

**SISTEM KONTROL KECEPATAN MOTOR INDUKSI SATU FASA
MENGUNAKAN KONTROLER PID BERBASIS BAHASA
PEMROGRAMAN PYTHON**

SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Sebagai Syarat untuk Memperoleh Gelar Sarjana
Teknik Elektro Konsentrasi Teknik Tenaga Listrik Fakultas Pendidikan Teknologi
dan Kejuruan



Disusun oleh:

MUHAMMAD ALWI STALIST HIDAYAT

E.5051.1807250

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
DEPARTEMEN PENDIDIKAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS PENDIDIKAN TEKNOLOGI DAN KEJURUAN
UNIVERSITAS PENDIDIKAN INDONESIA
BANDUNG**

2022

**SISTEM KONTROL KECEPATAN MOTOR INDUKSI SATU FASA
MENGUNAKAN KONTROLER PID BERBASIS BAHASA
PEMROGRAMAN PYTHON**

Oleh

Muhammad Alwi Stalist Hidayat

Sebuah skripsi yang diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Sarjana Teknik pada Fakultas Pendidikan Teknologi dan Kejuruan

© Muhammad Alwi Stalist Hidayat

Universitas Pendidikan Indonesia

Juli 2022

Hak cipta dilindungi oleh undang-undang.

Skripsi tidak boleh diperbanyak seluruhnya atau sebagian,
dengan dicetak ulang, difotokopi, atau cara lainnya tanpa seijin penulis.

LEMBAR PENGESAHAN

**MUHAMMAD ALWI STALIST HIDAYAT
E.5051.1807250**

**SISTEM KONTROL KECEPATAN MOTOR INDUKSI SATU FASA
MENGUNAKAN KONTROLER PID BERBASIS BAHASA
PEMROGRAMAN PYTHON**

Disetujui dan disahkan oleh:

Pembimbing I,



Dr. Ir. H. Dadang Lukman Hakim, M.T.

NIP. 196110604 198603 1 001

Pembimbing II,

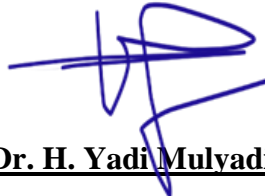


Dr. Ir. Maman Somantri, S.Pd., M.T

NIP. 19720119 200112 1 001

Mengetahui,

Ketua Departemen Pendidikan Teknik Elektro



Dr. H. Yadi Mulyadi, M.T

NIP. 19630727 199302 1 001

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul “**SISTEM KONTROL KECEPATAN MOTOR INDUKSI SATU FASA MENGGUNAKAN KONTROLER PID BERBASIS BAHASA PEMROGRAMAN PYTHON**” ini beserta seluruh isinya adalah benar-benar karya saya sendiri. Saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan dengan cara-cara yang tidak sesuai dengan etika ilmu yang berlaku dalam masyarakat keilmuan. Atas pernyataan ini, saya siap menanggung resiko/sanksi apabila di kemudian hari ditemukan adanya pelanggaran etika keilmuan atau ada klaim dari pihak lain terhadap keaslian karya saya ini.

Bandung, Juli 2022

Yang membuat pernyataan

Muhammad Alwi Stalist Hidayat

NIM. 1807250

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, karena atas limpahan rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyusun dan menyelesaikan penulisan skripsi yang berjudul “Sistem Kontrol Kecepatan Motor Induksi Satu Fasa Menggunakan Kontroler PID Berbasis Bahasa Pemrograman Python” dengan baik serta lancar. Skripsi ini disusun sebagai bagian dari persyaratan untuk meraih gelar Sarjana Teknik di Universitas Pendidikan Indonesia, Fakultas Pendidikan Teknologi dan Kejuruan, Departemen Pendidikan Teknik Elektro, Program Studi S1-Teknik Elektro.

