

**ANALISA SISTEM KESEIMBANGAN VERTIKAL PADA WAHANA
BAWAH AIR MENGGUNAKAN METODE ARTIFICIAL NEURAL
NETWORK (ANN)**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Melengkapi Salah Satu Syarat

Memperoleh Gelar Sarjana Komputer



OLEH :

Rahman Nul Hakim

09011281924033

JURUSAN SISTEM KOMPUTER

FAKULTAS ILMU KOMPUTER

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2024

LEMBAR PENGESAHAN

**ANALISA SISTEM KESEIMBANGAN VERTIKAL PADA WAHANA
BAWAH AIR MENGGUNAKAN METODE ARTIFICIAL NEURAL
NETWORK (ANN)**

TUGAS AKHIR

**Program Studi Sistem Komputer
Jenjang S1**

Oleh

**Rahman Nal Hakim
09011281924033**

Indralaya, 4 Agustus 2024

Mengetahui,

Ketua Jurusan Sistem Komputer



Dr. Ir. Sukemi, M.T.

NIP. 196612032006041001

Pembimbing Tugas Akhir

Dr. Ahmad Zarkasi, M.T.

NIP.197908252023211007

HALAMAN PERSETUJUAN

Telah diuji dan lulus pada:

Hari : Kamis

Tanggal : 25 Juli 2024


Tim Penguji :

1. Ketua Sidang : Aditya P. P. Prasctyo, MT.
2. Sekretaris Sidang : Sarmayanta Sembiring, M.T.
3. Penguji Sidang : Kemahyanto Exaudi, M.T.
4. Pembibing : Dr. Ahmad Zarkasi, M.T.



Mengetahui, 2/8/24
Ketua Jurusan Sistem Komputer




Dr. Ir. H. Sukemi, M.T.
NIP. 196612032006041001

HALAMAN PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Rahman Nul Hakim

NIM : 09011281924033

Judul : ANALISA SISTEM KESEIMBANGAN VERTIKAL PADA WAHANA BAWAH AIR MENGGUNAKAN METODE ARTIFICIAL NEURAL NETWORK (ANN)

Hasil pengecekan software Ithenticate/Turnitin : 10%

Menyatakan bahwa Laporan Skripsi merupakan hasil karya sendiri dan bukan hasil penjiplakan atau plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan atau plagiat dalam Laporan Skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Swijaya. Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tidak dipaksakan.



Indralaya, Agustus 2024

METERAI TEMPEL
JCFALX319367974

Rahman Nul Hakim

NIM. 09011281924033

HALAMAN PERSEMBAHAN

Saya persembahkan tugas akhir ini kepada orang yang peduli akan pendidikan akademis dan moral yaitu

Ayah Dan Ibu Tercinta

Terimakasih kepada Ayah dan Ibu yang selalu mensupport penulis semanjak lahir hingga sekarang termasuk dalam masa kuliah sehingga penulis dapat memulai kuliah dan menyelesaikan kuliah ditandai dengan selasainya Tugas Akhir ini.

"Keridhaan Allah tergantung kepada keridhaan orang tua, dan kemurkaan Allah tergantung kepada kemurkaan orang tua." (HR. Tirmidzi)". Karena Ayah Dan ibu selalu meridhoi dan mendoakan serta atas izin ALLAH .SWT perjalanan penulis dalam mengerjakan tugas akhir menjadi lancar dan dapat selesai.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh

Puji syukur Alhamdulillah penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia dan rahmat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan Tugas Akhir ini yang berjudul “**Analisa Sistem Keseimbangan Vertikal Pada Wahana Bawah Air Menggunakan Metode Artificial Neural Network (ANN)**”.

Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada beberapa pihak atas ide dan saran serta bantuannya dalam menyelesaikan penulisan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan rasa syukur dan terimakasih kepada yang terhormat :

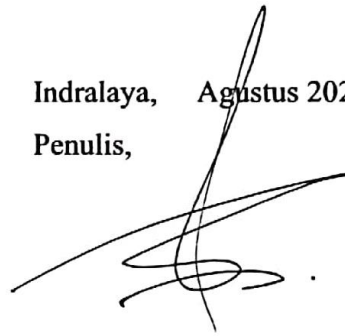
1. Allah SWT, yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan penulisan Tugas Akhir ini dengan baik dan lancar.
2. Orang tua saya tercinta yang telah membesarkan saya dengan penuh kasih sayang dan selalu mengajarkan saya dalam berbuat hal yang baik. Terimakasih untuk segala doa, motivasi dan dukungannya baik moril, materil maupun spritual yang telah diberikan sampai saat ini .
3. Bapak Prof. Dr. Erwin, S.Si, M.Msi, selaku Dekan Fakultas Ilmu Komputer Universitas Sriwijaya.
4. Bapak Dr. Ir. Sukemi, M.T., selaku Ketua Jurusan Sistem Komputer Fakultas Ilmu Komputer Universitas Sriwijaya.
5. Bapak Dr. Ahmad Zarkasi, M.T. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah berkenan meluangkan waktunya guna membimbing, memberikan saran dan motivasi serta bimbingan terbaik untuk penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini
6. Bapak Dr. Ir. Sukemi, M.T., selaku dosen Pembimbing Akademik saya.
7. Mbak Renny, kak Angga dan kak Yopi selaku admin Jurusan Sistem Komputer yang telah membantu mengurus seluruh berkas.
8. Dan semua pihak yang telah membantu dalam menemani perjalanan

saat pemberkasan ataupun memberi dukungan lewat apapun itu medianya untuk memberi semangat, terimakasih atas bantuan selama ini.

Penulis mengharapkan dan membuka diri untuk segala kritik dan saran yang membangun dari semua pihak sebagai acuan untuk penulisan penelitian yang lebih baik lagi. Akhir kata penulis ucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu. Semoga penelitian ini dapat bermanfaat bagi penulis dan pembaca sekalian.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Indralaya, Agustus 2024
Penulis,



Rahman Nul Hakim

NIM. 09011281924033

Analysis of Vertical Balancing System in Underwater Vehicles Using Artificial Neural Network (ANN) Method

Rahman Nul Hakim (09011281924033)

*Department of Computer Systems, Faculty of Computer Science, Sriwijaya
University*

Email: rahmannulh0102@gmail.com

ABSTRACT

The study analyzes the effectiveness of Artificial Neural Network (ANN) methods for vertical balance control in underwater vehicles (ROV). Traditional PID control methods were compared with ANN to evaluate performance differences. The research aims to identify the PID values required for training the ANN and to assess if ANN can achieve better balance control than PID in underwater systems. Data collection involved testing with sensors to gather a dataset comprising angular positions and control efforts. The ANN was trained using this dataset to predict and control the vehicle's balance more accurately. The results indicate that while PID control can stabilize the vehicle, it often results in oscillations around the zero angle before achieving balance. In contrast, ANN demonstrates superior performance by predicting and controlling motor actions more effectively, allowing the vehicle to reach and maintain the zero angle directly and accurately. The ANN's prediction and calculation capabilities enable smoother and more precise balance control compared to PID. However, implementing ANN on hardware like Arduino presents challenges due to memory limitations and slower processing speeds, which can hinder ANN's full potential. Despite these constraints, the study concludes that ANN offers a more accurate balancing process, with a standard deviation of 6.238 compared to PID's 7.545. The research highlights the potential of ANN in improving control systems for underwater vehicles, providing a foundation for further development in this field.

Keywords: *Artificial Neural Network (ANN), PID control, vertical balance, Remotely Operated Vehicle (ROV).*

ANALISA SISTEM KESEIMBANGAN VERTIKAL PADA WAHANA BAWAH AIR MENGGUNAKAN METODE ARTIFICIAL NEURAL NETWORK (ANN)

Rahman Nul Hakim (09011281924033)

Jurusan Sistem Komputer, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Sriwijaya

