

PENGENDALI KECEPATAN SUDUT MOTOR DC MENGGUNAKAN KONTROL PID DAN TUNING ZIEGLER NICHOLS

Mila Diah Ika Putri, Alfian Ma'arif, Riky Dwi Puriyanto

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Ahmad Dahlan

Informasi Makalah

Dikirim, 25 Juni 2021
Direvisi, 10 Juli 2021
Diterima, 24 Agustus 2021

Kata Kunci:

*Motor DC,
Pengendali PID,
Ziegler Nichols.*

INTISARI

Penelitian ini menerapkan pengendali Proporsional Integral Derivatif (PID) untuk mengendalikan kecepatan sudut motor DC dan tuning Ziegler Nichols. Penelitian tidak hanya terbatas simulasi menggunakan Matlab namun juga implementasi ke perangkat keras Arduino. Pengendali PID banyak digunakan karena pengendali ini sederhana dan mudah dalam pengaplikasiannya. Namun terdapat kekurangan dalam menentukan nilai parameter kontroler PID atau disebut dengan Tuning. Metode Tuning merupakan cara untuk mencari konstanta parameter PID, yaitu Proporsional Gain (K_p), Integral Gain (K_i), dan Derivatif Gain (K_d). Umumnya parameter-parameter konstanta tersebut masih ditentukan dengan cara manual yaitu trial and error (coba-coba). Berdasarkan hasil pengujian, metode Ziegler Nichols dapat memberikan respon yang lebih baik dibandingkan dengan metode trial and error. Respon pengendali PID dengan metode trial and error cenderung tidak stabil sementara dengan metode Ziegler Nichols respon sistem lebih stabil. Nilai pengendali PID terbaik yang didapatkan dari penelitian ini yaitu $K_p=8,23712$, $K_i=1,65072$, and $K_d=0,41268$. Hasil pengujian lain menunjukkan bahwa nilai K_p , K_i , dan K_d terbaik yang dihasilkan pada simulai Matlab tidak semuanya memberikan keluaran yang baik pada hardware. Sebaliknya nilai pengendali PID yang mungkin kurang bagus pada simulasi Matlab bisa memberikan keluaran yang baik pada hardware. Hal tersebut bisa terjadi karena model transfer function yang digunakan pada simulasi Matlab tidak sama persis motor DC pada hardware.

ABSTRACT

Keyword:

DC Motor,
PID Controller,
Ziegler Nichols

This research applies Proportional Integral Derivative (PID) controller to control the angular speed of DC motor and Ziegler Nichols tuning. The research is not only limited to simulation using Matlab but also implementation to Arduino hardware. PID controllers are widely used because these controllers are simple and easy to apply. However, there are shortcomings in determining the PID controller parameter value or called Tuning. Tuning method is a way to find constants of PID parameters, namely Proportional Gain (K_p), Integral Gain (K_i), and Derivative Gain (K_d). Generally, the parameters of these constants are still determined manually, namely trial and error. Based on the test results, the Ziegler Nichols method can provide a better response than the trial and error method. PID controller response with trial and error method tends to be unstable while with Ziegler Nichols method the system response is more stable. The best PID control values obtained from this study were $K_p=8,23712$, $K_i=1,65072$, and $K_d=0,41268$. Other test results show that the best K_p , K_i , and K_d values produced in Matlab simulations do not all give good output on hardware. On the other hand, the PID controller value which may not be good in the Matlab simulation can

provide good output on the hardware. This can happen because the transfer function model used in the Matlab simulation is not exactly the same as the DC motor on the hardware.

Korespondensi Penulis:

Alfian Ma'arif
Program Studi Teknik Elektro
Universitas Ahmad Dahlan
JL. Ring Road Selatan, Bantul, Yogyakarta, Indonesia
Email: alfianmaarif@ee.uad.ac.id

1. PENDAHULUAN

Motor Direct Current (DC) adalah perangkat yang merubah energi listrik DC menjadi energi mekanik berupa putaran [1]. Motor DC adalah satu satu aktuator yang banyak digunakan pada dunia industri dan robotika. Beberapa aplikasi dari motor DC adalah Robot Keseimbangan [2][3], Mesin Pengecat Dinding [4], Alat Pemberi Pakan Ayam Otomatis [5], Pembuka Pintu Air [6], Alat Pengingat Jadwal Minum Obat [7], Unmanned Ground Vehicle (UGV) [8], Robot Sepak Bola [9], Robot Pengantar Barang [10], Alat Pemisah [11] dan Robot pemadam api [12]. Berdasarkan hal tersebut, penelitian terkait motor DC penting untuk dilakukan karena memiliki banyak aplikasi.

Untuk dapat menstabilkan putaran Motor DC diperlukan sebuah pengendali atau controller. Umumnya ada dua variabel yang dikendalikan pada motor DC yaitu posisi sudut [13] atau kecepatan sudut [14][15]. Kendali posisi sudut motor DC membuat motor DC pada berputar pada sudut tertentu contohnya adalah sudut 60 derajat atau sudut 90 derajat. Sementara kendali kecepatan sudut motor DC membuat motor DC berputar secara konstan pada kecepatan sudut tertentu baik dalam RPM atau RPS.

Pada penelitian ini akan diusulkan pengendali Proporsional Integral Derivatif untuk mengendalikan kecepatan putar motor DC. Pengendali PID sangat luas penggunaannya di industri [16][17] maupun robotika [18]. Selain itu pengendali ini memiliki persamaan sederhana [19][20] dan memiliki respon tanggapan yang cepat [21]. Salah satu permasalahan pada pengendali PID adalah penentuan parameter PID [22]. Beberapa metode untuk menentukan parameter PID yaitu metode coba-coba (*trial and error*) [23][24][25] dan metode Ziegler Nichols [26][27]. Metode trial and error memiliki kekurangan yaitu menghabiskan waktu, tenaga dan hasilnya tidak selalu bagus [28][29][30]. Sementara metode Ziegler Nichols menggunakan pendekatan secara visual untuk menentukan parameter pengendali PID [31][32]. Oleh karena itu metode tersebut dapat mengurangi waktu dan tenaga untuk menentukan parameter pengendali PID.

