

## Analisis Dampak Variasi Konstan Pengontrol PID Pada Kontrol Kecepatan Motor DC

Nova Amanda<sup>1</sup>, Franky<sup>1</sup>, Indra Dwisaputra<sup>1</sup>, I Made Andik Setiawan<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung, Sungailiat

E-mail: novaamanda292@gmail.com

Received: 8 Januari 2025; Received in revised form: 14 Januari 2025; Accepted: 14 Januari 2025

### Abstract

The implementation of a PID (Proportional-Integral-Derivative) controller for speed regulation of a DC motor, employing both the Ziegler-Nichols method and an Iterative Methods approach for PID parameter tuning. DC motors are integral to various applications, requiring precise speed control for optimal performance. The Ziegler-Nichols method was utilized to initially estimate the PID parameters ( $K_p$ ,  $K_i$ , and  $K_d$ ), using system response data to derive values from both the L and T parameters as well as the  $K_u$  and  $T_u$  parameters. The experimental setup involved a DC motor controlled via PWM (Pulse Width Modulation), with speed measurements taken from a tachometer for validation. Results demonstrated an average percentage error of 2.08% between serial monitor readings and tachometer measurements, indicating high accuracy. Further refinement using the Iterative Methods identified optimal PID settings ( $K_p = 0.095$ ,  $K_i = 0.08$ ,  $K_d = 0.02$ ) that provided stable and precise speed control. This study confirms the Ziegler-Nichols method as a reliable foundation for PID tuning, while also highlighting the effectiveness of iterative adjustments for achieving fine-tuned control. Future work may explore adaptive control strategies to enhance the system's responsiveness to changing conditions.

**Keywords**—DC Motor encoder, RPM, PID, Ziegler Nichols.

### Abstrak

Implementasi pengontrol PID (Proporsional-Integral-Turunan) untuk pengaturan kecepatan motor DC, menggunakan metode Ziegler-Nichols dan pendekatan Metode Iteratif untuk penyetelan parameter PID. Motor DC merupakan bagian integral dari berbagai aplikasi, membutuhkan kontrol kecepatan yang tepat untuk kinerja yang optimal. Metode Ziegler-Nichols digunakan untuk memperkirakan parameter PID ( $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$ ), menggunakan data respons sistem untuk mendapatkan nilai dari parameter L dan T serta parameter  $K_u$  dan  $T_u$ . Pengaturan eksperimental melibatkan motor DC yang dikendalikan melalui PWM (Pulse Width Modulation), dengan pengukuran kecepatan yang diambil dari tachometer untuk validasi. Hasil menunjukkan persentase kesalahan rata-rata 2,08% antara pembacaan monitor serial dan pengukuran takometer, menunjukkan akurasi tinggi. Penyempurnaan lebih lanjut menggunakan Metode Iteratif mengidentifikasi pengaturan PID optimal ( $K_p = 0,095$ ,  $K_i = 0,08$ ,  $K_d = 0,02$ ) yang memberikan kontrol kecepatan yang stabil dan presisi. Studi ini menegaskan metode Ziegler-Nichols sebagai dasar yang dapat diandalkan untuk penyetelan PID, sekaligus menyoroti efektivitas penyesuaian berulang untuk mencapai kontrol yang disetel dengan baik. Pekerjaan di masa depan dapat mengeksplorasi strategi kontrol adaptif untuk meningkatkan respons sistem terhadap perubahan kondisi.

**Kata kunci:** Encoder Motor DC, RPM, PID, Ziegler Nichols.

### 1. PENDAHULUAN

Penelitian ini menyelidiki implementasi pengontrol PID (Proporsional-

Integral-Turunan) untuk pengaturan kecepatan motor DC, menggunakan metode Ziegler-Nichols dan pendekatan Metode Iteratif untuk penyetelan parameter PID [1].