Email: rahmannulh0102@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini menganalisis efektivitas metode *Artificial Neural Network* (ANN) untuk kontrol keseimbangan vertikal *Remotely Operated Vehicle* (ROV). Metode kontrol PID tradisional dibandingkan dengan ANN untuk mengevaluasi perbedaan kinerja. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi nilai PID yang diperlukan untuk melatih ANN dan menilai apakah ANN dapat mencapai kontrol keseimbangan yang lebih baik daripada PID dalam sistem bawah air. Pengumpulan data melibatkan pengujian dengan sensor untuk mengumpulkan dataset yang terdiri dari posisi sudut dan usaha kontrol. ANN dilatih menggunakan dataset ini untuk memprediksi dan mengontrol keseimbangan kendaraan dengan lebih akurat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa meskipun kontrol PID dapat menstabilkan kendaraan, sering kali menghasilkan osilasi di sekitar sudut nol sebelum mencapai keseimbangan. Sebaliknya, ANN menunjukkan kinerja yang lebih unggul dengan memprediksi dan mengontrol tindakan motor dengan lebih efektif, memungkinkan kendaraan untuk mencapai dan mempertahankan sudut nol secara langsung dan akurat. Kemampuan prediksi dan perhitungan ANN memungkinkan kontrol keseimbangan yang lebih halus dan presisi dibandingkan dengan PID. Namun, implementasi ANN pada perangkat keras seperti Arduino menghadirkan tantangan karena keterbatasan memori dan kecepatan pemrosesan yang lebih lambat, yang dapat menghambat potensi penuh ANN. Terlepas dari kendala ini, penelitian menyimpulkan bahwa ANN menawarkan proses penyeimbangan yang lebih akurat, dengan deviasi standar sebesar 6,238 dibandingkan dengan 7,545 pada PID. Penelitian ini menyoroti potensi ANN dalam meningkatkan sistem kontrol untuk kendaraan bawah air, menyediakan dasar untuk pengembangan lebih lanjut di bidang ini.

Kata kunci: *Artificial Neural Network* (ANN), kontrol PID, keseimbangan vertikal, *Remotely Operated Vehicle* (ROV).

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
HALAMAN PERSETUJUAN	Error! Bookmark not defined.
HALAMAN PERNYATAAN	Error! Bookmark not defined.
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
KATA PENGANTAR	vi
ABSTRACT	viii
ABSTRAK	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	ix
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah.....	3
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Tujuan.....	4
1.5. Sistematika Penulisan	4
BAB II	5
TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Penelitian Terkait.....	5
2.2. Sistem Keseimbangan Vertikal pada Wahana Bawah Air.....	5
2.2.1. Konsep Dasar Keseimbangan Vertikal	6
2.3. Artificial Neural Network (ANN).....	6
2.3.1. Struktur Dasar ANN	7

2.3.2. Pelatihan ANN.....	7
2.3.3. Aplikasi ANN dalam Analisis Sistem Dinamis	8
2.3.4. Persamaan ANN.....	9
2.4. Sensor MPU6050.....	9
2.5. Motor Brushless.....	10
2.5.1. Stator.....	12
2.5.2. Rotor	12
2.5.3. Sensor Hall.....	13
2.5.4. Rangkaian Kontroler dan Driver.....	14
2.6. PID (Proportional Integral Derivative).....	14
2.6.1. Komponen PID	14
2.6.2. Persamaan PID.....	15
2.7. PWM.....	16
2.8. ESC.....	16
BAB III.....	19
METODOLOGI PENELITIAN	19
3.1. Pendahuluan.....	19
3.2. Kerangka Kerja.....	19
3.3. Studi Literatur.....	21
3.4. Perancangan Sistem.....	21
3.5. Perancangan Perangkat Lunak.....	21
3.5.1. Pengumpulan data.....	24
3.5.2. Preprocessing	25
3.6. Perancangan Hardware (Perangkat Keras)	25
3.7. Pengujian Sistem	26
3.7.1. Pengujian Perangkat Lunak	27
3.7.2. Pengujian Perangkat Keras	27
3.8. Validasi Performa Model.....	28

