatur dengan analisis efektivitas dan strategi penggunaannya. Temuan diharapkan dapat menjadi dasar pengembangan kebijakan dan meningkatkan kapabilitas operasional TNI dalam menjaga kedaulatan negara.

4. Kebaharuan Penelitian

Penelitian ini mengkaji penggunaan drone komersial oleh TNI dalam operasi melawan KKB di Papua, dengan fokus pada tantangan geografis dan sosial unik wilayah tersebut. Hasilnya diharapkan dapat memberikan rekomendasi kebijakan untuk integrasi teknologi drone yang lebih efektif dalam strategi pertahanan nasional.

5. Rumusan Masalah dan Tujuan Penelitian

Penelitian ini menganalisis efektivitas drone komersial TNI dalam mengatasi tantangan medan dan keterbatasan sumber daya saat melawan KKB, sekaligus mengidentifikasi strategi penggunaannya untuk memperkuat kemampuan operasional dalam menjaga kedaulatan NKRI.

6. Manfaat Penelitian

Penelitian ini mengkaji pemanfaatan drone komersial untuk meningkatkan efektivitas operasional TNI dalam menghadapi KKB di Papua, dengan tujuan memperkuat strategi pertahanan dan kebijakan keamanan nasional melalui kemampuan pengawasan yang lebih unggul, sehingga berkontribusi pada penguatan kedaulatan NKRI.

II. METODE PENELITIAN

1. Pemilihan Drone Komersial dan Lokasi Penelitian

Penggunaan drone komersial dalam operasi TNI di Papua terbukti strategis untuk pengawasan dan pengumpulan intelijen menghadapi KKB, khususnya di medan terjal dan hutan lebat yang sulit dijangkau pasukan darat [5][9]. Data BNPT menunjukkan lebih dari 100 insiden KKB (2018-2022) memperkuat urgensi solusi teknologi ini, sementara studi LIPI menegaskan efektivitas drone dalam mengakses lokasi terpencil [10].

2. Jenis penelitian

Penelitian kualitatif deskriptif ini menganalisis penggunaan drone komersial oleh TNI dalam operasi melawan KKB di Papua, dengan fokus pada evaluasi efektivitasnya dalam mendukung misi pertahanan di lapangan.

3. Sumber Data

Penelitian ini menggunakan data sekunder berupa literatur, laporan penelitian, dan dokumen resmi - termasuk laporan Kementerian Pertahanan [11] untuk menganalisis strategi pertahanan TNI dalam pemanfaatan drone komersial melawan KKB di Papua, guna membangun landasan teoritis yang komprehensif.

4. Teknik Pengumpulan

Penelitian ini menggunakan metode studi literatur dengan menganalisis dokumen seperti buku, artikel akademis, dan laporan resmi termasuk studi International Crisis Group (2021) tentang konflik Papua [5], untuk mengkaji pemanfaatan drone militer dalam operasi TNI melawan KKB, guna memperoleh data akurat dan relevan.

5. Metode Analysis

Penelitian ini menggunakan analisis tematik dan kualitatif untuk meng-eksplorasi efektivitas drone militer, tantangan implementasi, dan dampaknya terhadap strategi pertahanan TNI di

Papua, guna menghasilkan wawasan kompre-hensif dari data literatur yang tersedia.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Pemanfaatan Drone Komersial dalam Strategi Pertahanan

Drone komersial menawarkan empat keunggulan utama bagi operasi TNI melawan KKB di Papua: (1) biaya lebih terjangkau dibanding drone militer, (2) kemampuan pengintaian canggih

melalui sensor dan perangkat lunak mutakhir untuk memantau gerakan musuh secara akurat, (3) fleksibilitas operasional dengan respons cepat dari jarak jauh tanpa perlu mengerahkan pasukan langsung, dan (4) peningkatan koordinasi pasukan melalui data real-time untuk pengambilan keputusan strategis. Keunggulan ini tidak hanya meningkatkan efektivitas operasi di medan sulit Papua, tetapi juga secara signifikan mengurangi risiko terhadap personel militer. Data penggunaan drone dalam operasi di Papua dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Penggunaan Drone dalam Operasi di Papua

Tahun	Jenis Operasi	Jumlah Drone Digunakan	Hasil Operasi
2021	Pengintai-an	5	Identifikasi lokasi persembunyian KKB
2022	Dukungan Logistik	3	Pengiriman obat-obatan ke pos terisolasi
2023	Pengawasan	10	Pemantauan pergerakan KKB secara <i>real time</i>

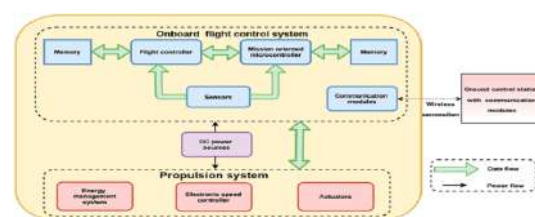
Sumber: [7]

Drone komersial memberikan solusi efektif bagi TNI dengan biaya lebih murah dan operasional lebih fleksibel dibanding drone militer. Teknologi ini meningkatkan kemampuan pengawasan real-time sekaligus mengurangi risiko personel di medan perang, terutama di wilayah konflik seperti Papua. Dengan pelatihan yang tepat, drone dapat mengoptimalkan pengambilan keputusan operasional dan memperkuat koordinasi pasukan, sehingga berkontribusi penting dalam menjaga keamanan nasional.

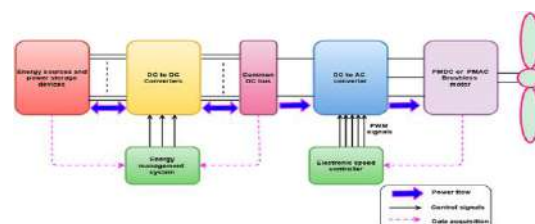
2. Diagram Blok dan Gambar Drone Komersial

Diagram blok UAV drone dapat dilihat pada Gambar 1. Sedangkan *electric-powered UAV propulsion system block diagram* dapat dilihat pada Gambar

2. Sementara itu, beberapa drone komersial yang digunakan untuk perang dapat dilihat pada Gambar 3 – Gambar 6.



Gambar 1. Diagram Blok UAV Drone [12]



Gambar 2. Electric-powered UAV propulsion system block diagram [12]



Gambar 3. Drone komersial DJI di Rusia dan Ukraina [24]



Gambar 4. Drone AeroScope komersial untuk perang oleh Rusia [13]



Gambar 5. Komunikasi drone AeroScope komersial untuk perang oleh Rusia [13]



Gambar 6. Drone Houthi [14]

Drone komersial memberikan keunggulan strategis bagi TNI dalam

pengawasan wilayah dan operasi presisi sambil meminimalkan risiko personel. Namun, implementasinya memerlukan regulasi ketat untuk menjamin keamanan data dan mencegah penyalahgunaan, serta pengembangan kemampuan antisipasi serangan drone musuh. Optimalisasi pemanfaatan drone harus seimbang dengan prinsip etika pertahanan dan hukum internasional untuk memastikan perlindungan kedaulatan negara tetap sejalan dengan penghormatan HAM.