Motor DC merupakan bagian integral dari berbagai aplikasi [2], membutuhkan kontrol kecepatan yang tepat untuk kinerja optimal [3]. Metode Ziegler-Nichols digunakan untuk memperkirakan parameter PID ( $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$ ) [4], menggunakan data respons sistem untuk mendapatkan nilai dari parameter  $L$  dan  $T$  serta parameter  $K_u$  dan  $T_u$  [5]. Pengaturan eksperimental melibatkan motor DC yang dikendalikan melalui PWM (Pulse Width Modulation) [6], dengan pengukuran kecepatan yang diambil dari tachometer untuk validasi [7]. Hasil menunjukkan persentase kesalahan rata-rata 2,08% antara pembacaan monitor serial dan pengukuran takometer, menunjukkan akurasi tinggi [8]-[9]. Penyempurnaan lebih lanjut menggunakan Metode Iteratif mengidentifikasi pengaturan PID optimal ( $K_p = 0,095$ ,  $K_i = 0,08$ ,  $K_d = 0,02$ ) yang memberikan kontrol kecepatan yang stabil dan tepat [10]. Studi ini menegaskan metode Ziegler-Nichols sebagai dasar yang dapat diandalkan untuk penyetelan PID, sekaligus menyoroti efektivitas penyesuaian berulang untuk mencapai kontrol yang disetel dengan baik [11]. Pekerjaan di masa depan dapat mengeksplorasi strategi kontrol adaptif untuk meningkatkan respons sistem terhadap perubahan kondisi.

Sudah banyak penelitian dan artikel yang membahas tentang robot pengikut menggunakan motor DC Encoder dengan metode PID ini, dan sumber referensi berikut mendukung penelitian ini. Penelitian pertama dilakukan oleh Juliansyah Surya Putra, 2019, yang telah merancang dan

membuat robot troli pengikut manusia otomatis dengan kamera shape-following [12]. Penelitian lain yang dilakukan oleh Dyas restu Palupi, 2020, yang telah merancang Robot Mengikuti Objek berdasarkan Pembacaan Jarak menggunakan Metode Pengontrol PID, dalam penelitian ini ia menggunakan output yang dihasilkan dari pengontrol PID sebagai PWM yang akan dihubungkan dengan motor DC [13].

Penelitian ini akan membahas Desain Robot Human-Following dengan kontrol PID yang berfokus pada motor kontrol kecepatan encoder dc dengan metode pid.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1 Ziegler Nichols

Metode Ziegler Nichols terdiri dari metode pertama dan metode kedua. Metode pertama memiliki dua parameter, yaitu  $L$  dan  $T$ , yang kemudian digunakan untuk mencari nilai  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$  [14]. Dua parameter ini diperoleh dari titik infleksi pada kurva  $S$ , yang diperoleh dari garis singgung sumbu  $x$  dan  $y$  [15]. Metode kedua juga memiliki dua parameter, yaitu  $K_u$  dan  $T_u$ .  $K_u$  adalah nilai kritis  $K_p$  ketika sistem berosilasi dengan baik.  $T_u$  adalah jarak antara puncak gelombang dalam hitungan detik [16]. Persamaan untuk mencari nilai  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$  berdasarkan nilai parameter  $L$  dan  $T$  dapat dilihat pada Tabel 1.

Persamaan untuk mencari nilai  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$  berdasarkan nilai parameter  $K_u$  dan  $T_u$  dapat dilihat Tabel 2.

Tabel 1. Nilai  $K_p$ ,  $T_i$ , dan  $T_d$  Berdasarkan Parameter  $L$  dan  $T$

| Jenis pengontrol | $K_p$    | $T_i$   | $T_d$  |
|------------------|----------|---------|--------|
| P                | $T / L$  |         |        |
| PI               | $0.9T/L$ | $L/0,3$ |        |
| PID              | $1.2T/L$ | $2L$    | $0.5L$ |