3.9. Analisa Sistem	28
3.10. Pengambilan Kesimpulan.....	29
BAB IV	30
HASIL DAN PEMBAHASAN	30
4.1. Pendahuluan.....	30
4.2. Deskripsi Dataset.....	30
4.3. Implementasi Model	31
4.3.1. Persiapan Perangkat Keras.....	31
4.3.2. Pengambilan Data Sensor	31
4.3.3. Pengujian PID	33
4.3.1. Pembuatan Model ANN.....	35
4.3.2. Implementasi Perangkat Keras.....	37
4.4. Pengujian Perangkat Keras	38
4.4.1. Pengujian Motor.....	38
4.4.2. Pengujian Sensor MPU6050	38
4.4.3. Pengujian Integrasi Perangkat Keras	39
4.4.4. Pengujian Performa Keseluruhan.....	39
4.4.5. Pengujian Ketahanan dan Keandalan.....	39
4.5. Analisa	40
BAB V.....	44
KESIMPULAN.....	44
5.1. Kesimpulan.....	44
5.2. Saran	44
DAFTAR PUSTAKA	46

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur Layer ANN.....	8
Gambar 2.2 MPU6050	9
Gambar 2.3 Diagram MPU6050	10
Gambar 2.4 Motor Brushles	11
Gambar 2.5 Stator	12
Gambar 2.6 Rotor	13
Gambar 2.7 Skema sensing BLDC	13
Gambar 2.8 ESC	17
Gambar 2.9 Jenis ESC.....	17
Gambar 2.10 Rangkaian ESC.....	17
Gambar 3.1 Kerangka Kerja Penelitian	20
Gambar 3.2 Blok Diagram Perancangan Sistem.....	21
Gambar 3.3 Flowchart Program pertama	22
Gambar 3.4 Flowchart Program kedua	23
Gambar 3.5 Diagram Wiring ROV	26
Gambar 4.1 ROV	31
Gambar 4.2 Arsitektur ANN	35
Gambar 4.3 Proses Training ANN dengan neurona.....	37
Gambar 4.4 Bias hasil training ANN	37
Gambar 4.5 Grafik dengan PID	40
Gambar 4.6 Grafik dengan ANN	40
Gambar 4.7 Error pada ANN	41

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Dataset.....	30
Tabel 4.2 Kalibrasi MPU6050	33
Tabel 4.3 Hasil Pengujian PID.....	34

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

ROV (*Remotely Operated Vehicle*) dapat digambarkan sebagai kendaraan bawah air yang mengintegrasikan teknologi canggih dengan kemampuan eksplorasi yang luas di lautan misterius. Seperti kapal ruang angkasa yang menjelajahi alam semesta, ROV adalah "pesawat" khusus yang menelusuri dunia di bawah permukaan laut. Seperti pesawat ruang angkasa yang dikendalikan dari jarak jauh, ROV dioperasikan oleh tim di permukaan yang mengontrolnya melalui kabel atau sinyal nirkabel[1].

ROV juga dapat dikatakan sebagai representasi "mata dan tangan" manusia di kedalaman lautan. Seperti mata yang melihat dan tangan yang melakukan, ROV dilengkapi dengan kamera dan sensor yang memungkinkannya untuk memperoleh gambaran lingkungan bawah air dan dilengkapi dengan manipulator atau peralatan lain yang memungkinkannya untuk melakukan tugas tertentu di dalam air. Dengan teknologi ini, ROV memainkan peran penting dalam pemahaman dan eksplorasi lautan yang luas dan belum terungkap sepenuhnya[2].

Keseimbangan adalah kemampuan untuk menjaga keadaan stabil. Ini juga bisa diartikan sebagai kemampuan suatu objek untuk melakukan tindakan yang menjaga posisinya tetap stabil dan terkendali. Konsep keseimbangan sangat terkait dengan posisi dalam sistem koordinat tiga dimensi. Ada tiga sumbu koordinat utama: sumbu x, y, dan z. Sumbu z mengacu pada garis yang mengarah ke Kutub Bumi Konvensional, sumbu x adalah garis yang terbentuk oleh perpotongan antara meridian *Greenwich* dan bidang ekuator, dan sumbu y tegak lurus dengan sumbu x dan z sesuai dengan kaidah tangan kanan. Jadi secara singkat juga dapat diartikan bahwa keseimbangan adalah usaha objek untuk mencapai posisi sudut 0° [3].