Dalam penyusunan skripsi ini penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan dorongan, baik dalam bentuk do’a, bimbingan, bantuan informasi, pengetahuan, semangat dan motivasi dari berbagai pihak, laporan ini tidak akan terwujud. Maka dari itu, dengan segala hormat dan kerendahan hati penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Ganda Saeful Hidayat dan Ibu N. Dewi Karyati, selaku orang tua penulis yang selalu memberikan motivasi, doa, serta ridho untuk penulis agar terus berusaha, sehingga kelak penulis dapat mengamalkan ilmu dari hasil studinya agar bermanfaat bagi masyarakat;
2. Dr. H. Yadi Mulyadi, M.T. selaku Ketua Departemen Pendidikan Teknik Elektro, Universitas Pendidikan Indonesia yang telah memfasilitasi berbagai aspek selama perkuliahan penulis;
3. Iwan Kustiawan, S.Pd., M.T., Ph.D. selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro, Universitas Pendidikan Indonesia yang selalu membantu penulis selama menjadi mahasiswa di Program Studi Teknik Elektro;
4. Dr. Ir. H. Dadang Lukman Hakim, M.T. selaku Dosen pembimbing I yang selalu menyempatkan waktu untuk memberikan bantuan saran dan arahan terhadap penelitian skripsi penulis;
5. Dr. Ir. Maman Somantri, S.Pd., M.T. selaku Dosen pembimbing II yang telah dengan baik dan sabar membimbing penulis dalam memahami dan mengerjakan penelitian skripsi;

6. Dr. I Wayan Ratnata, S.T., M.Pd. Selaku Dosen pembimbing akademik, yang selalu mengingatkan, mengarahkan dan membimbing penulis dalam segala urusan perkuliahan;
7. Siti Maulidan, S.Pd, selaku teman penulis yang selalu memberikan motivasi, dukungan, dan mengingatkan penulis dalam perkuliahan dan pengerjaan penelitian ini;
8. Ilham Anugerah, Fajar Dwi, Maryana dan Nabila selaku kakak dari penulis yang selalu memberikan segala bantuan dan motivasi kepada penulis;
9. Husni Mutaqqin, S.Pd, selaku kakak tingkat penulis yang selalu meluangkan waktunya untuk membantu dan membimbing penulis dalam aspek penelitian;
10. Indera Alam selaku rekan penulis dalam penelitian atas kerjasama pada penelitian sistem kontrol kecepatan motor induksi satu fasa;
11. Ilham Septiana, S.Tr.T, selaku rekan penulis yang telah membantu serta memberi saran dalam membuat penelitian;
12. Teman-teman Program Studi Teknik Elektro 2018, yang telah dengan baik menjadi teman seperjuangan penulis.

Semoga Allah SWT membalaskan amal kebaikan kepada semua pihak yang telah membantu dalam penulisan skripsi ini. Penulis menyadari dalam penulisan skripsi ini tidaklah sempurna masih terdapat banyak kekurangan, maka dari itu penulis memohon maaf sebesar-besarnya apabila terdapat kesalahan dalam penulisan ini. Oleh karena itu, kritik dan saran, penulis harapkan demi pengembangan lebih lanjut. Akhir kata, penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi berbagai pihak khususnya bagi penulis.

Bandung, Juli 2022

Penulis

ABSTRAK

Motor induksi satu fasa banyak digunakan dalam kebutuhan industri, maupun kebutuhan rumah tangga. Pada penggunaannya motor induksi satu fasa dalam berbagai peralatan selalu dalam kondisi kecepatan penuh. Tujuan dari penelitian ini adalah membuat sistem kontrol kecepatan pada motor induksi satu fasa agar dapat diubah-ubah sesuai keinginan dan menurunkan nilai *error*, menggunakan kontroler PID dengan *software* berbasis python dan GUI (*Graphical User Interface*) untuk memudahkan dalam proses pemasukan *set point* dan *tuning* PID. Perancangan yang dilakukan meliputi tahap perancangan sistem bagaimana *software* bekerja pada motor, tahap selanjutnya adalah proses perancangan *software* yang terdiri dari kebutuhan perancangan berupa *software* pemrograman dan langkah-langkah dalam pembuatan GUI. Setelah dilakukan perancangan maka dilakukan pengujian pada fungsi tampilan GUI dan kontrol PID. *Tuning* kontroler PID didapatkan dengan menggunakan metode *trial and error* atau mencoba-coba pada nilai P, I dan D. Hasil *tuning* didapatkan $K_p = 0,0035$, $K_i = 0,0024$ dan $K_d = 0,0028$. Pengujian ini dilakukan dengan dua kondisi, yaitu menggunakan motor tanpa beban dan motor menggunakan beban berupa *grinder* atau penggiling makanan. Dari penerapan *tuning* K_p , K_i dan K_d didapatkan hasil terbaik pada keadaan motor tanpa beban yaitu di *set point* kecepatan 2300 RPM dengan hasil *time settling* 18 detik, *error steady state* 1,2% dan *maximum overshoot* 13,8%. Sedangkan pada motor menggunakan beban, yaitu di *set point* kecepatan 2700 RPM dengan nilai *time settling* 53,2 detik, *error steady state* 1,7% dan *maximum overshoot* 6,2%.