Pada pengujian metode yang diusulkan, tidak hanya dilakukan pengujian menggunakan simulasi, namun juga pengujian pada implementasi perangkat keras menggunakan mikrokontroler Arduino. Penggunaan metode Ziegler Nichols sebagai metode tuning pengendali PID telah dilakukan sebelumnya [33][34]. Namun penelitian tersebut sebatas pada simulasi sementara hasil pengujian simulasi belum tentu dapat diterapkan pada perangkat keras. Oleh karena itu pengujian perangkat keras sangat penting untuk dilakukan agar metode yang diusulkan dapat dipergunakan pada sistem sesungguhnya.

2. METODE

2.1. Ziegler Nichols

Metode Ziegler Nichols terdiri atas metode pertama dan metode kedua. Metode pertama memiliki dua parameter yaitu L dan T yang kemudian digunakan untuk mencari nilai Kp, Ki, dan Kd. Dua parameter ini diperoleh dari titik infleksi pada kurva S, yang diperoleh dari garis singgung sumbu x dan y. Metode kedua juga memiliki dua parameter yaitu Ku dan Tu. Ku yaitu nilai kritis Kp ketika sistem berosilasi dengan baik. Tu merupakan jarak antara puncak gelombang dalam satuan detik.

Persamaan untuk mencari nilai Kp, Ki, dan Kd berdasarkan nilai parameter L dan T dapat dilihat pada Tabel 1. Persamaan untuk mencari nilai Kp, Ki, dan Kd berdasarkan nilai parameter Ku dan Tu dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 1. Nilai Kp, Ti, dan Td berdasarkan parameter L dan T

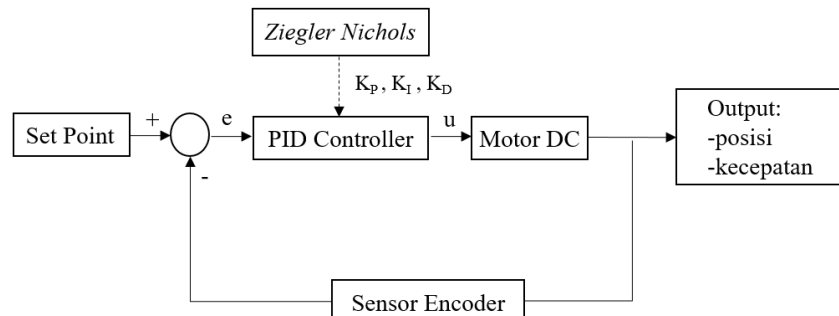
Pengendali	Kp	Ti	Td
P	T/L	∞	0
PI	0,9T/L	L/0,3	0
PID	1,2T/L	2L	0,5L

Tabel 2. Nilai K_p , T_i , dan T_d berdasarkan parameter K_u dan T_u

Pengendali	K_p	T_i	T_d
P	$K_u/2$	-	-
PI	$2K_u/5$	$4T_u/5$	-
PID	$3K_u/5$	$T_u/2$	$3T_u/25$

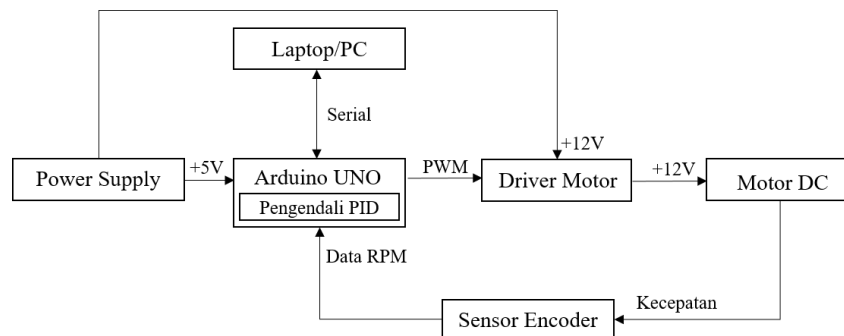
2.1. Diagram Blok Sistem

Diagram Blok sistem ditunjukkan pada Gambar 1. Cara kerja dari sistem yang dibuat ialah input berupa hasil tuning parameter PID dengan menggunakan metode Ziegler Nichols sebagai metode untuk mencari konstanta parameter PID. Plant yang digunakan ialah sebuah sistem kendali umpan balik yang keluarannya berupa sebuah kecepatan dari motor DC. SP (*Set point*) adalah suatu parameter nilai acuan atau nilai yang kita inginkan. PV (*Present Value*): nilai bobot pembacaan sensor saat itu atau variabel terukur yang di umpan balik oleh sensor (sinyal *feedback* dari sensor). *Error* (nilai kesalahan): deviasi atau simpangan antara variabel terukur atau bobot sensor (PV) dengan nilai acuan (SP). Dalam perancangan sistem ini, menggunakan metode *Zeigler-Nichols* untuk menentukan parameter pengendali PID. Metode *Ziegler-Nichols* menentukan nilai *proportional gain* K_p , *integral time* T_i , dan *derivative time* T_d berdasarkan karakteristik respon transient dari sebuah *plant* atau sistem.

Gambar 1. Blok Diagram Tuning Parameter PID dengan metode *Ziegler Nichols*

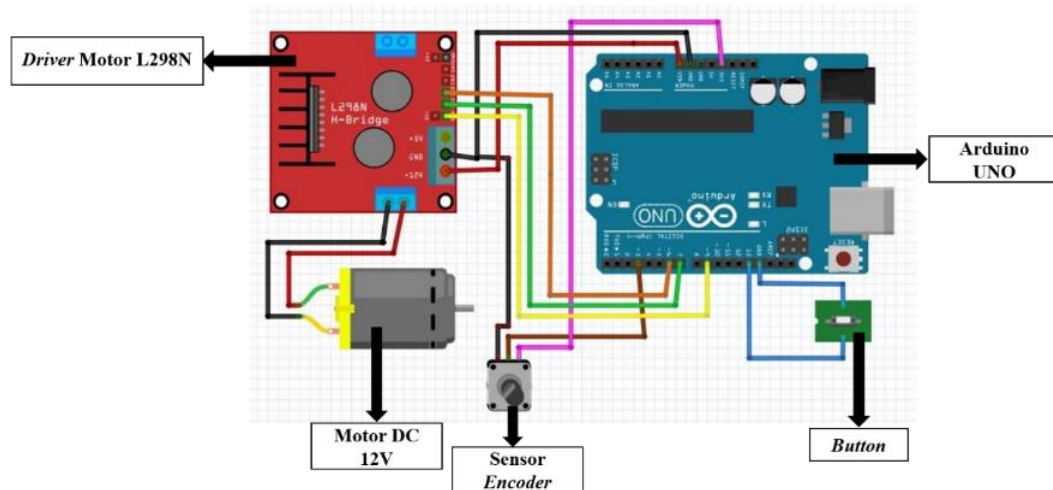
2.1. Diagram Blok Sistem

Diagram Blok hardware dapat dilihat pada Gambar 2. Diagram blok pemodelan motor DC menggunakan board Arduino Uno R3 sebagai pengendali sistem. Board Arduino mendapat suplai tegangan dari power suplai yang sudah disiapkan sebesar 12volt yang disalurkan pada driver motor untuk menggerakkan motor DC, selanjutnya gerakan putar motor DC akan dicatat oleh encoder yang akan diberikan pada Arduino Uno R3 agar dapat dilihat hasilnya dalam software Arduino Ide pada menu serial monitor dan serial plotter.