Agar objek dapat mencapai posisi seimbang dibutuhkan adanya usaha mencapai seimbang. Pada makhluk hidup seperti manusia dan hewan, usaha untuk mencapai seimbang dilakukan dengan organ tubuh seperti kaki dan tangan. Sedangkan pada benda mati usaha mencapai seimbang dapat dilakukan dengan bantuan manusia atau dengan bantuan alat penggerak seperti baling-baling yang biasakita temukan pada drone dan helikopter. Tanpa adanya usaha mencapai posisi seimbang maka tidak dapat dikatakan sebagai keseimbangan[4].

Untuk mencapai keseimbangan, diperlukan upaya aktif untuk mencapainya. Pada makhluk hidup seperti manusia dan hewan, upaya untuk mencapai keseimbangan dilakukan dengan menggunakan organ tubuh seperti kaki dan tangan. Pada benda mati, upaya untuk mencapai keseimbangan dapat dilakukan dengan bantuan manusia atau dengan menggunakan alat penggerak seperti baling-baling yang sering digunakan pada drone dan helikopter. Tanpa upaya untuk mencapai keseimbangan, suatu objek tidak dapat dikatakan dalam keadaan seimbang.

Pergerakan suatu benda terjadi karena adanya gaya. Gaya dapat menyebabkan perubahan pada benda, seperti perubahan bentuk, sifat gerak, kecepatan, dan arah gerak benda. Hukum Newton pertama menyatakan bahwa setiap benda akan tetap dalam keadaan diam atau bergerak lurus dengan kecepatan tetap, kecuali jika gaya total yang bekerja padanya tidak nol. Ketika sebuah benda diam, benda tersebut dikatakan dalam keseimbangan statis. Gaya-gaya yang bekerja pada benda dapat menentukan keseimbangan statis. Ketika benda bergerak dan mencapai keseimbangan, dibutuhkan gaya yang seimbang untuk membuat benda tersebut tetap diam, yang dikenal sebagai keseimbangan dinamis[4].

Untuk mencapai keseimbangan, prinsip hukum Newton III diterapkan, yang menyatakan bahwa setiap gaya yang diberikan oleh suatu benda pada benda lain akan diimbangi oleh gaya yang sama besar namun berlawanan arah oleh benda kedua. Prinsip ini juga dikenal sebagai hukum aksi dan reaksi. Dalam penelitian ini, prinsip hukum Newton III diterapkan dengan

menggabungkan metode PID (*Proportional Integral Derivative*) dan ANN (*Artificial Neural Network*). Pada metode PID, dilakukan pengujian untuk mengambil nilai yang kemudian digunakan sebagai dataset untuk melatih ANN. Hal ini bertujuan untuk meningkatkan efektivitas dan akurasi dalam mencapai keseimbangan.

ANN digunakan untuk memprediksi dan mengambil tindakan dengan pembelajaran mandiri. Sistem ini dapat belajar sendiri tanpa perlu diprogram berulang kali, tetapi memerlukan data latihan untuk pembelajaran awal. Dalam konteks penelitian ini, ANN menganalisis pola untuk membantu robot mencapai keseimbangan dan meningkatkan efektivitasnya. Cara kerja ANN ini meniru dari cara kerja otak manusia dan mengambil dari cara kerja neuron pada otak[5].

1.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang dijelaskan, maka perumusan masalah yang akan dibahas adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana mendapatkan nilai PID untuk learning ANN ?
2. Apakah penggunaan ANN lebih baik dari PID pada sistem keseimbangan ?

1.3. Batasan Masalah

Berikut batasan masalah pada Tugas Akhir ini, yaitu :

1. Penelitian ini menggunakan dataset dari hasil pengujian robot.
2. Penelitian ini menggunakan Bahasa *cpp*.
3. Output yang dihasilkan dari penelitian ini hanya berupa simulasi keseimbangan vertikal.
4. Fitur yang dipakai adalah nilai sudut x , PID, PWM, dan hasil trining ANN.

1.4. Tujuan

Tujuan yang akan dicapai dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mendapatkan nilai PID untuk training ANN.
2. Mengetahui kinerja ANN pada sistem keseimbangan.