3. Analisis Penggunaan Drone Komersial

Penggunaan drone komersial seperti DJI Phantom dan Mavic menawarkan solusi biaya efektif bagi TNI dalam operasi melawan KKB di Papua, dengan harga jauh lebih murah (kurang dari Rp20 juta) dibanding drone militer yang mencapai miliaran rupiah [15]. Meski memiliki keterbatasan teknologi seperti sensor inframerah dan kerentanan terhadap serangan musuh [16], pengalaman di zona konflik seperti Suriah membuktikan efektivitasnya dalam menyediakan intelijen real-time dengan biaya rendah [17]. Untuk memaksimalkan potensinya, TNI perlu mengembangkan strategi komprehensif yang memadukan keunggulan biaya drone komersial dengan mitigasi risiko operasional.

4. Strategi TNI dalam Menghadapi KKB Papua

Integrasi drone ke dalam operasi militer TNI di Papua telah membuktikan manfaat strategisnya, terutama untuk pengawasan di wilayah terpencil yang minim risiko personel. Menurut BNPT, teknologi ini meningkatkan deteksi ancaman dini [18], didukung kerja sama dengan perguruan tinggi dan industri untuk pengembangan sistem canggih serta pelatihan operator [19]. Kolaborasi

ini memperkuat kapabilitas teknis TNI sekaligus memenuhi kebutuhan operasional di medan sulit Papua.

Selain aspek militer, drone berperan dalam pendekatan sosial TNI melalui misi kemanusiaan seperti distribusi bantuan dan survei wilayah, yang membantu membangun kepercayaan masyarakat lokal [20]. Fleksibilitas drone dalam pemetaan dan

logistik medis juga memperluas kontribusi TNI dalam pembangunan Papua, menyeimbangkan strategi pertahanan dengan upaya kesejahteraan. Penggunaan Drone Dalam Strategi TNI Menghadapi KKB Di Papua dapat dilihat pada Tabel 2. Sedangkan peningkatan efektivitas misi operasi pengintaian TNI dalam penggunaan drone dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 2. Penggunaan drone dalam strategi TNI menghadapi KKB di Papua

Jenis Operasi	Jumlah Drone	Tujuan
Pengintaian	150	Memantau pergerakan KKB
Misi Kemanusiaan	75	Pengiriman bantuan ke daerah terpencil
Pelatihan dan Pengembangan	50	Meningkatkan keterampilan personel TNI
Kolaborasi dengan Universitas	30	Pengembangan teknologi drone

Sumber: [19], [20], [21], [22]

Tabel 3. Peningkatan efektivitas misi operasi pengintaian TNI dalam penggunaan drone

Tanggal	Jenis Operasi	Jumlah Drone	Hasil Pengintaian
Januari 2023	Pengintaian KKB	5	Deteksi lokasi persembunyian KKB
Maret 2023	Pemantauan Wilayah	7	Pemetaan rute penyelundupan
Mei 2023	Misi Kemanusiaan	3	Pengiriman bantuan ke daerah terpencil

Sumber: [19], [22]

TNI mengadopsi pendekatan holistik di Papua dengan memadukan teknologi modern seperti drone dan interaksi sosial untuk menciptakan keamanan berkelanjutan. Kerja sama dengan universitas dan pelatihan masyarakat lokal tidak hanya meningkatkan kapabilitas operasional, tetapi juga membangun kepercayaan dan partisipasi aktif warga dalam menjaga stabilitas wilayah. Strategi ini diharapkan dapat menjadi model resolusi konflik yang efektif sekaligus mendorong pembangunan berwawasan lingkungan di Papua.

5. Dampak Penggunaan Drone Terhadap Operasi Militer

Penggunaan drone dalam operasi militer TNI di Papua secara signifikan meningkatkan efisiensi pengintaian dengan akurasi 30% lebih tinggi dibanding metode tradisional, sekaligus meminimalkan risiko personel melalui pengumpulan data real-time tentang lokasi musuh [7][23]. Studi International Crisis Group (2022) menegaskan peran krusial drone dalam mengurangi korban jiwa pasukan dengan memberikan informasi intelijen yang presisi [6].

Keberhasilan implementasi drone bergantung pada kapasitas TNI dalam

mengintegrasikan data ke strategi operasional, yang memerlukan pelatihan intensif analisis informasi dan kolaborasi antarsatuan. Optimalisasi teknologi ini juga membutuhkan sinergi lintas divisi

untuk memastikan koordinasi taktis yang efektif dalam menghadapi ancaman KKB. Data dampak penggunaan drone terhadap operasi militer menghadapi KKB Papua dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Data dampak penggunaan drone terhadap operasi militer menghadapi KKB Papua

Aspek	Sebelum Penggunaan Drone	Sesudah Penggunaan Drone	Persentase Perubahan
Akurasi Intelijen	70%	90%	+30%
Jumlah Korban Jiwa	15	5	-66.67%
Kecepatan Pengambilan Keputusan	30 menit	10 menit	-66.67%
Kesiapan Prajurit (Pelatihan)	60%	85%	+25%

Sumber: [23]

Penggunaan drone dalam operasi TNI di Papua telah membuktikan keunggulannya sebagai alat pengintaian real-time yang meningkatkan akurasi hingga 30% dibanding metode konvensional (Rand Corporation, 2021). Teknologi ini tidak hanya mempercepat pengambilan keputusan taktis dalam situasi berisiko tinggi, tetapi juga secara signifikan mengurangi paparan personel terhadap ancaman langsung di medan operasi.

Keberhasilan optimalisasi drone memerlukan pelatihan intensif bagi

personel TNI dalam analisis data dan integrasi informasi ke dalam strategi operasional. Dengan penguasaan teknologi ini, drone dapat menjadi komponen kritis dalam strategi militer TNI untuk menghadapi KKB, sekaligus memastikan keselamatan pasukan dan efektivitas misi di Papua.

6. Tantangan dan Hambatan

Data Tantangan Dan Hambatan Penggunaan Drone Dalam Operasi Militer dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Data tantangan dan hambatan penggunaan drone dalam operasi militer

Tantangan dan Hambatan	Keterangan
Keterbatasan Jangkauan dan Daya Tahan Baterai	Drone komersial memiliki waktu terbang terbatas antara 20-30 menit, menghambat misi pengintaian yang lebih panjang.
Infrastruktur Logistik yang Kurang Memadai	Daerah terpencil seperti Papua mengalami kesulitan dalam distribusi dan pemeliharaan drone, memerlukan investasi tambahan.
Adaptasi KKB terhadap Teknologi Drone	KKB mulai mengembangkan strategi untuk melawan penggunaan drone, seperti alat anti-drone dan taktik gerilya

Sumber: [3], [21], [24]

Penggunaan drone komersial oleh TNI menghadapi tantangan teknis utama seperti keterbatasan daya tahan baterai (20-30 menit) dan jangkauan operasional yang menyulitkan misi pengintaian jangka panjang [9][24]. Solusi strategis diperlukan melalui pengembangan drone dengan kapasitas lebih besar atau sistem pergantian baterai yang efisien di lapangan.