Gambar 2. Diagram Blok *Hardware*

2.1. Diagram Pengkabelan Sistem

Diagram pengkabelan hardware dapat dilihat pada Gambar 3. Perancangan 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 berupa tegangan dan kecepatan putar motor DC.

Gambar 3. Diagram Pengkabelan *Hardware*

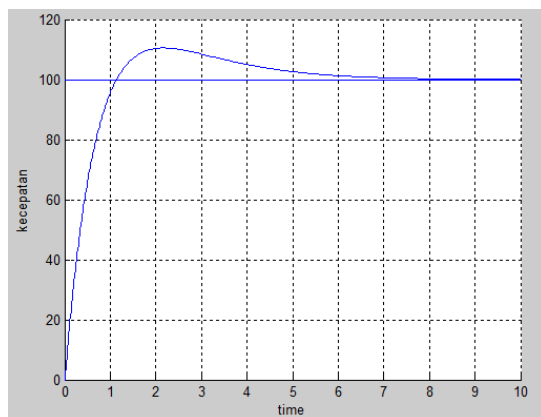
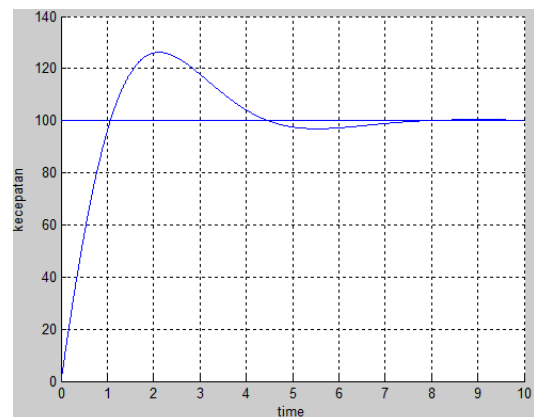
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pengujian Trial and Error

Pada pengujian ini, penulis memasukkan nilai pengendali PID (K_p , K_i , dan K_d) dengan metode coba-coba. Model transfer function motor DC yang digunakan adalah [35]

$$G(s) = \frac{0,01}{0,005s^2 + 0,06s + 0,1001}$$

Pengujian ini dilakukan sebanyak lima kali dengan nilai K_p , K_i , dan K_d yang berbeda-beda. Keluarannya berupa grafik kecepatan motor DC yang dapat dilihat pada Gambar 4 dan Gambar 5. Hasil dari pengujian menggunakan metode Trial and Error ini ditunjukkan pada tabel 3. Dari hasil pengujian dengan metode trial and error diatas, pengujian yang memberikan nilai overshoot paling rendah yaitu pengujian dengan masukan nilai $K_p = 15$, $K_i = 10$, dan $K_d = 5$ yaitu 12,11%. Sedangkan pengujian dengan overshoot paling besar yaitu pengujian dengan masukan nilai $K_p = 10$, $K_i = 10$, dan $K_d = 8$ yaitu 26,25%. Namun nilai overshoot yang masih diatas 10% belum bisa dikatakan sebagai sebuah sistem yang stabil. Sebuah sistem dapat dikatakan stabil ketika nilai overshoot nya dibawah 10%, akan lebih baik jika nilai overshoot mendekati angka 0 atau sama dengan 0. Karena semakin kecil nilai overshoot maka semakin bagus sistem tersebut.

Gambar 4. Grafik pengujian *trial and error* 1Gambar 5. Grafik pengujian *trial and error* 2

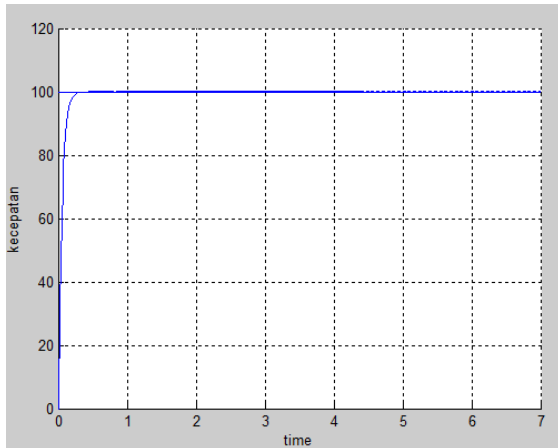
Tabel 3. Hasil dari pengujian menggunakan metode Trial and Error

No	K_p	K_i	K_d	overshoot	settling time
1	10	5	5	12,8999	-
2	10	10	5	20,2798	3,4912
3	10	10	8	26,2460	-
4	15	10	5	12,1117	3,8761
5	15	10	7	15,2148	4,3898

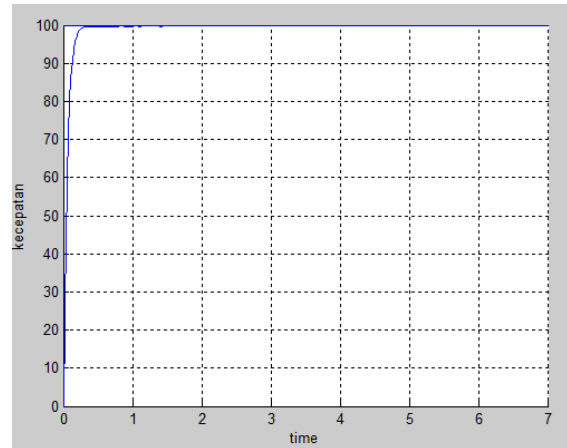
3.2. Pengujian dengan metode Ziegler Nichols 1

Pada metode ini penulis membentuk sebuah kurva S, kemudian mengambil perpotongan garis untuk mengukur nilai waktu tunda L dan time constant T . Pengujian metode ini masih menggunakan model transfer function yang sama dengan metode sebelumnya. Pengujian ini dilakukan sebanyak lima kali dengan nilai parameter L dan T yang berbeda-beda. Keluarannya berupa grafik kecepatan motor DC yang dapat dilihat pada Gambar 6 sampai Gambar 9.