1.5. Sistematika Penulisan

Sistematika yang akan digunakan dalam penulisan tugas akhir adalah :

BAB I PENDAHULUAN

Bab pertama akan memaparkan sistematis mengenai latar belakang, tujuan penelitian, rumusan masalah, serta bentuk sistematika penelitian.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab kedua akan menjelaskan teori-teori dasar yang akan menjadi landasan dari penelitian ini. Dasar teori yang akan dibahas pada bab ini adalah literatur mengenai keseimbangan, , ANN, dan PID.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan proses dan rangkaian kegiatan dalam penelitian. Penelitian akan dimulai dari persiapan sensor, mencari nilai PID, menentukan parameter yang akan digunakan sebagai data set, dan menentukan model ANN

BAB IV HASIL DAN ANALISA

Bab ini akan memaparkan hasil pengujian yang diperoleh dan menjelaskan analisa terhadap hasil penelitian yang telah dilakukan.

BAB V KESIMPULAN

Bab ini akan menampung simpulan yang dapat disimpulkan dari hasil keseluruhan penelitian dan analisa.

DAFTAR PUSTAKA

Bibliography

- [1] F. N. Zohedi, M. S. Mohd Aras, H. A. Kasdirin, and M. B. Bahar, "A new tuning approach of Single Input Fuzzy Logic Controller (SIFLC) for Remotely Operated Vehicle (ROV) depth control," *Evergreen*, vol. 8, no. 3, pp. 651–657, 2021, doi: 10.5109/4491657.
- [2] A. Setyawan and Mashoedah, "Remotely Operated underwater Vehicle (ROV) stabilization with Artificial Neural Networks (ANN)," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1833, no. 1, 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1833/1/012068.
- [3] E. Setiawan and D. Syauqy, "Semi-Adaptive Control Systems on Self-Balancing Robot using Artificial Neural Networks," *INTENSIF J. Ilm. Penelit. dan Penerapan Teknol. Sist. Inf.*, vol. 5, no. 2, pp. 176–192, 2021, doi: 10.29407/intensif.v5i2.15296.
- [4] D. Sutopo and K. Wardani, "Pengendalian Robot Roda Dua Dengan Kendali Pid," *Semin. Nas. Terap. Ris. Inov. Ke-8 ISAS Publ. Ser. Eng. Sci.*, vol. 8, no. 1, pp. 215–215, 2022.
- [5] A. Y. Prathama, "Pendekatan Ann (Artificial Neural Network) Untuk Penentuan Prosentase Bobot Pekerjaan Dan Estimasi Nilai Pekerjaan Struktur Pada Rumah Sakit Pratama," *J. Teknosains*, vol. 7, no. 1, p. 14, 2018, doi: 10.22146/teknosains.30139.
- [6] H. Awal, B. Hendrik, and W. Arby, "Perancangan Dan Implementasi Robot Keseimbangan Beroda Dua Berbasis Mikrokontroler," *J. Sains dan Teknol.*, vol. 2, no. 1, pp. 8–17, 2022, doi: 10.47233/jsit.v2i1.74.
- [7] K. de Clercq, A. Dietrich, J. P. Núñez Velasco, J. de Winter, and R. Happee, "External Human-Machine Interfaces on Automated Vehicles: Effects on Pedestrian Crossing Decisions," *Hum. Factors*, vol. 61, no. 8, pp. 1353–1370, 2019, doi: 10.1177/0018720819836343.
- [8] Y. Susanthi, A. Darmawan, and S. B. Suryadi, "Alat Pengenal Gerakan Tangan Menggunakan Algoritma Artificial Neural Network Berbasis ESP32 dan Platform Edge Impulse," *Techné J. Ilm. Elektrotek.*, vol. 23, no. 1, pp. 77–94, 2024, doi: 10.31358/techne.v23i1.434.
- [9] M. M. Mijwil, "Artificial Neural Networks Advantages and Disadvantages," *LinkedIn*, no. March, pp. 1–2, 2018, [Online]. Available: <https://www.linkedin.com/pulse/artificial-neural-networks-advantages-disadvantages-maad-m-mijwel/>.
- [10] "Komponen Artificial Neural Network."