Kata Kunci: Motor Induksi Satu Fasa, Kontroler PID, Python, *Graphical User Interface*.

ABSTRACT

Single-phase induction motors are widely used in industrial and household needs. In the use of single-phase induction motors in various equipment, it is always in full speed condition. The purpose of this study is to make a speed control system on a single-phase induction motor so that it can be changed as desired and reduce the error value, using a PID controller with software based on the python and GUI (Graphical User Interface) to facilitate the process of entering set points. and set the PID. The design carried out includes the system design stage how the software works on the motor, the next stage is the software design process which consists of designing in the form of software programming and the steps in making a GUI. After the design is done, testing is carried out on the GUI display function and PID control. PID controller tuning is obtained by using the trial and error method or experimenting with P, I, and D values. The tuning results obtained are $K_p = 0.0035$, $K_i = 0.0024$ and $K_d = 0.00028$. This test was carried out under two conditions, namely using a motor without a load and the motor using a load in the form of a grinder or food grinder. From the application of K_p , K_i , and K_d tuning, the best results are obtained at no-load motor conditions, namely the set point speed of 2300 RPM with the results of a settling time of 18 seconds, a steady state error of 1.2%, and a maximum overshoot of 13.8%. While the motor uses a load, namely at the set point speed of 2700 RPM with a settling time value of 53.2 seconds, a steady state error of 1.7%, and a maximum overshoot of 6.2%.

Keywords: Single-phase induction motors, PID controller, Python, Graphical User Interface.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAK	vi
<i>ABSTRACT</i>	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL.....	xii
BAB I	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Struktur Organisasi Skripsi.....	4
BAB II.....	6
KAJIAN PUSTAKA.....	6
2.1 Motor Listrik	6
2.1.1 Motor Induksi Satu Fasa	7
2.2 Sistem Kontrol.....	13
2.2.1 Sistem Kontrol <i>Open Loop</i> (Lup Terbuka).....	14
2.2.2 Sistem Kontrol <i>Close Loop</i> (Lup Tertutup)	15
2.2.3 Respon Sistem.....	15
2.3 Kontroler PID	16
2.3.1 Kontroler <i>Proportional</i>	18
2.3.2 Kontroler <i>Integral</i>	19
2.3.3 Kontroler <i>Derivative</i>	19
2.3.4 Karakteristik Kontroler PID.....	20
2.3.5 <i>Tuning</i> PID Menggunakan Metode <i>Trial and Error</i>	21
2.3.6 Sistem Kontrol PID Pada Motor	21
2.4 Python.....	22

2.4.1	Kelebihan Python.....	22
2.4.2	Kekurangan Python.....	23
2.5	GUI.....	23
2.6	Studi Literatur.....	24
BAB III.....		26
METODE PENELITIAN.....		26
3.1	Prosedur Penelitian.....	26
3.2	Perancangan Sistem.....	28
3.3	Perancangan <i>Software</i>	31
3.3.1	Kebutuhan Perancangan <i>Software</i>	31
3.3.2	Langkah-langkah Perancangan <i>software</i>	32
3.4	Metode Pengujian <i>Software</i>	34
BAB IV		35
TEMUAN DAN PEMBAHASAN		35
4.1	Temuan Hasil Penelitian.....	35
4.1.1	Pembuatan GUI (<i>Graphical User Interface</i>).....	35
4.1.2	Pengujian Kontroler PID.....	40
4.2	Pembahasan Hasil Penelitian.....	53
BAB V.....		55
SIMPULAN, IMPLIKASI DAN REKOMENDASI		55
5.1	Simpulan.....	55
5.2	Implikasi.....	56
5.3	Rekomendasi	56
DAFTAR PUSTAKA		57
LAMPIRAN.....		60