Tantangan logistik di Papua meliputi infrastruktur terbatas dan kesulitan distribusi perawatan drone, memerlukan investasi tambahan dalam jaringan transportasi dan fasilitas pemeliharaan menurut Kementerian Pertahanan (2023) [21]. Kolaborasi dengan pemangku kepentingan lokal penting untuk mengoptimalkan pemanfaatan drone di medan operasi yang sulit.

IV. SIMPULAN

1. Ringkasan Temuan

Drone komersial menawarkan solusi efektif bagi TNI dengan biaya lebih rendah dan kemampuan pengawasan yang meningkatkan akurasi intelijen sekaligus mengurangi risiko personel. Meski menghadapi tantangan teknis, integrasi teknologi ini tetap menjadi langkah strategis penting untuk pengembangan pertahanan.

2. Rekomendasi

Implementasi drone TNI memerlukan pengembangan infrastruktur, pelatihan berkelanjutan, dan kolaborasi dengan pihak terkait untuk menciptakan teknologi yang lebih maju. Kebijakan strategis harus mencakup investasi teknologi dan penguatan hubungan masyarakat guna menciptakan stabilitas di wilayah konflik.

3. Implikasi untuk Penelitian Selanjutnya

Penelitian mendatang perlu mengkaji pengembangan teknologi drone yang lebih efisien, dampak sosial penggunaannya dalam militer, serta strategi adaptasi KKB untuk memahami dinamika konflik dan menyusun strategi penanganan yang lebih efektif.

V. RUJUKAN

- [1] Nurhidayat, Kusuma, A. Uksan, P. Widodo, "Menilik Politisasi Konflik Papua: Dilema Isu Keamanan Indonesia," *Jurnal Kewarganegaraan*, Vol. 7, No. 1, 2023.
- [2] A. P. S. Sipahutar, Y. Ali, M. A. Madjid, R. W. Putro, "Pengembangan Integrated Logistic Support (ILS) Meningkatkan Kesiapan Operasional Satuan Tugas TNI dalam Memelihara Kedaulatan Negara di Papua," Garut: CV. AKSARA GLOBAL AKADEMIA dan UNHAN RI PRESS, 2024.
- [3] M. N. Khozin, N. A. M. Sari "Police Efforts in Enforcing the Law Against Armed Criminal Groups in the Central Papua Region," *Jurnal Humaniorum*, Vol. 3, No. 1, 2025.
- [4] A. Fiqri, N. Kalnuana, H. Alfian, "Analisis Penggunaan Drone Untuk Meningkatkan Respons Cepat Dalam Penanganan Kecelakaan Pesawat Di Area Terpencil," *Jrikuf: Jurnal Riset Ilmu Kesehatan Umum dan Farmasi*, Vol. 2, No. 3, 2024.
- [5] R. Adityawarman, "Negara Dan Gerakan Papua Merdeka: Studi Tentang Operasi Militer Dalam Upaya Penyelesaian Separatisme Di Papua," Skripsi, Jakarta: UIN Syarif Hidayatullah Jakarta, 2024.
- [6] S. E. Wibowo, "Dari Sains Fiksi Ke Medan Perang: Realitas Dan Tantangan

- Pesawat Tanpa Awak Bersenjata Dengan Kecerdasan Buatan,” *Jurnal Teknik Mesin, Industri, Elektro Dan Informatika*, Vol. 3, No. 3, 2024.
- [7] S. N. Mella, F. G. C. Timur, P. Widodo, “Analisis Kapabilitas Efektif Guna Melaksanakan Operasi Militer Dalam Kontra Insurgensi Di Wilayah Papua,” *Jurnal Keamanan Nasional*, Vol. IX, No. 2, 2023.
- [8] R. A. Sencioko, A. Burhanuddin, “Balancing Power: Modernisasi Militer India Sebagai Respons Terhadap Kekuatan Tiongkok Di Indo-Pasifik,” *JPIH: Jurnal Penelitian Ilmu Humaniora*, Vol. 7, No. 6, 2024.
- [9] D. F. E. Putri, L. Y. Prakoso, E. S. Astaryadi, “Peran Teknologi Drone Dalam Meningkatkan Pertahanan Keamanan Laut Di Indonesia,” *Jurnal Sain Dan Teknologi ISTP*, Vol. 22, No. 01, 2024.
- [10] A. Helmana, “Kedudukan Militer Dalam Dinamika Konflik Di Papua,” Skripsi, Jakarta: UIN Syarif Hidayatullah Jakarta, 2024.
- [11] U. Azmi, Y. Ruyat, L. Adin Affandi, R. Maulad, A. Afpriyanto, “Kajian Teknologi Persenjataan Manpads Dengan Platform Kendaraan Operasional Maung 4x4 Dalam Menghadapi Ancaman Pertahanan Udara Indonesia,” *Nusantara: Jurnal Ilmu Pengetahuan Sosial*, Vol. 10, No. 6, 2023.
- [12] D. Joshi, D. Deb, S. M. Muyeen, “Comprehensive Review On Electric Propulsion System Of Unmanned Aerial Vehicles,” *Front Energy Res*, Vol. 10, 2022.
- [13] W. Sibarani, “Dimanfaatkan Rusia Gempur Ukraina, DJI Hentikan Penjualan Drone Aeroscope,” Diakses: 7 Juni 2025, Tersedia Pada: <https://Tekno.Sindonews.Com/Read/1039951/122/Dimanfaatkan-Rusia-Gempur-Ukraina-Dji-Hentikan-Penjualan-Drone-Aeroscope-1678107808>
- [14] M. D. Ridhotulloh, “Ketika Drone Houthi Seharga Rp31,4 Juta Diadang Rudal Rp31,4 Miliar,” Diakses: 7 Juni 2025. Tersedia Pada: <https://Inilahjateng.Com/Ketika-Drone-Houthi-Seharga-Rp314-Juta-Diadang-Rudal-Rp314-Miliar/>
- [15] Kompas.Com, “Berita Terkini Hari Ini, Kabar Akurat Terpercaya - Kompas.Com.” Diakses: 7 Juni 2025. Tersedia Pada: <https://Www.Kompas.Com/>
- [16] A. N. Rahmatika, “Strategi Pertahanan Negara Indonesia Dalam Menghadapi Ancaman Artificial Intelligence,” *Jurnal Peperangan Asimetris*, Vol. 8, No. 2, 2022.
- [17] T. N. Sitanggang, “Pengoperasian Drone Yang Melintasi Batas Negara Lain Menurut Hukum Internasional,” *Lex Crimen*, Vol. 12, No. 5, 2024.
- [18] T. D. Maharani, A. Sarjito, C. S. Marnani, “Penerapan Teknologi Blockchain Dalam Manajemen Logistik Pertahanan,” *JAMI; Jurnal Ahli Muda Indonesia*, Vol. 4, No. 2, 2023.
- [19] “Detikcom - Informasi Berita Terkini Dan Terbaru Hari Ini.” Diakses: 30 Mei 2025, Tersedia Pada: <https://Www.Detik.Com/>
- [20] A. A. Faturahman, “Grenades Allegedly Dropped by TNI Drones in Papua Conflict, Says TPNPB-OPM,” Diakses: 7 Juni 2025, Tersedia Pada: <https://Www.Asia-PacificSolidarity.Net/News/2025-05-28/Grenades-Allegedly-Dropped-Tni-Drones-Papua-Conflict-Says-Tpnpb-Opm.Html>