Tabel 2. Nilai  $K_p$ ,  $T_i$ , dan  $T_d$  Berdasarkan Parameter  $K_u$  dan  $T_u$

| Jenis pengontrol | $K_p$    | $T_i$    | $T_d$      |
|------------------|----------|----------|------------|
| P                | $K_u/2$  |          |            |
| PI               | $2K_u/5$ | $4T_u/5$ |            |
| PID              | $3K_u/5$ | $T_u/2$  | $3Tiga/25$ |

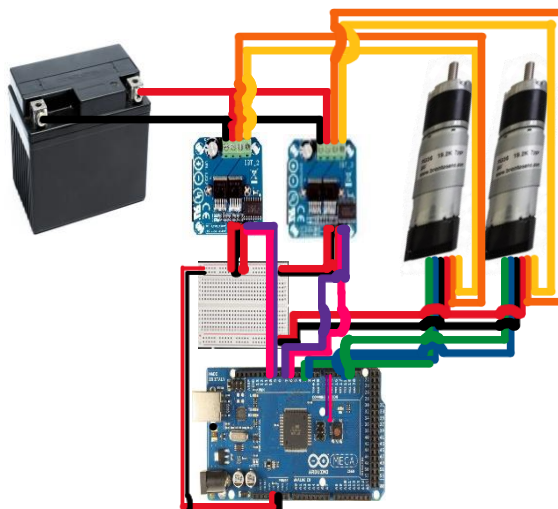
### 2.2 Diagram Pengkabelan Sistem

Diagram pengkabelan perangkat keras dapat dilihat pada Gambar 1. Desain perangkat keras dibuat untuk mengontrol

motor DC, dan driver motor untuk melihat respons sistem dan juga sebagai alat pengambilan data yang diperlukan untuk memodelkan motor DC menggunakan

pendekatan pemodelan identifikasi sistem, data yang akan digunakan dalam bentuk

tegangan dan kecepatan putaran motor DC [7].



Gambar 1. Rangkaian Elektrik Robot

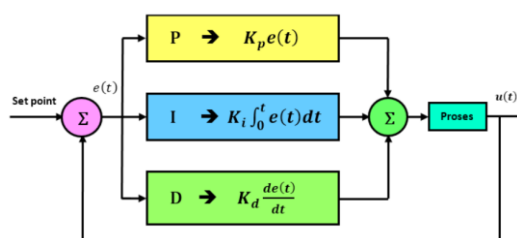
### 2.3 Pengontrol PID

Pengontrol PID atau pengontrol Derivatif Integral Proporsional adalah salah satu sistem kontrol yang biasa digunakan untuk menentukan presisi dalam sistem instrumentasi dengan umpan balik [17]. Sistem ini terus menghitung nilai kesalahan sebagai selisih antara titik setel yang diinginkan dan variabel proses yang diukur [18], kemudian menggunakan nilai kesalahan untuk menentukan tindakan

korektif [19].

Dengan kontrol PID, proses kecepatan putaran motor DC akan lebih stabil, karena nilai kesalahan setiap saat dapat diminimalkan sesuai dengan pengaturan variabel kontrol yang diinginkan [20]. Sinyal keluaran PID dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$m(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt}$$



Gambar 2. Diagram Blok Kontrol PID [20]

### 2.4 Metode Iteratif

Metode Iteratif adalah pendekatan dalam komputasi matematika yang digunakan untuk memecahkan masalah yang sulit atau tidak dapat diselesaikan secara langsung (eksplisit). Dalam metode ini, solusi tidak diperoleh dalam satu langkah, melainkan melalui pengulangan (iterasi) proses perhitungan, mendekati solusi secara bertahap [21].

Metode berulang berfokus pada peningkatan bertahap dari solusi awal.

Prosesnya dimulai dengan tebakan awal dan kemudian serangkaian langkah diambil untuk mendekati solusi yang lebih baik [22]. Setiap iterasi menghasilkan output yang digunakan sebagai input untuk iterasi berikutnya. Hal ini memungkinkan tim untuk melakukan penyesuaian berdasarkan umpan balik yang diperoleh dari setiap tahap [23].