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Klasifikasi Jenis Motor Listrik	6
Gambar 2.2 Kontruksi Motor Induksi Satu Fasa	8
Gambar 2.3 Rangkaian Ekvivalen Motor Induksi Satu Fasa <i>Split-Phase</i> (Fasa Belah)	11
Gambar 2.4 Rangkaian Ekvivalen Motor Induksi Satu Fasa Kapasitor <i>start</i>	11
Gambar 2.5 Rangkaian Ekvivalen Motor Induksi Satu Fasa Kapasitor <i>Run</i>	12
Gambar 2.6 Rangkaian Ekvivalen Motor Induksi Satu Fasa Kapasitor <i>Start-Run</i>	13
Gambar 2.7 Rangkaian Ekvivalen Motor Induksi Satu Fasa <i>Shaded Pole</i>	13
Gambar 2.8 <i>Block Diagram</i> Sistem Kontrol <i>Open Loop</i>	15
Gambar 2.9 <i>Block diagram</i> Sistem Kontrol <i>Close Loop</i>	15
Gambar 2.10 Kurva Respon Sistem	16
Gambar 2.11 <i>Blok Diagram</i> Sistem Kontroler PID	17
Gambar 2.12 <i>Block Diagram</i> Kontroler <i>Proportional</i>	18
Gambar 2.13 <i>Blok Diagram</i> Kontroler <i>Integral</i>	19
Gambar 2.14 <i>Block Diagram</i> Kontroler <i>Derivative</i>	20
Gambar 2.15 Kontrol PID Pada Motor Induksi Satu Fasa	21
Gambar 2.16 Python	22
Gambar 3.1 Diagram Alir (Flowchart) Penelitian	26
Gambar 3.2 <i>Flowchart</i> (Diagram Alir) Perancangan <i>Software</i>	28
Gambar 3.3 Diagram Blok Sistem Kerja <i>Software</i>	29
Gambar 3.4 <i>Flowchart</i> (Diagram Alir) Sistem Kerja <i>Software</i>	31
Gambar 3.5 <i>Flowchart</i> (Diagram Alir) Pemrograman GUI	33
Gambar 4.1 Tampilan Awal Aplikasi Notepad++	36
Gambar 4.2 Tampilan Awal Aplikasi Thonny	36
Gambar 4.3 Tampilan GUI (<i>Graphical User Interface</i>) untuk Proses kontrol motor.	37
Gambar 4.4 Tampilan <i>Radial Bar Set Point Value</i>	37
Gambar 4.5 Tampilan <i>Gauge Sensor Value</i>	38
Gambar 4.6 Tampilan <i>Radial Bar Control Signal</i>	38
Gambar 4.7 Tampilan <i>Slider Set Point</i> dan PID Parameter	38
Gambar 4.8 Tampilan isi <i>Setting</i>	39

Gambar 4.9 Tampilan Grafik.....	40
Gambar 4.10 Kurva Respon <i>Set Point</i> 500 RPM Tanpa Beban	42
Gambar 4.11 Kurva Respon <i>Set Point</i> 1000 RPM Tanpa Beban	43
Gambar 4.12 Kurva Respon <i>Set Point</i> 2000 RPM Tanpa Beban	44
Gambar 4.13 Kurva Respon <i>Set Point</i> 2300 RPM Tanpa Beban	45
Gambar 4.14 Kurva Respon <i>Set Point</i> 2500 RPM Tanpa Beban	46
Gambar 4.15 Kurva Respon <i>Set Point</i> 2700 RPM Tanpa Beban	47
Gambar 4.16 Kurva Respon <i>Set Point</i> 2000 RPM Dengan Beban.....	49
Gambar 4.17 Kurva Respon <i>Set Point</i> 2300 RPM Dengan Beban.....	50
Gambar 4.18 Kurva Respon <i>Set Point</i> 2300 RPM Dengan Beban.....	51
Gambar 4.19 Kurva Respon <i>Set Point</i> 2700 RPM Dengan Beban.....	52