- [21] Kemhan Ri, “Kementerian Pertahanan Republik Indonesia.” Diakses: 7 Juni 2025. [Daring]. Tersedia Pada: <https://www.kemhan.go.id/> [Pertahanan-Unhan-Ri-Selenggarakan-Seminar-Nasional-Inovasi-Teknologi-Drone-Untuk-Mendukung-Modernisasi-Pertahanan-Negara/](https://www.kemhan.go.id/pertahanan-unhan-ri-selenggarakan-seminar-nasional-inovasi-teknologi-drone-untuk-mendukung-modernisasi-pertahanan-negara/)
- [22] FTM UNHAN, “Fakultas Sains Dan Teknologi Pertahanan UNHAN RI Selenggarakan Seminar Nasional: Inovasi Teknologi Drone Untuk Mendukung Modernisasi Pertahanan Negara,” Diakses: 7 Juni 2025, Tersedia Pada: <https://ftm.idu.ac.id/index.php/2024/10/24/fakultas-sains-dan-teknologi->
- [23] Rand, “Rand Provides Objective Research Services And Public Policy Analysis,” Diakses: 30 Mei 2025, Tersedia Pada: <https://www.rand.org/>
- [24] Dronedj, “Drone News And Views Covering DJI, Skydio, Parrot And More,” Diakses: 30 Mei 2025, Tersedia Pada: <https://dronedj.com/>

Direct Torque Control Berbasis Adaptive Neuro Fuzzy Inference System Untuk Pengendali Kecepatan Motor Induksi

Tommy Nana Pradana¹

¹PT. Amythas

Korespondensi: tommynana@gmail.com

Received: Juli 2023; Accepted: September 2023; Published: November 2023

DOI: <https://doi.org/10.30649/je.v5i2.126>

Abstrak

Motor induksi merupakan motor yang banyak digunakan pada dunia industri, disamping harga yang relatif murah, perawatan yang mudah. motor ini memiliki kemampuan yang baik pada kecepatan putar. Kelemahan motor ini adalah pada saat terjadinya perubahan torsi beban, kecepatan motor akan berubah. Dalam penulisan Skripsi ini dibahas tentang sistem pengaturan kecepatan motor induksi dengan metode DTC (*Direct Torque Control*) yang dapat memberikan respon yang cepat pada saat terjadinya perubahan torsi beban sehingga motor tetap pada kedudukan *steady state* dan akan kembali ke kedudukan *setpoint* dengan cepat. Untuk memperoleh performansi pengaturan kecepatan motor induksi tiga fasa dengan metode DTC (*direct torque control*) memerlukan sistem kontrol yang baik, artinya sistem kontrol yang dapat mengikuti perubahan kecepatan (*setpoint*) dengan cepat. Maka dari itu pengaturan kecepatan motor induksi tiga fasa dengan menggunakan metode DTC (*direct torque control*) dikembangkan dengan menggunakan kontrol kecerdasan Anfis (*Adaptive neuro Fuzzy Inference system*). Hasil simulasi dengan simulink menunjukkan bahwa dengan kontroler Anfis pengaturan kecepatan motor induksi tidak berbeban saat start terjadi overshoot 0.7%, rise time 1 detik dan settling time 1.1 detik untuk kecepatan referensi 1800 rpm, dan saat di beri beban 20Nm terjadi overshoot 0.27% pada kecepatan referensi 1500rpm. Dengan menggunakan *Direct Torque Control* (DTC) berbasis *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS) mampu untuk mengikuti kecepatan referensi yang dinamis dengan baik serta dapat menekan ripple sampai ke derajat yang sangat rendah.

Kata kunci: Motor Induksi, DTC (*Direct Torque Control*), ANFIS (*Adaptive Neuro Fuzzy Inference System*)

Abstract

Induction motors are the motors are widely used in the industrial world, in addition to relatively low prices, easy maintenance. This motor has a good Traffic on rotational speed. The weakness of this motor is at that point in the load torque, the motor speed will change. In writing this thesis discussed the induction motor speed control system with the method of DTC (*Direct Torque Control*) that can provide rapid response in the event of changes in the load torque so the motor stays on steady footing state and will return position at setpoint quickly. To

obtain performance speed control of three phase induction motors with the method of DTC (direct torque control) requires a good control system, meaning that the control system that can follow changes in speed (setpoint) quickly. Thus the speed control of three-phase induction motor using DTC (direct torque control) was developed using intelligence control ANFIS (Adaptive Neuro Fuzzy Inference System). The results of the simulation with Simulink shows that the controller ANFIS control induction motor speed does not load at start overshoot 0.7%, rise time of 1 second and settling time 1.1 seconds for a speed reference 1800 rpm, and when given the burden of 20nm overshooting 12:27% on the speed reference 1500rpm. By using Direct Torque Control (DTC) based Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) were able to keep pace with the dynamic reference well and can suppress ripple down to a very low level.

Key words: Induction Motor, DTC (Direct Torque Control), ANFIS (Adaptive Neuro Fuzzy Inference System)

I. PENDAHULUAN

Motor DC adalah motor yang paling ideal untuk dipakai dalam pengemudian elektrik, karena motor tersebut adalah motor yang linier dan pengaturan kecepatannya mudah. Kelemahan dari motor dc adalah harganya cukup mahal, ukurannya relative besar, dan adanya komutator dan sikat-sikat dalam motor, memerlukan suatu pemeliharaan yang rutin dan selama pemeliharaan operasi system terhenti. Sedangkan motor induksi harganya murah, kokoh dan bebas dari pemeliharaan. Kelemahan motor induksi adalah bahwa motor induksi adalah motor yang tidak linier, dan metoda untuk mengatur kecepatan adalah rumit, disamping itu diperlukan suatu konverter yang akan menimbulkan harmonisa.

Dengan perkembangan kemajuan teknologi dibidang Mikrokontroler, Mikrokomputer, Devices, Teori kontrol, dan *Artificial Inteligence* (AI) memberikan pengaruh dalam operasi dan kinerja dari pengemudian elektrik sehingga motor induksi dapat menggantikan fungsi motor DC di industry [4]. Motor induksi umumnya dioperasikan untuk kecepatan tetap. Berdasarkan survey bahwa bila motor

dioperasikan dengan kecepatan variabel, maka motor akan mengkonsumsi daya listrik yang kecil. Karena itu motor ini banyak dipakai dengan kecepatan variabel. Untuk mengatur kecepatan motor induksi pada kecepatan tetap dan kecepatan variabel diperlukan frekuensi atau torka. Konverter daya difungsikan untuk mengatur parameter - parameter motor induksi, sehingga dengan mengatur parameter motor induksi akan dapat mempengaruhi kecepatan putar motor. Pengaturan kecepatan motor induksi menggunakan metoda *Direct Torque Control* berbasis *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System*.