Metode berulang berfokus pada peningkatan bertahap dari solusi awal. Prosesnya dimulai dengan tebakan awal dan kemudian serangkaian langkah diambil

untuk mendekati solusi yang lebih baik [22]. Setiap iterasi menghasilkan output yang digunakan sebagai input untuk iterasi berikutnya. Hal ini memungkinkan tim untuk melakukan penyesuaian berdasarkan umpan balik yang diperoleh dari setiap tahap [23].

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Tes RPM

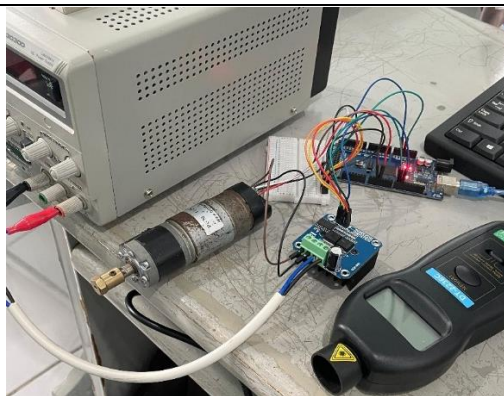
Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah nilai output RPM pada serial monitor mendekati atau sama dengan pengukuran menggunakan tachometer dengan nilai PWM meningkat sebesar 10. Hasil yang diperoleh dari perbandingan RPM monitor serial dengan RPM tachometer dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Menguji Nilai RPM Monitor Serial Dengan RPM Tachometer berdasarkan PWM

| PWM                 | RPM<br>Serial Monitor | RPM Tachometer | Persentase Kesalahan (%) |
|---------------------|-----------------------|----------------|--------------------------|
| 10                  | 5,12                  | 5,3            | 3%                       |
| 20                  | 19,35                 | 20,4           | 5%                       |
| 30                  | 32,74                 | 34,4           | 5%                       |
| 40                  | 46,13                 | 48             | 4%                       |
| 50                  | 59,52                 | 61,9           | 4%                       |
| 60                  | 72,92                 | 73,4           | 1%                       |
| 70                  | 84,31                 | 85,6           | 2%                       |
| 80                  | 99,7                  | 99,7           | 0%                       |
| 90                  | 113,1                 | 115,1          | 2%                       |
| 100                 | 124,22                | 125,4          | 1%                       |
| 110                 | 139,88                | 143,5          | 3%                       |
| 120                 | 151,79                | 160,7          | 6%                       |
| 130                 | 166,67                | 173,8          | 4%                       |
| 140                 | 181,55                | 188,4          | 4%                       |
| 150                 | 193,45                | 204,4          | 5%                       |
| 160                 | 206,85                | 226,6          | 9%                       |
| 170                 | 221,73                | 240,9          | 8%                       |
| 180                 | 236,61                | 257,4          | 8%                       |
| 190                 | 250                   | 274            | 9%                       |
| 200                 | 264,88                | 281,5          | 6%                       |
| 210                 | 279,76                | 294,2          | 5%                       |
| 220                 | 293,15                | 303,2          | 3%                       |
| 230                 | 306,55                | 315,4          | 3%                       |
| 240                 | 319,94                | 323,4          | 1%                       |
| 250                 | 330,31                | 332,2          | 1%                       |
| 255                 | 334,82                | 337,6          | 1%                       |
| Kesalahan Rata-rata |                       |                | 2,08%                    |

Setelah melakukan percobaan dalam upaya menentukan besaran RPM pada motor encoder DC, data pengambilan sampel PWM dari 0 - 255 dengan kelipatan 10 dan hasil yang diperoleh berupa grafik linier dapat dilihat pada Gambar 4.4. Persentase kesalahan pengukuran diperoleh dari membagi nilai perbedaan RPM pada sensor dengan nilai Tachometer kemudian

dikalikan dengan 100%, persentase rata-rata kesalahan yang dihasilkan dari data pengujian cukup kecil, yaitu 2,08%. Persamaan linier yang diperoleh tanpa adanya beban, pengujian ini juga membantu dalam memahami pengaruh beban pada kinerja kontrol robot.