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Karakteristik Kontroler PID	20
Tabel 3.1 Kebutuhan Alat dan Aplikasi Pendukung	32
Tabel 4.1 Tampilan GUI dan Hasil Pembacaan <i>Digital Tachometer</i> Pada <i>Set Point</i> 500 RPM Tanpa Beban	41
Tabel 4.2 Tampilan GUI dan Hasil Pembacaan <i>Digital Tachometer</i> Pada <i>Set Point</i> 1000 RPM Tanpa Beban	43
Tabel 4.3 Tampilan GUI dan Hasil Pembacaan <i>Digital Tachometer</i> Pada <i>Set Point</i> 2000 RPM Tanpa Beban	44
Tabel 4.4 Tampilan GUI dan Hasil Pembacaan <i>Digital Tachometer</i> Pada <i>Set Point</i> 2300 RPM Tanpa Beban	45
Tabel 4.5 Tampilan GUI dan Hasil Pembacaan <i>Digital Tachometer</i> Pada <i>Set Point</i> 2500 RPM Tanpa Beban	46
Tabel 4.6 Tampilan GUI dan Hasil Pembacaan <i>Digital Tachometer</i> Pada <i>Set Point</i> 2700 RPM Tanpa Beban	47
Tabel 4.7 Hasil Pengujian Respon Motor Tanpa Beban <i>Set Point</i> 500 RPM, 1000 RPM, 2000 RPM, 2300 RPM, 2500 RPM, dan 2700 RPM.....	48
Tabel 4.8 Tampilan GUI dan Hasil Pembacaan <i>Digital Tachometer</i> Pada <i>Set Point</i> 2000 RPM Dengan Beban.....	49
Tabel 4.9 Tampilan GUI dan Hasil Pembacaan <i>Digital Tachometer</i> Pada <i>Set Point</i> 2300 RPM Dengan Beban.....	50
Tabel 4.10 Tampilan GUI dan Hasil Pembacaan <i>Digital Tachometer</i> Pada <i>Set point</i> 2500 RPM Dengan Beban.....	51
Tabel 4.11 Tampilan GUI dan Hasil Pembacaan <i>Digital Tachometer</i> Pada <i>Set point</i> 2700 RPM Dengan Beban.....	52
Tabel 4.12 Hasil Pengujian Respon Motor Dengan Beban <i>Set Point</i> 2000 RPM, 2300 RPM, 2500 RPM, dan 2700 RPM.....	53

DAFTAR PUSTAKA

- Agung, M. (2016). Buku Ajar Sistem Kontrol Jilid 1.
- Alima, S. N., Fauziyah, M., & Dewatama, D. (2020). PI Controller Untuk Mengatur Kecepatan Motor Induksi 1 Fasa. *AVITEC*, 2(2), 161-169. doi : <http://dx.doi.org/10.28989/avitec.v2i2.647>.
- Bagia, I. N., & Parsa, I. M. (2018). *Motor - Motor Listrik*. Kupang: CV. Rasi Terbit.
- Bahasa Pemograman Python : Pengertian, Sejarah, Kelebihan dan Kekurangannya* . (2019, September 2). Diambil kembali dari baktikominfo.id:
https://www.baktikominfo.id/id/informasi/pengetahuan/bahasa_pemrograman_python_pengertian_sejarah_kelebihan_dan_kekurangannya-954
- Chairuzzaini. (1998). *Pengenalan Metode Ziegler-Nichols pada Perancangan Kontroler pada PID*. Diambil kembali dari Elektroindonesia.com:
<https://www.elektroindonesia.com/elektro/tutor12.html>
- Chapman, S. J. (2005). *Electric Machinery Fundamentals 4th Edition*. New York: The McGraw,Hill Companies. Inc.
- Danial, E., & Warsial, N. (2009). *Metode Penulisan Karya Ilmiah*. Bandung: Laboratorium PKn Universitas Pendidikan Nasional.
- Eugene, L. C. (1993). *Mesin Dan Rangkaian Listrik* . Jakarta : Erlangga.
- Fitzgerald, & Kingsley Jr, C. (1993). *Mesin-mesin Listrik*. Jakarta: Erlangga.
- Guterus, F. (1988). *Falsafah Dasar : Sistem Pengendali Proses*. Jakarta: PT. Elex Media Komputindo.
- Hadi, A. (2016). Perbandingan Tuning Parameter Kontroler PID Menggunakan Metode Trial and Error dengan Analisa Gain Pada Motor Servo AC. *Jurnal INOVTEK POLBENG* , 1-2. doi: <https://doi.org/10.35314/ip.v6i1.42>.
- Hakim, E. A. (2021). *Sistem Kontrol*. Malang: UMM Press.