Ada banyak metode untuk pengaturan kecepatan motor induksi. Diantara kontrol tersebut adalah kontrol tegangan / frekuensi (v/f) kontrol ini paling sederhana, karena banyak digunakan di industri. Dan juga dikenal sebagai kontrol skalar yang menggunakan metode antara tegangan / frekuensi konstan Kontrol ini digunakan tanpa umpan balik kecepatan. Menurut pendapat *Casadei, 2006* kelemahan dari kontrol ini belum mencapai nilai yang akurat pada respon kecepatan, dimana kontrol fluks stator dan torka masih menggunakan kontrol tidak langsung. Vektor Kontrol, untuk jenis ini ada loops kontrol untuk mengontrol torka dan fluks.

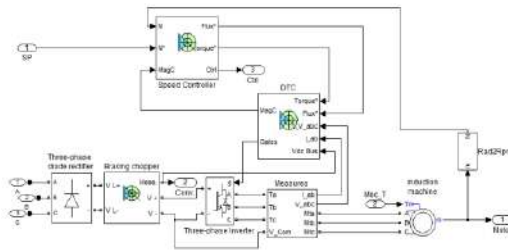
Yang umum digunakan adalah transformasi vektor.

Dalam skripsi ini dirumuskan suatu penyelesaian untuk mendapatkan estimasi kecepatan pada motor induksi tiga fasa dengan respon dinamis yang cepat. Dengan menggunakan Metode Direct Torque Control untuk mengontrol secara langsung fluks stator dan torsi. Hasil simulasi dengan simulink menunjukkan bahwa dengan kontroler Anfis pengaturan kecepatan motor induksi tidak berbeban saat start terjadi overshoot 0.7%, rise time 1 detik dan settling time 1.1 detik untuk kecepatan referensi 1800 rpm, dan saat di beri beban 20Nm terjadi overshoot 0.27% pada kecepatan referensi 1500Rpm. Dengan menggunakan *Direct Torque Control* (DTC) berbasis *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS) mampu untuk mengikuti kecepatan referensi yang dinamis dengan baik serta dapat menekan ripple sampai ke derajat yang sangat rendah.

II. METODE PENELITIAN

1. Pemodelan Motor Induksi Tiga Fasa

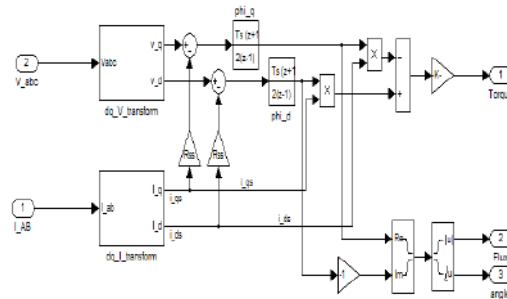
Model $d-q$ motor induksi merupakan dasar pengaturan kecepatan motor induksi dengan metode transformasi vektor. Sistem koordinat tiga fasa statis ditransformasikan ke koordinat dinamis $d-q$, koordinat ini berputar mengikuti kecepatan sinkron motor atau medan putar stator. Dengan transformasi ini didapatkan model-model motor induksi yang lebih sederhana, model tegangan dan arus pada persamaan ini merupakan variabel dengan referensi koordinat $d-q$, transformasi tegangan tiga fasa ke koordinat $d-q$ menggunakan transformasi part. Sedangkan bentuk pemodelan motor induksi dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Pemodelan ANFIS berbasis *Direct Torque Control* untuk kecepatan motor induksi

2. Perancangan *Direct Torque Control*

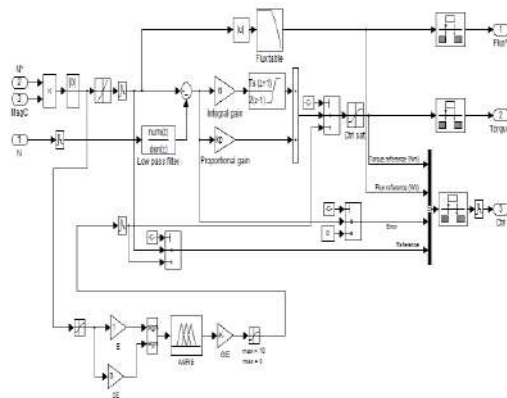
Pada metode DTC kontrol torsi motor induksi di dapat dari i_{sq}^e , sedangkan fluks rotor dikontrol melalui i_{sq}^e . Sedangkan untuk mendapatkan frekuensi dari vector fluks rotor, di dapat dengan menambahkan frekuensi dari vektor fluks rotor, didapat dengan menambahkan frekuensi slip (ω_{sl}) kepada kecepatan shaft (ω_r). Kecepatan shaft didapat dari sensor kecepatan yang dipasang pada motor induksi. merupakan perhitungan aliran arus motor induksi untuk mendapatkan sinyal perintah arus medan dan arus torsi sebagai trigger pada inverter. Blok Field Control adalah blok dimana terjadi perhitungan i_{ds}^* , i_{qs}^* dan θ . penghitung Arus torsi ini dapat dimodelkan seperti pada Gambar 2 berikut ini.



Gambar 2. Model Penghitung Torsi

3. Perancangan Kontroler ANFIS

Pada penelitian ini, sinyal kontrol yang digunakan dalam blok rangkaian simulasi *Speed Controller* berupa ANFIS. Kontroler yang digunakan untuk mengontrol kecepatan (Rpm). Maka bisa dikatakan pengaturan kecepatan dalam skripsi ini ditentukan input serta *train data* untuk menentukan besarnya *set poin* dan kontroler ANFIS yang mempunyai *set poin* dan keluaran *feed-back* dengan satu keluaran sehingga akan menuju nol (*error stady state* minimal). Dengan demikian kontroler ANFIS dapat dimodelkan seperti Gambar 3 berikut.



Gambar 3. Perancangan model *speed control* menggunakan ANFIS

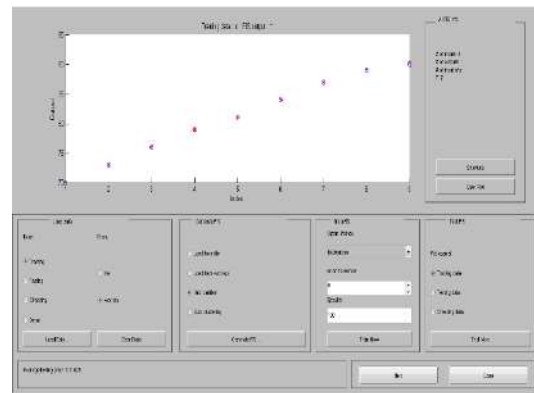
Setelah proses *fuzzification*, keluaran dari *fuzzification* akan di training dulu dengan menggunakan ANFIS editor dengan mengetikkan comand “anfisedit” pada comand prom matlab setelah itu hasil *fuzzification* yang telah di train tadi masuk ke proses *Inference Mechanisme* dengan mempertimbangkan *rule base* serta *membership function* yang secara otomatis terbuat setelah melakukan train data. Setelah itu diproses di *defuzzyfication* untuk merubah *variable fuzzy* ke bentuk keluaran akhir dalam sistem ini yaitu kecepatan (*rpm*). *Rule base* yang digunakan dalam kontroler ANFIS tergantung dari training datanya.