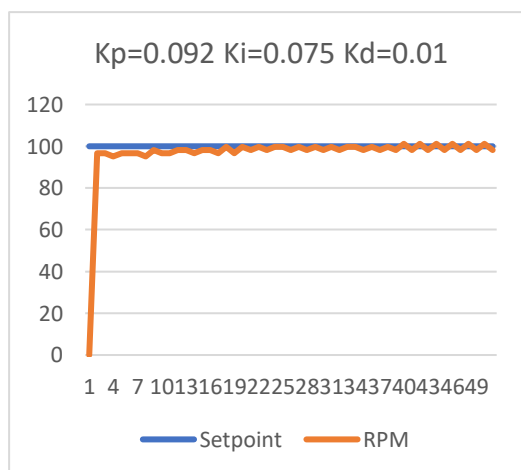


Gambar 3. Menguji Persamaan Linier PWM dan RPM

Hal ini dapat dilihat pada Gambar 3. Kami melakukan pengaturan pengujian yang melibatkan dua motor DC, masing-masing terhubung ke driver motor, yang dikelola oleh mikrokontroler Arduino Mega. Tachometer digunakan untuk mengukur kecepatan rotasi motor. Sistem ini ditenagai oleh catu daya 12,5 volt, seperti yang terbukti dari koneksi ke motor dan driver. Motor ditampilkan terhubung melalui kabel, dengan setiap motor menerima sinyal kontrol dari Arduino melalui driver motor.

### 3.2 Perbandingan Nilai KP, KI, KD Terhadap Waktu Respons

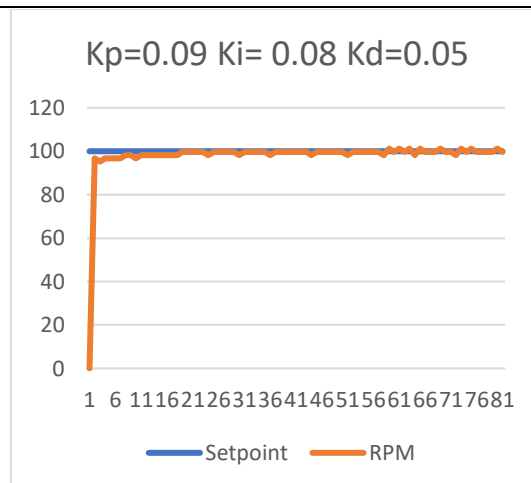
Pada percobaan ini, metode Metode Iteratif digunakan dengan memasukkan angka pada variabel Kp, Ki, Kd. Data yang diperoleh dibuat menjadi grafik menggunakan Microsoft Excel yang dapat dilihat pada Gambar 4 hingga 7.



Gambar 4. Hasil Tes 1 Dengan Metode Berulang

Gambar 4. dengan nilai  $K_p=0,092$ ,  $K_i=0,075$ , dan  $K_d=0,01$  menunjukkan respons sistem kontrol PID terhadap beberapa kondisi waktu (dari 1 hingga 49 detik). Osilasi pada grafik terlihat setelah waktu sistem stabil di dekat setpoint pada 10

detik ke atas. Osilasi ini kecil dan menunjukkan bahwa sistem mencoba mencapai stabilitas tetapi masih berfluktuasi di sekitar setpoint. Osilasi ini terus menerus, meskipun amplitudonya tidak terlalu besar.