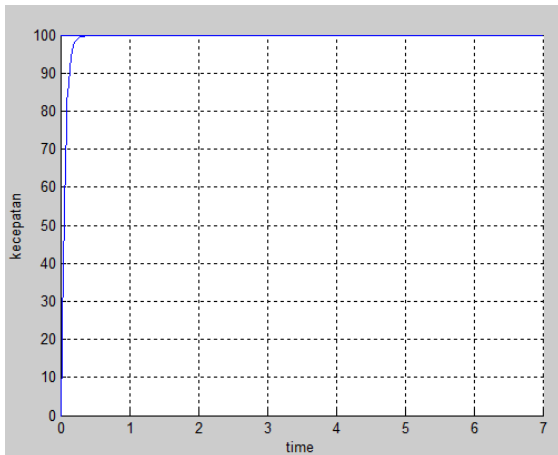
Hasil dari pengujian menggunakan metode Trial and Error ini ditunjukkan pada tabel 4. Dari tabel 4 diatas dapat disimpulkan pengujian yang menghasilkan keluaran yang paling baik yaitu pengujian kelima, dengan nilai $K_p = 8,23712$, $K_i = 1,65072$, dan $K_d = 0,41268$. Pengujian dengan metode Ziegler Nichols 1 memberikan nilai pengendali PID dan juga keluaran yang baik.



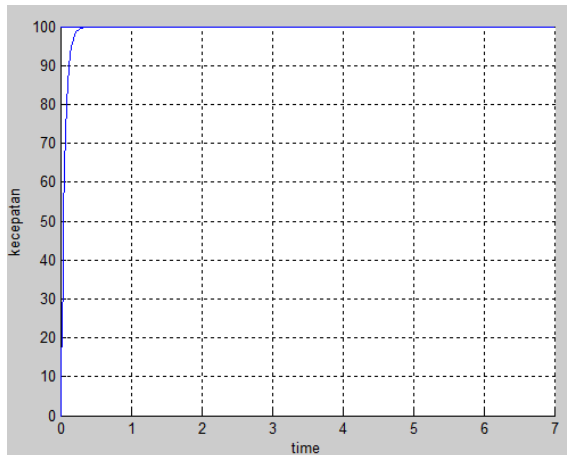
Gambar 6. Keluaran pengujian kedua ZN 1



Gambar 7. Keluaran pengujian ketiga ZN 1



Gambar 8. Keluaran pengujian keempat ZN 1



Gambar 9. Keluaran pengujian kelima ZN 1

Tabel 4. Hasil pengujian Ziegler Nichols 1

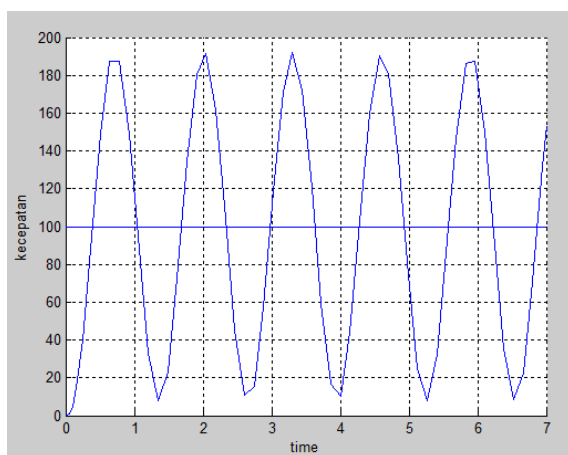
NO	Parameter		Pengendali			overshoot	settling time
	L	T	K_p	K_i	K_d		
1	0,1002	1,1302	13,5353	2,7125	0,6781	0,3390	0,1973
2	0,1002	0,78	9,341	1,87	0,46798	0,0951	0,2054
3	0,0998	0,558	6,7094	1,3392	0,3348	0	0,2158
4	0,0998	0,6421	7,7206	1,541	0,3852	0	0,2104
5	0,1002	0,6878	8,23712	1,65072	0,41268	0	0,2091

3.2. Pengujian dengan metode Ziegler Nichols 2

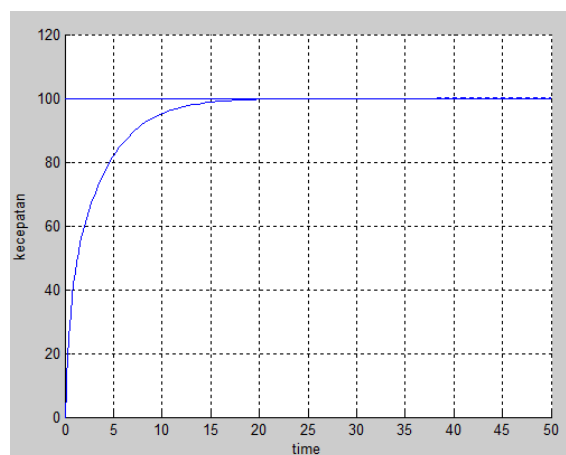
Pada metode ini K_i diberi nilai ∞ dan K_d diberi nilai 0 terlebih dahulu. Lalu K_p dinaikkan dari 0 hingga nilai kritis K_p sehingga diperoleh keluaran yang terus menerus berosilasi dengan amplitudo yang

sama. Nilai kritis K_p ini disebut sebagai K_u (ultimate gain). Pengujian metode ini masih menggunakan model transfer function yang sama dengan metode sebelumnya. Pengujian ini dilakukan dengan mencari nilai K_p agar gelombang keluaran berosilasi dengan baik.