Tabel 1 adalah tabel dari train data yang digunakan.

Tabel 1. Training data pada ANFIS

Input 1 (error)	Input 2 (de error)	Ouput (Wref)
-50	10	70
-45	15	73
-40	20	76
-35	25	79
-30	30	81
-25	35	84
-20	40	87
-15	45	89
-10	50	90

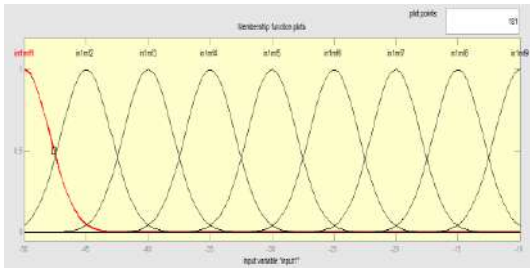
Data train pada Tabel 1 akan di masukkan ke dalam ANFIS *editor windows*. Gambar 4 adalah hasil train datanya.



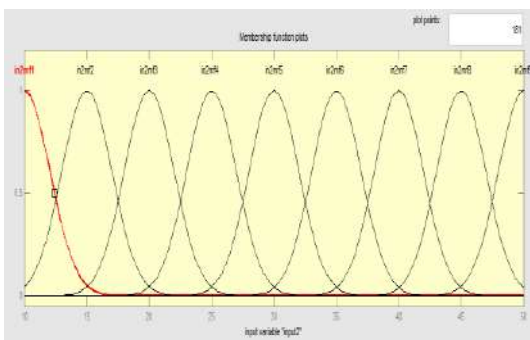
Gambar 4. Train data dengan ANFIS *editor window*

Gambar 5 di bawah ini adalah *membership function* yang terbentuk setelah training data pada ANFIS yang digunakan pada sistem ini. Pada gambar 6 merupakan *membership function* dari masukan (*input*) untuk ANFIS yaitu berupa *error*. Pada Gambar 6 tersebut terdapat sembilan *membership function*. Pada *membership function error*

memiliki batas antara -50 sampai dengan -10 dan menggunakan tipe gbellmf.

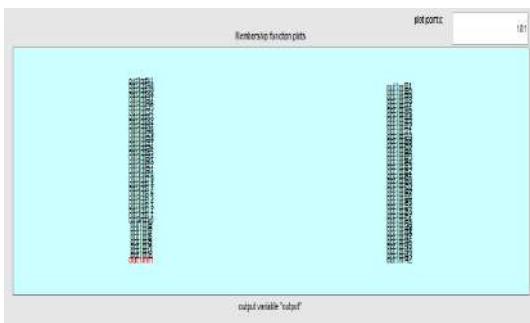


Gambar 5. Membership Function pada input1



Gambar 6. Membership Function pada input2

Pada Gambar 6 merupakan *membership function* dari masukan (*input*) untuk ANFIS yaitu *derivative error*. Pada Gambar 6 tersebut juga terdapat sembilan *membership function*. Pada *membership function derivative error* memiliki batas antara 10 sampai dengan 50 dan menggunakan tipe gbellmf. Sedangkan Derajat keanggotaan keluaran dapat dilihat pada Gambar 7.



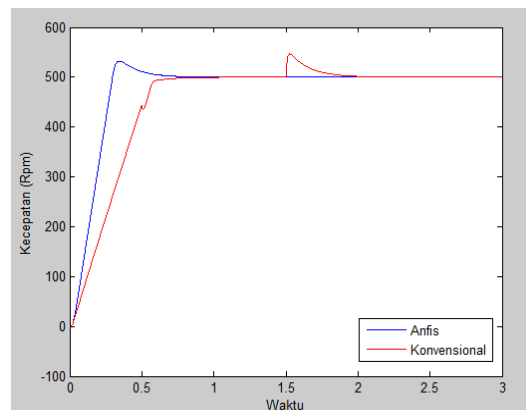
Gambar 7. Derajat keanggotaan keluaran

Pada Gambar 7 merupakan urutan *membership function* dari keluaran (*output*) untuk ANFIS berbeda dari *fuzzy* yang menggunakan metode mamdani untuk *output* nya yaitu mengatur sendiri sedangkan pada ANFIS metode yang digunakan yaitu sugeno dimana nilai *output* di dapat pengaturan *rule base* pada *input* 1 dan *input* 2 yang akan membentuk *output*. Pada Gambar 7 tersebut juga terdapat 49 *membership function*. Pada *membership function Output* terbentuk dari nilai *membership function input* 1 dan *input* 2 yang secara otomatis dibentuk oleh *rule editor*.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Pengujian Simulasi Respon Kecepatan Tanpa Beban

Pengujian ini untuk mengetahui respon kecepatan terhadap sinyal referensi yang diberikan. Pada pengujian ini diberikan sinyal referensi 500 rpm, 1000 rpm, 1800 rpm dan torsi tanpa beban. Respon kecepatan 500 rpm keadaan tanpa beban dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Respon kecepatan 500 rpm keadaan tanpa beban

Pada kondisi ini respon diuji pada kedudukan setpoint (kecepatan referensi " ω_{ref} "). Pada tahap pertama sistem diuji

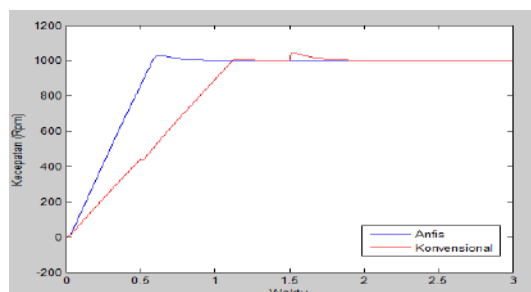
pada kedudukan setpoint 500 rpm, dengan waktu sampling dari 0 detik sampai 1,5 detik tanpa beban (beban nol). Tabel 2 adalah tabel hasil Pengujiannya.

Tabel 2. Perbandingan kecepatan tanpa beban set poin 500 rpm

Kecepatan 500rpm	Anfis	Konvensional
<i>Overshoot</i>	0,2 %	0,5 %
<i>Rise time</i>	0,38	0,62
<i>Setling time</i>	0,39	0,64

Pada Kontoler Anfis menunjukkan *Overshoot* pada kecepatan 501.1 (rpm) adalah 0.2% , waktu pencapaian setpoint (*Rise time*) adalah 0.38 detik dan *Setling time* 0.39 detik. Sedangkan pada kontrol konvensional, *overshoot* yang di dapat adalah 0.5% ,waktu pencapaian setpoint (*rise time*) yaitu 0.62 detik dan setling time 0.64 detik.