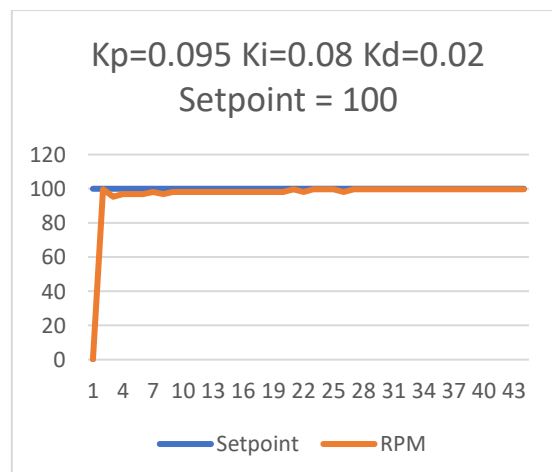


Gambar 5. Hasil Tes 2 Dengan Metode Berulang

Gambar 5. dengan nilai  $K_p=0.09$ ,  $K_i=0.08$ , dan  $K_d=0.05$  menunjukkan respons sistem kontrol PID terhadap beberapa kondisi waktu (dari 1 hingga 81 detik). Osilasi dalam grafik terlihat setelah waktu sistem stabil di dekat setpoint pada 12 detik ke atas. Osilasi ini kecil dan menunjukkan bahwa sistem mencoba mencapai stabilitas tetapi masih berfluktuasi di sekitar setpoint. Osilasi

ini terus menerus, meskipun amplitudonya tidak terlalu besar.

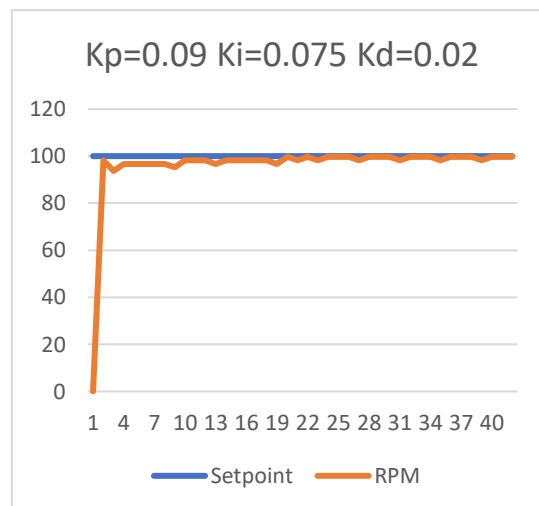
Hasil yang diperoleh dengan menggunakan Metode Iterative pada keempat percobaan tersebut, dapat disimpulkan bahwa uji ketiga menghasilkan output yang stabil di antara uji coba lainnya dengan nilai  $K_p = 0,095$ ,  $K_i = 0,08$ ,  $K_d = 0,02$  dan setpoint = 100.



Gambar 6. Hasil Tes 3 Dengan Metode Berulang

Gambar 6. dengan nilai  $K_p=0.095$ ,  $K_i=0.08$ , dan  $K_d=0.02$  menunjukkan respons sistem kontrol PID terhadap beberapa kondisi waktu (dari 1 hingga 43 detik). Osilasi dalam grafik terlihat setelah waktu sistem stabil di dekat setpoint pada 2 detik ke atas.

Osilasi ini kecil dan menunjukkan bahwa sistem mencoba mencapai stabilitas tetapi masih berfluktuasi di sekitar setpoint. Osilasi ini terus menerus, meskipun amplitudonya tidak terlalu besar.



Gambar 7. Hasil Tes 4 Dengan Metode Berulang

Gambar 7. dengan nilai  $K_p=0.09$ ,  $K_i=0.075$ , dan  $K_d=0.02$  menunjukkan respons sistem kontrol PID terhadap beberapa kondisi waktu (dari 1 hingga 40 detik). Osilasi dalam grafik terlihat setelah waktu sistem stabil di dekat setpoint pada 2 detik ke atas. Osilasi ini kecil dan menunjukkan bahwa sistem mencoba mencapai stabilitas tetapi masih berfluktuasi di sekitar setpoint. Osilasi ini terus menerus, meskipun amplitudonya tidak terlalu besar.