Tampilan gelombang osilasi dapat dilihat pada Gambar 10. Sistem dapat berosilasi dengan stabil ketika nilai $K_p = K_u$. Seperti yang terlihat diatas, sistem berosilasi dengan stabil ketika nilai $K_p = 0,0998$. Maka didapatkan nilai $K_u = 0,0998$. Amplitudo (jarak dari puncak gelombang ke puncak gelombang lainnya) setelah dilihat dan diukur dari hasil gelombang diatas adalah 1,3. Maka didapatkan nilai $T_u = 1,3$. Dengan nilai K_u dan T_u tersebut, maka diperoleh nilai $K_p = 0,05988$, $K_i = 0,038922$, dan $K_d = 0,0093413$. Keluaran pengujian ini berupa grafik kecepatan motor DC yang dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 10. gelombang osilasi dengan masukan nilai $K_p = 0,0998$

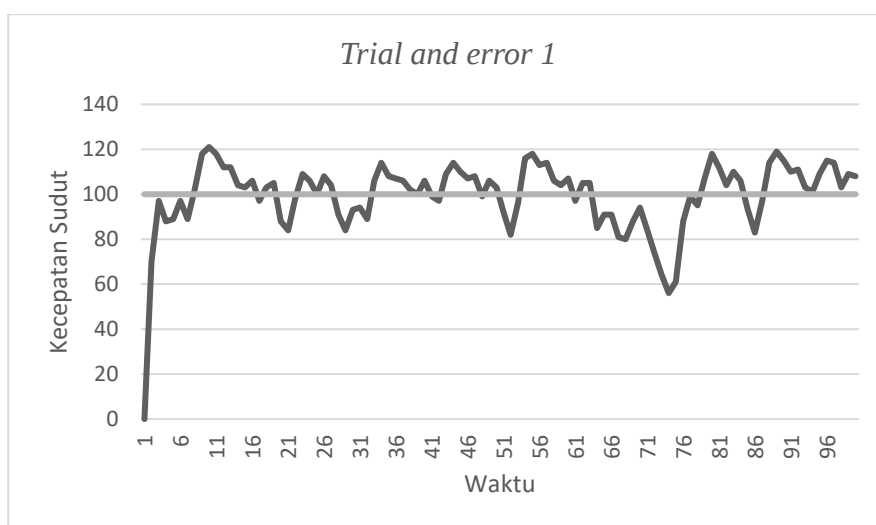


Gambar 11. Keluaran pengujian ZN 2

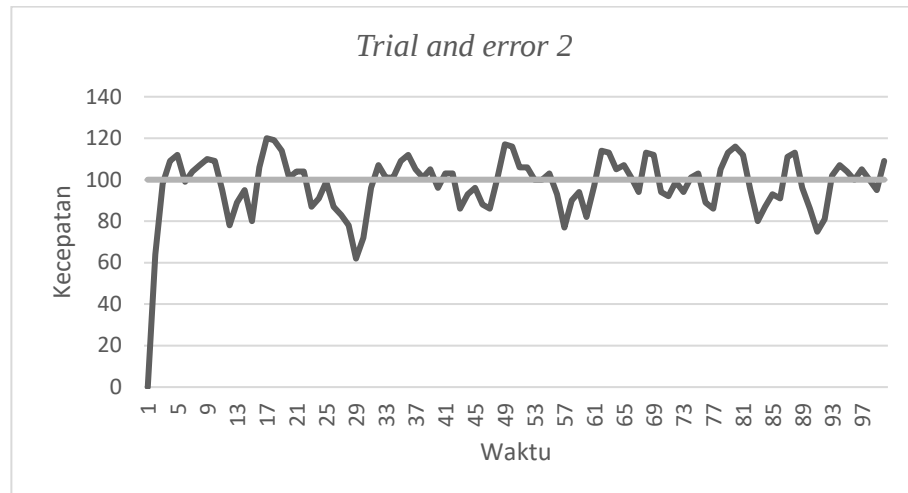
Dari pengujian diatas diperoleh nilai overshoot = 0,0025%, settling time = 13,3303, dan rise time = 7,0466. Pengujian dengan metode Ziegler Nichols 2 menghasilkan keluaran yang cukup baik, dimana overshoot hampir sama dengan nol. Namun, pada metode ini waktu yang dibutuhkan untuk mencapai nilai yang diinginkan (set point) lebih lama dibandingkan dengan metode Ziegler Nichols 1.

3.2. Pengujian Hardware Arduino

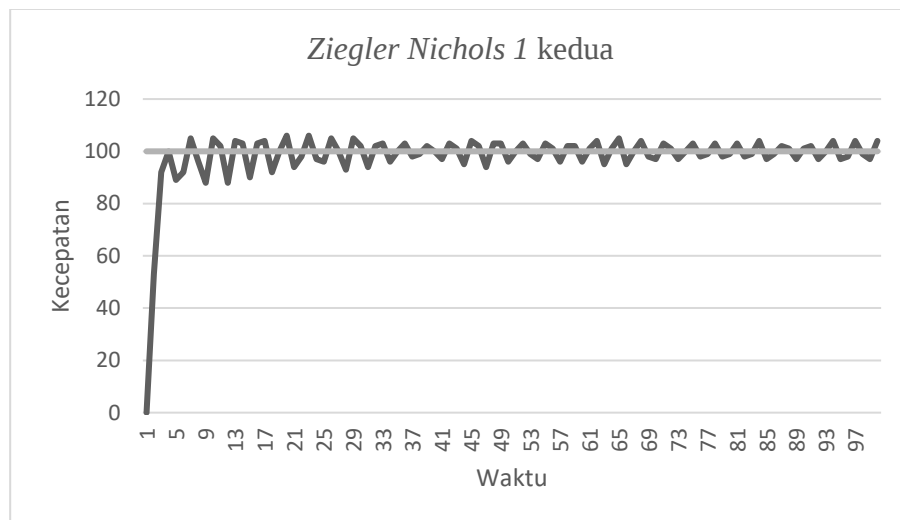
Pengujian hardware dilakukan sebanyak 11 kali, dengan nilai pengendali K_p , K_i , dan K_d yang berbeda sesuai dengan hasil pada tiga pengujian sebelumnya. Keluaran pengujian ini berupa grafik kecepatan motor DC yang dapat dilihat pada Gambar 12 sampai Gambar 18.