<https://skillplus.web.id/komponen-artificial-neural-network/>.

- [11] A. C. Mualim, M. Yahya, and D. A. W. K., “Rancang Bangun Keseimbangan Otomatis Tripod Dengan Sensor Gyroscope,” *J. Sist. Telekomun. Elektron. Sist. Kontrol Power Sist. Komput.*, vol. 1, no. 2, p. 10, 2021, [Online]. Available: <https://ejournal-kediri.ac.id>.
- [12] “MPU6050.” <https://components101.com/sensors/mpu6050-module>.
- [13] F. Palaha and Yolnasdi, “Analisa Rancangan Keseimbangan Menggunakan Sensor Imu Type – Mpu6050 Pada Quadcopter,” *Sainstek (e-Journal)*, vol. 8, no. 2, pp. 96–104, 2020, doi: 10.35583/js.v8i2.125.
- [14] “RAMA_56201_09011181520034.” .
- [15] F. Dinansyar, “Pengaturan Kecepatan Motor Brushless Dc Menggunakan Kontroler Fuzzy Berbasis Linear Quadratic Regulator,” *J. Tek. ITS*, pp. 1–58, 2016.
- [16] A. Smida, “Self Balancing Robot Design,” *Grabcad.Com*, vol. 9, no. 3, pp. 249–252, 2019, [Online]. Available: <https://grabcad.com/library/self-balancing-robot-5>.
- [17] S. N. Al-Bargothi, G. M. Qaryouti, and Q. M. Jaber, “Speed control of DC motor using conventional and adaptive PID controllers,” *Indones. J. Electr. Eng. Comput. Sci.*, vol. 16, no. 3, pp. 1221–1228, 2019, doi: 10.11591/ijeecs.v16.i3.pp1221-1228.
- [18] M. Rahmawaty, Thalia Smart Aritonang, Tianur, Wiwin Styorini, and Muhammad Diono, “Sistem Keseimbangan Segway Menggunakan Kontrol Proportional Integral dan Derivatif (PID),” *J. Elektro dan Mesin Terap.*, vol. 8, no. 2, pp. 71–80, 2022, doi: 10.35143/elementer.v8i2.5718.
- [19] C. Systems, D. Saputra, H. Maghfiroh, P. Chotikunnan, and S. N. Rahmadhia, “Motor Using PID with Identification System and MATLAB,” vol. 3, no. 2, pp. 233–244, 2023.
- [20] O. Brilliant Kharisma, A. Wildan, Auliaullah, and F. E. Laumal, “Implementasi Sensor MPU 6050 untuk Mengukur Keseimbangan Self Balancing Robot Menggunakan Kontrol PID,” *Semin. Nas. Teknol. Informasi, Komun. dan Ind.*, no. November, pp. 357–364, 2018.
- [21] D. Y. Ohm and R. J. Oleksuk, “Influence of PWM Schemes and Commutation Methods for DC and Brushless Motors and Drives,” *Power Electron. Technol. Conf.*, pp. 1–12, 2002, [Online]. Available: http://wii-esc.googlecode.com/svn/doc/SW_BLDCAC5.PDF.

- [22] R. Damayanti, B. Syawaludin, and H. A. Gunawan, "Design of PI and PID Control System for Induction Motor Control on Gamma Irradiator Characterization Prototype Using a Modified Ziegler-Nichols Method," *J. Electr. Technol. UMY*, vol. 6, no. 2, pp. 94–102, 2022, doi: 10.18196/jet.v6i2.16412.
- [23] J. D. Setiawan, A. Purwiantoro, G. D. Haryadi, M. Munadi, and M. Ariyanto, "Rancang Bangun Alat Sadap Elektrik untuk Tanaman Karet," *Rotasi*, vol. 20, no. 3, p. 178, 2018, doi: 10.14710/rotasi.20.3.178-183.
- [24] M. Sustek and Z. Úředníček, "The Basics of Quadcopter Anatomy," *MATEC Web Conf.*, vol. 210, pp. 1–7, 2018, doi: 10.1051/matecconf/201821001001.