#### 4. SIMPULAN

Studi ini berhasil menerapkan metode Ziegler-Nichols untuk menyetel pengontrol PID untuk mengatur kecepatan motor DC. Metode ini memungkinkan penentuan parameter PID awal yang efektif, yang kemudian disesuaikan dengan menggunakan pendekatan Metode Berulang. Hasil eksperimen mengkonfirmasi bahwa pengontrol PID, dengan persentase kesalahan rata-rata 2,08% antara monitor serial dan pengukuran takometer, bekerja dengan baik dalam mengontrol kecepatan motor. Parameter PID optimal yang berasal dari metode iteratif ( $K_p = 0,095$ ,  $K_i = 0,08$ ,  $K_d = 0,02$ ) memberikan kontrol kecepatan yang stabil dan akurat. Temuan ini memvalidasi penggunaan metode Ziegler-Nichols sebagai titik awal yang kuat untuk penyetelan PID, sambil menekankan pentingnya penyesuaian berulang untuk mencapai kontrol yang tepat. Pekerjaan di masa depan dapat mengeksplorasi integrasi teknik kontrol adaptif untuk lebih

meningkatkan respons sistem terhadap berbagai kondisi operasi.

#### UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih kepada Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung atas dukungan akademik, teknologi, fasilitas dan sumber daya yang disediakan dalam proses pembuatan proyek penelitian ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Joseph, EA, & Olaiya, OO (2017). Metode penyetelan PID Cohen-coon; Pilihan yang lebih baik untuk metode penyetelan Ziegler Nichols-PID. *Penelitian Ingerring*, 2(11), 141-145.
- [2] Huang, Guoshing, dan Shuocheng Lee. "Kontrol kecepatan PID berbasis PC di motor DC." *Konferensi Internasional 2008 tentang Pemrosesan Audio, Bahasa dan Gambar*. IEEE, 2008.
- [3] Hammoodi, Salman Jasim, Kareem Sayegh Flayyih, dan Ahmed Refaat Hamad. "Desain dan implementasi sistem kontrol kecepatan motor DC berdasarkan kontrol PID dan simulink matlab." *Jurnal Internasional Elektronika Daya dan Sistem Penggerak* 11.1 (2020): 127-134.
- [4] Allu, Nicolaus, dan Apriana Toding. "Penyetelan dengan metode Ziegler Nichols untuk desain pengontrol PID pada kecepatan putar motor DC." *Seri*