Selanjutnya kita akan menguji pada respon kecepatan 1000 rpm tanpa beban. Pada kondisi ini respon diuji pada kedudukan setpoint (kecepatan referensi " ω -ref"). Pada tahap pertama sistem diuji pada kedudukan setpoint 1000 rpm, dengan waktu sampling dari 0 detik sampai 1,5 detik tanpa beban (beban nol). Respon kecepatan 1000rpm keadaan tanpa beban dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Respon kecepatan 1000 rpm keadaan tanpa beban

Hasil Pengujian pada Gambar 9 dapat dianalisis pada tabel 3 berikut.

Tabel 3. Perbandingan kecepatan tanpa beban set poin 1000 rpm

Kecepatan 1000rpm	Anfis	Konvensional
<i>Overshoot</i>	0,7%	1,0%
<i>Rise time</i>	0,65	1,4
<i>Setling time</i>	0,67	1,5

Pada Kontoler ANFIS menunjukkan *Overshoot* pada kecepatan 1002 (rpm) adalah 0,7% , waktu pencapaian setpoint (*Rise time*) adalah 0,65 detik dan *Setling time* 0,67 detik. Sedangkan pada kontrol konvensional, *overshoot* yang di dapat adalah 1,0% ,waktu pencapaian setpoint (*rise time*) yaitu 1,4 detik dan setling time 1,5 detik.

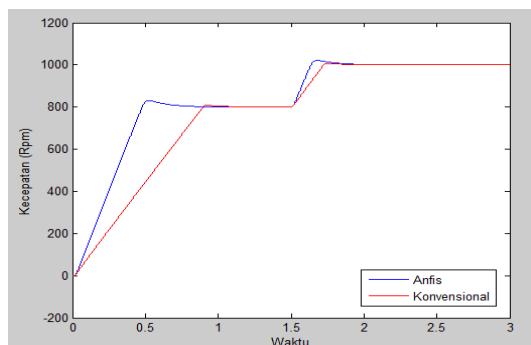
2. Pengujian Respon Kecepatan Berubah

Pada kondisi ini, kedua kontroler diuji melalui dua tahap kecepatan, atau perubahan kedudukan setpoint (kecepatan referensi " ω -ref").

- Tahap pertama : setpoint awal ditetapkan menjadi 800 rpm, dan setelah simulasinya berjalan 1,5 detik (dalam kondisi steady state) setpoint dinaikkan menjadi 1000 rpm.
- Tahap kedua : setpoint awal ditetapkan 1200 rpm, dan setelah simulasi berjalan 0,7 detik (dalam kondisi steady state) set point diturunkan menjadi 800 rpm. Simulasi dimulai dari kecepatan awal motor 0 rpm hingga mencapai kedudukan setpoint, dengan waktu sampling dari 0 sampai 1,2 detik tanpa beban (beban nol).

Tahap Pertama Perubahan kecepatan 800rpm ke 1000rpm. Hasil pengujian kedua kontroler dari kecepatan motor induksi untuk tahap pertama (perubahan kecepatan dari 800 rpm menjadi 1000 rpm) ditunjukkan pada Gambar 10. Sedangkan respon sistem

yang diamati dan dianalisis hanya saat setpoint 800 rpm dari kedudukan awal 0 rpm pada Tabel 4.

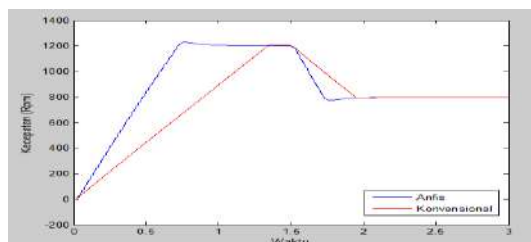


Gambar 10. Simulasi perubahan kecepatan dari 800 rpm ke 1000 rpm

Tabel 4. Perbandingan kecepatan beruban 800-1000 rpm

Tahap Pertama 800rpm-1000rpm	Anfis	Konvensional
<i>Overshoot</i>	0,2%	0,4%
<i>Rise time</i>	0,49 detik	0,89 detik
<i>Settling time</i>	0,53 detik	1,5 detik

Sedangkan hasil pengujian pada kedua kontroler kecepatan motor induksi untuk tahap kedua (perubahan kecepatan dari 1200 rpm menjadi 800 rpm) ditunjukkan pada Gambar 11. Sementara itu respon sistem yang diamati dan dianalisis hanya saat setpoint 800 rpm dari kedudukan awal 1200 rpm pada Tabel 5.



Gambar 11. Simulasi perubahan kecepatan dari 1200 rpm ke 800 rpm

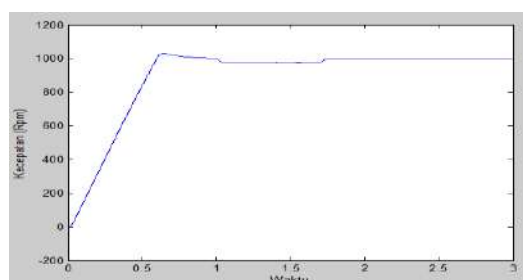
Tabel 5. Perbandingan kecepatan beruban 1200-800 rpm

Tahap kedua 1200rpm-800rpm	Anfis	Konvensional
<i>Undershoot</i>	0,12%	0,21%
<i>Rise time</i>	0,69 detik	1,37 detik
<i>Settling time</i>	1,6 detik	2 detik

Berdasarkan hasil pengujian dari simulasi kecepatan motor induksi seperti terlihat pada Gambar 10 dan Gambar 11, serta dari pengujian terhadap perubahan setpoint hingga mencapai titik maksimum. Dapat kita analisa bahwa kontrol ANFIS yang dikembangkan ini memiliki kemampuan mengontrol kecepatan terhadap perubahan kecepatan atau perubahan setpoint dengan baik, dengan waktu pencapaian setpoint dan *settling time* relatif cepat.

3. Pengujian Respon Kecepatan Pada Kondisi Berbeban

Simulasi kondisi berbeban 19Nm (beban sesaat) dapat dilihat pada Gambar 12.



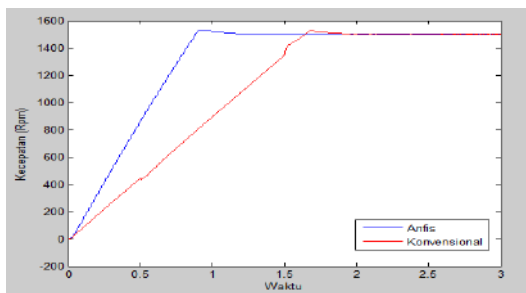
Gambar 12. Simulasi kondisi berbeban 19Nm (beban sesaat)

Pada pembebanan sesaat ini, kondisi yang diamati dan dianalisa adalah respon sistem pada saat torsi beban maksimum (TL = 19 N.m) mulai dimasukkan, yaitu pada $t = 1$ detik hingga sistem kembali kekedudukan setpoint

(stabil). Waktu yang diberikan pada pembebanan sesaat selama 1 detik dan hasil kemudian beban akan dilepas atau dikembalikan pada posisi 0 N.m, sehingga sistem akan berkerja pada kondisi tanpa beban.