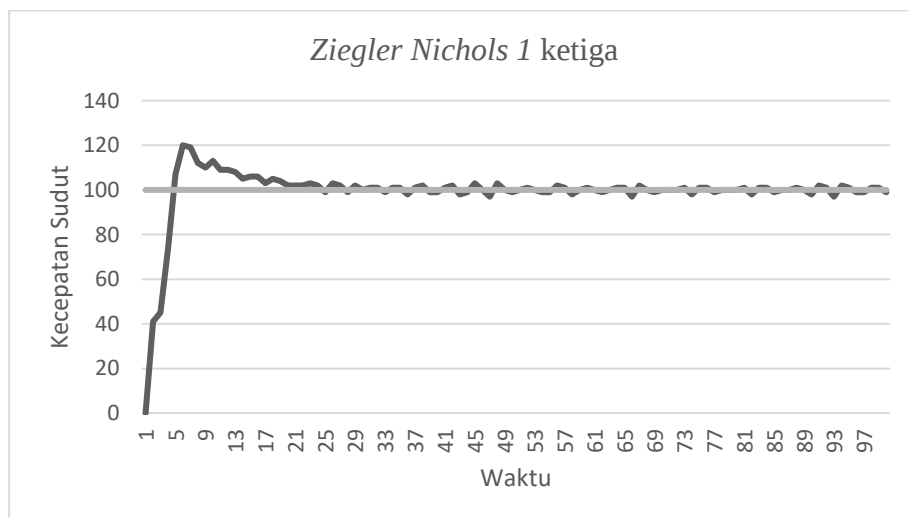
Gambar 12. Grafik metode trial and error 1 pada Pengujian Hardware



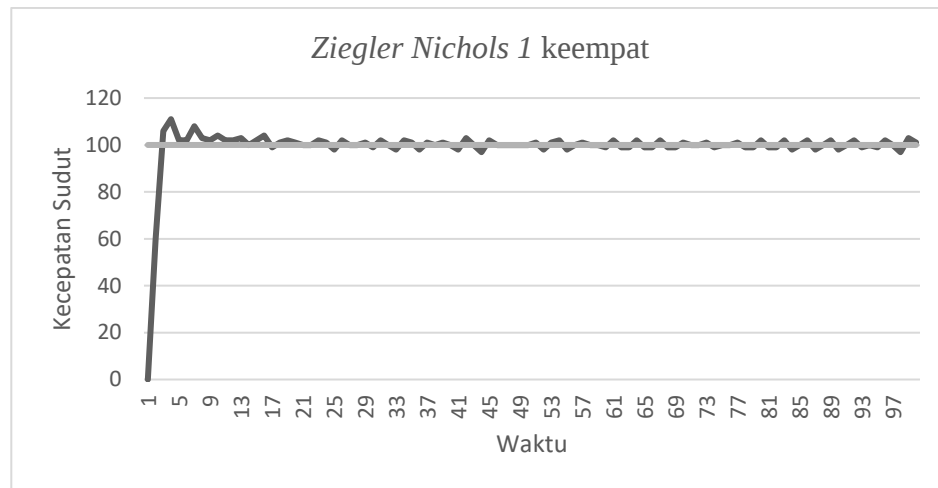
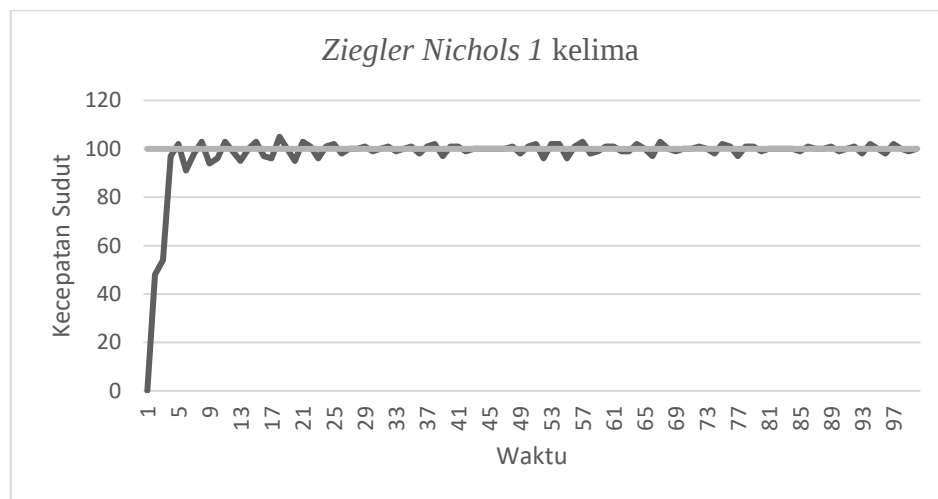
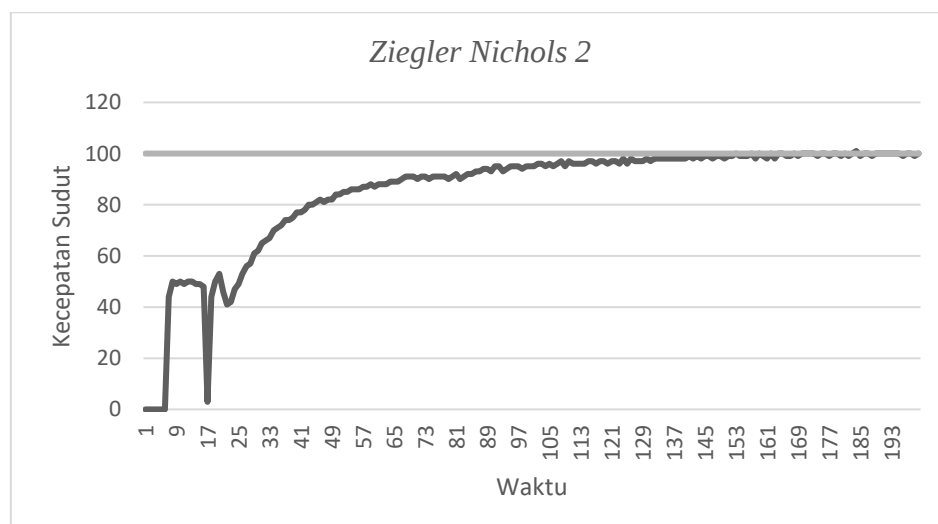
Gambar 13. Grafik metode *trial and error 2* pada Pengujian *Hardware*



Gambar 14. Grafik metode ZN 1 kedua pada Pengujian *Hardware*



Gambar 15. Grafik metode ZN 1 ketiga pada Pengujian *Hardware*

Gambar 16. Grafik metode ZN 1 keempat pada Pengujian *Hardware*Gambar 17. Grafik metode ZN 1 kelima pada Pengujian *Hardware*Gambar 18. Grafik metode ZN 2 pada Pengujian *Hardware*

Hasil dari pengujian *Hardware* secara keseluruhan dapat dilihat pada Tabel 5. Berdasarkan hasil pengujian, ada tiga data hasil pengujian yang menghasilkan nilai overshoot dibawah 10% yaitu dengan metode Ziegler Nichols 1 pengujian kedua, metode Ziegler Nichols 1 pengujian kelima, dan metode Ziegler Nichols 2. Dengan nilai overshoot masing-masing 6%, 5%, dan 1%. Grafik keluaran dari ketiga data terbaik

tersebut dapat dilihat pada Gambar 14, Gambar 17, dan Gambar 18. Pengujian dengan metode Ziegler Nichols 2 memiliki nilai overshoot paling kecil yaitu 1%, namun dengan nilai settling time dan rise time yang paling besar yaitu 132 dan 60,7727. Hal tersebut menunjukkan bahwa nilai pengendali PID dari metode ini menghasilkan keluaran yang membutuhkan waktu lebih lama untuk mencapai nilai yang diinginkan (set point).