- Haryanto, H., & Hidayat, S. (2012). Perancangan HMI (Human Machine Interface) Untuk Pengendalian Kecepatan Motor DC. *SETRUM*, 9-16. doi: <http://dx.doi.org/10.36055/setrum.v1i2.476>.
- Manik, A. N. (2013). Analisis Perbandingan Unjuk Kerja Motor Induksi Satu Fasa Split-Phase dan Motor Induksi Satu Fasa Kapasitor Start-Run dengan Menggunakan Matlab Simulink. *SIGUDA ENSIKOM*, 47-52.
- Muhardian, R., & Krismadinata. (2020). Kendali Kecepatan Motor DC Dengan Kontroller PID dan Antarmuka Visual Basic. *JTEV (Jurnal Teknik Elektro dan Vokasional)*, 2-5. doi: <https://doi.org/10.24036/jtev.v6i1.108034>.
- Narzul. (2018). Aplikasi Kontrol PID pada Reaktor Pabrik Asam Formiat dengan Kapasitas 100.000 Ton/Tahun. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 8-9. doi: <https://doi.org/10.29103/jtku.v7i2.1253>.
- Ogata, K. (2010). *Modern Control Engineering 5th Edition*. New Jersey: Prentice Hal.
- Parekh, R. (2003). *AC Induction Motor Fundamentals*. Microchip Technology Inc.
- Perdikaris, G. A. (1991). *Preview: Computer controlled systems : theory and applications*. Dordrecht Kluwer Academic Publishers.
- Rosalina. (2017). Analisis Pengaturan Kecepatan Motor DC Menggunakan Kontrol PID (Proportional Integral Derivative). *Seminar Nasional TEKNOKA*, 2, 89-94.
- Senen, A., Ratnasari, T., & Simamora, Y. (2020). Perancangan Simulasi PID Controller Menggunakan Graphic User Interface dan Simulink. *KILAT*, 181-191. doi : <https://doi.org/10.33322/kilat.v9i2.1015>.
- Skrikandi. (2020, april 17). *Belajar Dasar Python: Membuat Graphical User Interface menggunakan Built-In Package Tkinter*. Diambil kembali dari predatech: <https://predatech.org/belajar-dasar-python-membuat-graphical-user-interface-menggunakan-built-in-package-tkinter/#:~:text=GUI%20adalah%20Graphical%20User%20Interface,tanpa%20mengetik%20perintah%20pada%20komputer>.

- Summerfield, M. (2009). *Programming in Python 3 (edisi ke-2nd)*. Addison-Wesley Professional.
- Tanjung, A. (2018). Analisis Penggunaan Energi Listrik Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan Variable Speed Drive (VSD). *SainETIn*, 2(2), 52-59. doi: <https://doi.org/10.31849/sainetin.v2i2.1218>.
- Wijaya, E. C. (2011). Auto Tuning PID Berbasis Metode Osilasi Ziegler-Nichols Menggunakan Mikrokontroler AT89S52 pada Pengendalian Suhu. 2-3.
- Wisnu, D., & Wahjudi, A. (2016). Perancangan Sistem Kontrol PID Untuk Pengendali Sumbu Azimuth Turret Pada Turret-gun Kaliber 20mm. *Jurnal Teknik ITS*, 512-516. doi: <http://dx.doi.org/10.12962/j23373539.v5i2.18110>.
- Zaidir, J. (2015). Implementasi Kendali PID Penalaan Ziegler-Nichols Menggunakan Mikrokontroler. *Jurnal Informatika*, 81-88. doi: <https://doi.org/10.30873/ji.v15i1.410>.
- Zuhal. (1995). *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*. Jakarta: Gramedia.