- Konferensi IOP: Ilmu dan Teknik Material*. Vol. 846. No. 1. Penerbitan IOP, 2020.
- [5] Putri, Mila Diah Ika, Alfian Ma'arif, dan Riky Dwi Puriyanto. "Pengendali Kecepatan Sudut Motor DC Menggunakan Kontrol PID dan Tuning Ziegler Nichols." *Jurnal Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Purwokerto* 23.1 (2022): 9-18.
- [6] Kushwah, Manoj, dan Ashis Patra. "Menyetel pengontrol PID untuk kontrol kecepatan motor DC menggunakan teknik komputasi lunak-Tinjauan A." *Kemajuan dalam Teknik Elektronik dan Listrik* 4.2 (2014): 141-148.
- [7] Hassan, Ali A., Nabil K. Al-Shamaa, dan Kasim K. Abdalla. "Studi komparatif untuk kontrol kecepatan motor DC menggunakan pengontrol PID." *Jurnal Internasional Teknik dan Teknologi* 9.6 (2017): 4181-4192.
- [8] Vikhe, Pratap S., Neelam Punjabi, dan Chandrakant B. Kadu. "Kontrol kecepatan motor DC menggunakan pengontrol PID di lab view." *Jurnal Internasional Sains Inovatif dan Teknik Modern (IJISME)* 3.3 (2015).
- [9] Abdulameer, Ashwaq, dkk. "Metode penyetelan pengontrol PID untuk kontrol kecepatan motor DC." *Jurnal Teknik Elektro dan Ilmu Komputer* 3.2 (2016): 343-349.
- [10] Das, Susmita, dkk. "studi tentang pendekatan penyetelan yang berbeda dengan penggabungan aspek simulasi untuk aturan ZN (Ziegler-Nichols)." *Jurnal Internasional Publikasi Ilmiah dan Penelitian* 2.8 (2012): 1-5.
- [11] Suryatini, F., & Firasanti, A. (2018). Kendali P, PI, dan PID analog pada pengaturan kecepatan motor dc dengan penalaan ziegler-nichols. *JREC (Jurnal Listrik dan Elektronika)*, 6(1), 65-80.
- [12] J. I. Surya Putra Eng Komang Somawirata dan E. Aryuanto Soetedjo, "Seminar Hasil Elektro S1 ITN Malang Tahun Akademik Ganjil/ Pengembangan Robot Troli Pengikut Manusia Otomatis Dengan Kamera Mengikuti Bentuk," 2019.
- [13] DR Palupi, D. Syauqy, dan AS Budi, "Object Following Robot berbasis Pembacaan Jarak menggunakan Metode PID Controller," 2020. Tersedia: <http://j-ptiik.ub.ac.id>
- [14] Meshram, PM, dan Rohit G. Kanojiya. "Penyetelan pengontrol PID menggunakan metode Ziegler-Nichols untuk kontrol kecepatan motor DC." *Konferensi internasional IEEE tentang kemajuan dalam teknik, sains dan manajemen (ICAESM-2012)*. IEEE, 2012.
- [15] Anto, Emmanuel Kwaku, Johnson A. Asumadu, dan Philip Yaw Okyere. "Kontrol PID untuk meningkatkan kinerja P&O-MPPT dari sistem PV surya yang terhubung ke jaringan dengan metode penyetelan Ziegler-Nichols." *Konferensi ke-11 IEEE 2016 tentang Elektronik dan Aplikasi Industri (ICIEA)*. IEEE, 2016.
- [16] Isdaryani, F., Feriyonika, F., & Ferdiansyah, R. (2020, Februari). Perbandingan metode penyetelan Ziegler-Nichols dan Cohen Coon untuk sistem kontrol levitasi magnetik. Dalam *Jurnal Fisika: Seri Konferensi* (Vol. 1450, No. 1, hlm. 012033). Penerbitan IOP.
- [17] Mahmud, Md, dkk. "Pengontrol PID adaptif yang digunakan untuk kontrol kecepatan motor BLDC." *Konferensi Internasional IEEE 2020 tentang Elektronik Semikonduktor (ICSE)*. IEEE, 2020.
- [18] Al-Andzar, Muhammad Faqihuddin, dan Riky Dwi Puriyanto. "Kontrol PID untuk suhu dan kecepatan motor berdasarkan PLC." *Surat Pemrosesan Sinyal dan Gambar* 1.1 (2019): 7-13.
- [19] Al-Bargothi, Sarah N., Ghazi M. Qaryouti, dan Qazem M. Jaber. "Kontrol kecepatan motor DC menggunakan pengontrol PID konvensional dan adaptif." *Jurnal Teknik Elektro dan Ilmu Komputer Indonesia* 16.3 (2019): 1221-1228.
- [20] K. Joni, M. Ulum, Z. Abidin, T. Elektro, U. Trunojoyo Madura, dan J. P. Raya Telang BOX, "Robot Line Follower Berbasis Kendali Proportional-Integral-Derivative (PID) Untuk Lintasan Dengan Sudut Ekstrim," *Jurnal Infotel*, vol. 8, no. 2, 2016.
- [21] Setiawan, T. (2004). *Aplikasi metode-metode iteratif untuk meminimumkan*

- 
- fungsi kuadrat n variabel* (Doktor disertasi, Universitas Gadjah Mada).
- [22] Olshanskii, MA, & Tyrtshnikov, E. E. (Eds.). (2014). *Metode berulang untuk sistem linier: teori dan aplikasi*. Masyarakat untuk Matematika Industri dan Terapan.
- [23] Saad, Y. (2020). Metode berulang untuk sistem persamaan linier: Perjalanan sejarah singkat. *Matematika Kontemporer*, diedit oleh: Brenner, S., Shparlinski, I., Shu, C.-W., dan Szyld, D., American Mathematical Society, Providence, Rhode Island, 754, 197-215