Berdasarkan hasil dari pengujian Hardware ini juga dapat dilihat bahwa nilai K_p , K_i , dan K_d terbaik yang dihasilkan pada simulai Matlab tidak semuanya memberikan keluaran yang baik juga pada hardware, dan sebaliknya nilai pengendali PID yang mungkin kurang bagus pada simulasi Matlab bisa memberikan keluaran yang baik pada hardware. Hal tersebut bisa terjadi karena model transfer function yang digunakan pada simulasi Matlab tidak sama persis motor DC pada hardware.

Tabel 5. Hasil Pengujian pada Hardware

NO	Metode	Kp	Ki	Kd	Overshoot	settling time
1	<i>Trial and error 1</i>	10	5	5	21	NaN
2	<i>Trial and error 2</i>	10	10	5	20	NaN
3	<i>Trial and error 3</i>	10	10	8	24	NaN
4	<i>Trial and error 4</i>	15	10	5	20	NaN
5	<i>Trial and error 5</i>	15	10	7	22	NaN
6	<i>Ziegler Nichols 1 pertama</i>	13,5353	2,7125	0,6781	19	99,9
7	<i>Ziegler Nichols 1 kedua</i>	9,341	1,87	0,46798	6	NaN
8	<i>Ziegler Nichols 1 ketiga</i>	6,7094	1,3392	0,3348	20	93,2
9	<i>Ziegler Nichols 1 keempat</i>	7,7206	1,541	0,3852	11	99,5
10	<i>Ziegler Nichols 1 kelima</i>	8,23712	1,65072	0,41268	5	77,2500
11	<i>Ziegler Nichols 2</i>	0,05988	0,038922	0,0093413	1	132

4. KESIMPULAN

Dari semua pengujian yang telah dilakukan pada penelitian ini, dapat disimpulkan sebagai berikut. Penalaan pengendali PID menggunakan metode Ziegler Nichols menghasilkan keluaran dengan grafik kecepatan Motor DC yang stabil. Metode Ziegler Nichols 1 menghasilkan keluaran dengan nilai overshoot terbaik sebesar 5%. Sedangkan metode Ziegler Nichols 2 menghasilkan nilai overshoot terbaik sebesar 1%. Berdasarkan nilai overshoot, settling time, dan rise time, nilai pengendali PID terbaik yang didapatkan dari penelitian ini yaitu $K_p = 8,23712$, $K_i = 1,65072$, dan $K_d = 0,41268$. Berdasarkan nilai overshoot terkecil, nilai pengendali PID terbaik yang didapatkan dari penelitian ini yaitu $K_p = 0,05988$, $K_i = 0,038922$, dan $K_d = 0,0093413$.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. Suryatini and A. Firasanti, "Kendali P, OI, dan PID analog pada pengaturan kecepatan motor dc dengan penalaan ziegler-nichols," *JREC Journal of Electrical and Electronics*, vol. 6, no. 1, pp. 65–80, Jul. 2018.
- [2] A. Najmurrokhman, K. Kusnandar, I. Irfansyah, and A. Daelami, "Rancang Bangun Auto Balancing Robot Menggunakan Metode Kendali PID," *TELKA - Telekomunikasi, Elektronika, Komputasi dan Kontrol*, vol. 5, no. 1, pp. 15–23, May 2019.
- [3] A. Maarif, R. D. Puriyanto, and F. R. T. Hasan, "Robot Keseimbangan dengan Kendali PID dan Kalman Filter," *IT Journal Research and Development (ITJRD)*, vol. 4, no. 2, pp. 117–127, 2020.
- [4] F. A. Aziz and R. D. Puriyanto, "Rancang Bangun Mesin Pengecat Dinding Otomatis Berbasis PLC CP1E-NA20DR-A," *Buletin Ilmiah Sarjana Teknik Elektro*, vol. 1, no. 3, pp. 118–130, 2019.
- [5] A. S. Arifin and R. D. Puriyanto, "Rancang Bangun Pemberian Pakan Ayam Petelur Otomatis Menggunakan PLC," *Buletin Ilmiah Sarjana Teknik Elektro*, vol. 1, no. 1, pp. 19–26, 2019.
- [6] E. W. P. Dewi and S. Sunardi, "Otomatisasi Pintu Air Pada Sistem Pembangkit Listrik Mikrohidro," *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro Komputer dan Informatika*, vol. 4, no. 2, p. 1, Jan. 2019.
- [7] M. F. D. Prayogo and W. S. Aji, "Design and Build Reminder for Arduino Based Drug Schedule Consumption System," *Buletin Ilmiah Sarjana Teknik Elektro*, vol. 2, no. 2, pp. 75–82, 2020.
- [8] W. Purbowaskito and C.-H. Hsu, "Sistem Kendali PID untuk Pengendalian Kecepatan Motor Penggerak Unmanned Ground Vehicle untuk Aplikasi Industri Pertanian," *Jurnal Infotel*, vol. 9, no. 4, pp. 376–381, 2017.
- [9] N. Rinanto, I. Marzuqi, A. Khumaidi, and S. T. Sarena, "Obstacle Avoidance using Fuzzy Logic Controller on Wheeled Soccer Robot," *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro Komputer dan Informatika*, vol. 5, no. 1, pp. 26–35, 2019.
- [10] L. K. Amifia, M. I. Riansyah, and P. D. Putra, "Design of Logistic Transporter Robot System," *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro Komputer dan Informatika*, vol. 6, no. 1, p. 19, Jul. 2020.
- [11] D. Sonny Febriyan and R. Dwi Puriyanto, "Implementation of DC Motor PID Control On Conveyor for