4. Pengujian Simulasi Respon Kecepatan dengan Torsi Beban Tetap

Pengujian berikutnya adalah pengujian dengan memberikan torsi beban (TL) tetap pada pengujian ini akan diberikan tetap sebesar 20Nm dan sistem harus bisa mempertahankan kecepatan sesuai dengan sinyal referensi yang diberikan. Pada pengujian ini akan diberikan sinyal referensi konstan 1500 rpm. Hasil simulasi dapat dilihat Pada Gambar 13.



Gambar 13. Respon kecepatan dengan beban tetap sebesar 20Nm

Pada Gambar 13 terlihat bahwa keluaran berupa kecepatan putaran rotor dapat mengikuti sinyal referensi yang diberikan walaupun masih terjadi penurunan kecepatan pada daerah keadaan tunak (*steady state*). Kemudian dibuat perbandingan kesalahan keadaan tunak terhadap perubahan torsi beban (TL). Dari hasil tersebut dapat dihitung persen *error* dari pembacaan sistem seperti berikut.

- Kontroller ANFIS

$$\%error = \frac{Aktual - Nominal}{Aktual} \times 100\%$$

$$\%error = \frac{1510 - 1500}{1510} \times 100\%$$

$$\%error = 0,006\%$$

- Kontroller konvensional

$$\%error = \frac{Aktual - Nominal}{Aktual} \times 100\%$$

$$\%error = \frac{1525 - 1500}{1525} \times 100\%$$

$$\%error = 0,016\%$$

Hasil Perbandingan kecepatan dengan beban tetap dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Perbandingan kecepatan dengan beban tetap

Setpoint (1500rpm)	TL (Nm)	Erort (%)
Kontroler Anfis	20	0.006
Kontroler Konvensional	20	0.016

IV. SIMPULAN

1. Simpulan

Dari hasil pengujian simulasi kecepatan motor induksi seperti terlihat pada Gambar 8 dan Gambar 9, hasil kecepatan tanpa beban pada kecepatan 500rpm terjadi *overshoot* 0,2%, *risetime* 0,38 detik, *setling time* 0,39 detik, dan pada kecepatan 1000rpm terjadi *overshoot* 0,7%, *risetime* 0,65 detik, *setling time* 0,67 detik. serta dari pengujian terhadap perubahan setpoint hingga mencapai titik maksimum, yaitu 1800rpm terjadi *overshoot* 0,7%, *risetime* 1 detik, *setling time* 1 detik seperti ditampilkan pada Gambar 10 dan Gambar

11 serta Tabel 4 dan Tabel 5, dapat kita simpulkan bahwa kontrol logika ANFIS yang dikembangkan ini memiliki kemampuan mengontrol terhadap perubahan kecepatan atau perubahan setpoint dengan baik, dengan waktu pencapaian *setpoint* dan *settling time* relative cepat.

Sedangkan hasil simulasi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 13 bertujuan untuk menguji ketangguhan sistem kontrol yang dirancang terhadap kondisi pembebanan secara permanen (tetap). Dalam hal ini, kondisi beban yang diamati dan dianalisis adalah respon sistem pada saat torsi beban sebesar 20 N.m dengan respon kecepatan yang digunakan 1500 rpm memiliki kesalahan keadaan tunak saat terjadi *overshoot* 0,27%. Dari hasil yang ditampilkan pada Gambar 20, kita dapat melihat respon sistem tetap setabil.

2. Saran

Salah satu kelemahan dari penggunaan kontroler logika ANFIS yang dikembangkan adalah dalam menentukan aturan dasar ANFIS (*rule base*) dan parameter sistem menggunakan metode coba-coba (*heuristic*), sehingga bila terjadi kondisi perubahan sistem, perlu diadakan penyesuaian *rule base*. Untuk mengatasi kelemahan ini, maka perlu dikembangkan lagi dengan menggunakan metode kontroler lain yang lebih handal.

V. RUJUKAN

- [1] A. Kurniawan, "Pengaturan kecepatan motor induksi tiga fasa dengan metode field-oriented control menggunakan kontrol logika fuzzy," Skripsi, Surabaya: Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik dan Ilmu Kelautan Universitas Hang Tuah, 2002.
- [2] B. Y. Dewantara, "Desain SVPWM Inverter Driver Sebagai Pengendali Kecepatan Motor 3 Fasa Berbasis Fuzzy Logic," Skripsi, Surabaya: Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik dan Ilmu Kelautan Universitas Hang Tuah, 2014.
- [3] D. Casadei, G. Serra, F. Profumo, A. Tani, "FOC and DTC: two variable scheme for induction motors torque control, *IEEE Transactions On Power Electronics*, Vol. 17, No. 5, 2002.
- [4] D. Casadei, G. Serra, A. Tani, L. Zarri, "Assessment of direct torque control for induction motor drives", *Buletin of the Polish academy of science tech. sciences*, Vol. 54, No.3, 2006.
- [5] E. Wahjono, S. Soebagio, "Fuzzy Logic Direct Torque Control Untuk Motor Induksi Yang Digunakan Pada Kendaraan Listrik (Electric Vehicle)," *Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi (SNATI)*, 2009
- [6] Isdiyarto, "Dampak Perubahan Putaran Terhadap Unjuk Kerja Motor Induksi 3 Fasa Jenis Rotor Sangkar," *Jurnal Kompetensi Teknik*, Vol. 1, No. 2, 2010.
- [7] Jyh-S. R Jang, ANFIS: Adaptive-network-based Fuzzy Inference System. *IEEE Transactions on Systems, Mans and Cybernetics*, Vol. 23, No. 3, 1993.
- [8] Jyh-S. R Jang, "Neuro-Fuzzy Modeling: Architectures, Analyses, and Applications," Disertasi, Berkeley: University of California, 1992.
- [9] M. A. Arifin, "Perancangan Kontrol Logika Adaptif Fuzzy Dalam Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa," Skripsi, Surabaya: Universitas Hang Tuah, 2013.
- [10] I. D. P. Karyatanti, B. Y. Dewantara, M. R. Hardiansyah, "Rancang Bangun Pengaturan Kecepatan Motor DC Menggunakan Metode Fuzzy Gain Scheduling PID Control," *ALINIER*:

Journal of Artificial Intelligence & Applications, Vol. 5, No. 1, 2024.

Voltage and Application, Vol. 2, No. 2, 2021.

- [11] A. I. Ridhatullah, A. Joret, I. D. P. Karyatanti, A. Ponniran, "Three-Phase Induction Motor Speed Estimation Using Recurrent Neural Network," *Journal of Electronic*
- [12] A. Rusmanegara, I. D. P. Karyatanti, "Simulasi Rancang Bangun Gridside Converter pada Double Fed Induction Generator Menggunakan Fuzzy Logic," *CYCLOTRON*, Vol. 4, No. 2, 2021.