- Separating Potato Seeds by Weight,” *International Journal of Robotics and Control Systems*, vol. 1, no. 1, pp. 15–26, 2021.
- [12] M. D. Dzulfikar and N. S. Widodo, “Implementasi PID Navigasi Pelacakan Titik Api dengan Sensor Flame Array pada Robot Hexapod untuk Kontes Robot Pemadam Api Indonesia,” *Buletin Ilmiah Sarjana Teknik Elektro*, vol. 1, no. 3, pp. 131–143, 2019.
- [13] Iswanto, N. M. Raharja, A. Ma’arif, Y. Ramadhan, and P. A. Rosyady, “Pole Placement Based State Feedback for DC Motor Position Control,” in *Journal of Physics: Conference Series*, 2021, vol. 1783, no. 1, p. 012057.
- [14] A. Ma’arif, R. Istiarno, and S. Sunardi, “Kontrol Proporsional Integral Derivatif (PID) pada Kecepatan Sudut Motor DC dengan Pemodelan Identifikasi Sistem dan Tuning,” *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, vol. 9, no. 2, p. 374, Apr. 2021.
- [15] A. R. Al Tahtawi, “Kendali Posisi Motor DC Menggunakan Logika Fuzzy Interval Tipe 2,” *TELKA - Telekomunikasi Elektronika Komputasi dan Kontrol*, vol. 7, no. 1, pp. 1–10, May 2021.
- [16] M. F. Al Andzar and R. D. Puriyanto, “PID Control for Temperature and Motor Speed Based on PLC,” *Signal and Image Processing Letters*, vol. 1, no. 1, pp. 7–13, Mar. 2019.
- [17] M. Yuhendri, A. Aswardi, and H. Hambali, “Implementasi Pompa Air Otomatis Tenaga Surya Untuk Rumah Ibadah,” *JIPEMAS: Jurnal Inovasi Hasil Pengabdian Masyarakat*, vol. 3, no. 2, p. 166, 2020.
- [18] P. W. A. Sucipto and A. Firasanti, “Pengendali PID untuk Pengaturan Kecepatan Gerak Robot Omnidireksional Tiga Roda,” *TELKA - Telekomunikasi, Elektronika, Komputasi dan Kontrol*, vol. 6, no. 1, pp. 66–74, May 2020.
- [19] A. U. Darajat and S. Istiqphara, “JTEV (Jurnal Teknik Elektro dan Vokasional) Sistem Kontrol Ketinggian Air pada Sistem Dua Tanki dengan Menggunakan Metode Proporsional Integral (PI) Adaptif,” *JTEV (Jurnal Teknik Elektro dan Vokasional)*, vol. 7, no. 1, pp. 37–44, Mar. 2021.
- [20] S. Kadry and V. Rajinikanth, “Design of PID Controller for Magnetic Levitation System using Harris Hawks Optimization,” *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro Komputer dan Informatika*, vol. 6, no. 2, p. 70, 2021.
- [21] A. Ma’arif, N. R. Setiawan, and E. S. Rahayu, “Embedded Control System of DC Motor Using Microcontroller Arduino and PID Algorithm,” *IT Journal Research and Development*, vol. 6, no. 1, pp. 30–42, Mar. 2021.
- [22] M. R. Djalal and Rahmat, “Penalaan Optimal Kendali Motor DC Berbasis Ant Colony Optimization,” *Jurnal Teknologi*, vol. 12, no. 1, pp. 49–56, Feb. 2020.
- [23] E. Kurniawan, “Analysis and Simulation of PI and PID Control Systems Using Xcos Scilab,” *Journal of Technomaterials Physics*, vol. 2, no. 2, pp. 108–116, Aug. 2020.
- [24] M. H. Iqbal and W. S. Aji, “Wall Following Control System with PID Control and Ultrasonic Sensor for KRAI 2018 Robot,” *International Journal of Robotics and Control Systems*, vol. 1, no. 1, pp. 1–14, 2021.
- [25] A. Senen, ; Titi Ratnasari, ; Yoakim Simamora, J. T. Elektro, and I. T. Pln, “Perancangan Simulasi PID Controller Menggunakan Graphic User Interface dan Simulink,” *KILAT*, vol. 9, no. 2, pp. 181–191, Nov. 2020.
- [26] F. ISDARYANI, M. F. V. HESYA, and F. FERİYONIKA, “Sintesis Kendali PID Digital dengan Diskritisasi Langsung dan Backward Difference,” *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, vol. 9, no. 2, p. 467, Apr. 2021.
- [27] F. Isdaryani, F. Feriyonika, and R. Ferdiansyah, “Comparison of Ziegler-Nichols and Cohen Coon tuning method for magnetic levitation control system,” in *Journal of Physics: Conference Series*, 2020, vol. 1450, no. 1, p. 12033.
- [28] F. HADIATNA, A. DZULFAHMI, and D. NATALIANA, “Analisis Penerapan Kendali Otomatis berbasis PID terhadap pH Larutan,” *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, vol. 8, no. 1, p. 163, Jan. 2020.
- [29] S. W. Tika, S. Baqaruzi, and A. Muhtar, “Perancangan Sistem Pemantauan dan Pengendalian Debit Air Menggunakan Kontrol PID,” *Jurnal ELECTRON*, vol. 2, no. 1, pp. 41–47, May 2021.
- [30] E. Journal, T. Suksawat, and P. Kaewpradit, “Comparison of Ziegler-Nichols and Cohen-Coon Tuning Methods: Implementation to Water Level Control Based MATLAB and Arduino,” Apr. 2021.
- [31] V. V. Patel, “Ziegler-Nichols Tuning Method: Understanding the PID Controller,” *Resonance*, vol. 25, no. 10, pp. 1385–1397, Oct. 2020.
- [32] K. S. Chia, “Ziegler-nichols based proportional-integral-derivative controller for a line tracking robot,” *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 9, no. 1, pp. 221–226, Jan. 2018.
- [33] N. Allu and A. Toding, “Tuning with Ziegler Nichols Method for Design PID Controller at Rotate Speed DC Motor,” in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2020, vol. 846, no. 1, p. 012046.
- [34] S. A. Bhatti, S. A. Malik, and A. Daraz, “Comparison of P-I and I-P controller by using Ziegler-Nichols tuning method for speed control of DC motor,” in *2016 International Conference on Intelligent Systems Engineering, ICISE 2016*, 2016, pp. 330–334.
- [35] E. Widya Suseno and A. Ma’arif, “Tuning of PID Controller Parameters with Genetic Algorithm Method on DC Motor,” *International Journal of Robotics and Control Systems*, vol. 1, no. 1, pp. 41–53, 2021.