

**RANCANG BANGUN SISTEM KONTROL KECEPATAN MOTOR
INDUKSI SATU FASA MENGGUNAKAN KONTROLER PID BERBASIS
MIKROKONTROLER DENGAN PROTOKOL KOMUNIKASI UART**

SKRIPSI

Diajukan untuk sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Elektro
Konsentrasi Teknik Tenaga Listrik Departemen Pendidikan Teknik Elektro
Fakultas Pendidikan Teknologi dan Kejuruan



Disusun oleh:

Indera Alam

E5051.1807978

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

2022

**RANCANG BANGUN SISTEM KONTROL KECEPATAN MOTOR
INDUKSI SATU FASA MENGGUNAKAN KONTROLER PID BERBASIS
MIKROKONTROLER DENGAN PROTOKOL KOMUNIKASI UART**

Oleh

Indera Alam

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

© Indera Alam

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

INDERA ALAM

1807250

**RANCANG BANGUN SISTEM KONTROL KECEPATAN MOTOR
INDUKSI SATU FASA MENGGUNAKAN KONTROLER PID BERBASIS
MIKROKONTROLER DENGAN PROTOKOL KOMUNIKASI UART**

Disetujui dan disahkan oleh:

Pembimbing I,



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

NIP. 19610604 198603 1 001

Pembimbing II,



Dr. Ir. Maman Somantri, 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 **“RANCANG BANGUN SISTEM KONTROL KECEPATAN MOTOR INDUKSI SATU FASA MENGGUNAKAN KONTROLER PID BERBASIS MIKROKONTROLER DENGAN PROTOKOL KOMUNIKASI UART”** 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 klain dari pihak lain terhadap keaslian karya saya ini.

Bandung, 30 Juli 2022

Yang membuat pernyataan

Indera Alam

NIM.1807978

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kehadirat Allah سبحانه وتعالى atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis mendapat jalan kemudahan untuk menyelesaikan skripsi dengan judul “**Rancang Bangun Sistem Kontrol Kecepatan Motor Induksi Satu Fasa Menggunakan Kontroler PID Berbasis Mikrokontroler Dengan Protokol Komunikasi UART**” dengan tepat waktu. Skripsi ini sebagai salah satu usaha kewajiban yang harus dilakukan penulis untuk mendapat gelar Sarjana Teknik di Universitas Pendidikan Indonesia.

Segala bentuk usaha dan upaya yang dilakukan penulis untuk menyelesaikan skripsi, disisi lain telah banyak pihak yang membantu dalam bentuk dukungan maupun doa sehingga skripsi ini berjalan dengan baik dan lancar. Oleh karena itu penulis ingin mengucapkan terimakasih atas bantuan dan bimbinganya kepada:

1. Allah سبحانه وتعالى, karena atas limpahan rahmat dan karunianya, penulis dapat menyusun laporan ini dengan tepat waktu;
2. Bapak Sunandi, dan Ibu Siti Juangsih, selaku orang tua penulis atas segala keikhlasannya memberikan segala dukungan dalam bentuk doa dan motivasi;
3. Desti Annisa Matiin dan Arry Abiyyu Ramadhan selaku kakak dari penulis yang selalu mendukung penulis dalam mengerjakan skripsi;
4. Bapak Dr. Yadi Mulyadi, M.T. selaku Ketua Departemen Pendidikan Teknik Elektro Universitas Pendidikan Indonesia;
5. 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;
6. Dr. Ir. Dadang Lukman Hakim, M.T. Selaku Dosen pembimbing I yang selalu menyempatkan waktu serta memberikan saran dan arahan terhadap penelitian skripsi penulis;
7. Dr. Ir. Maman Somantri, M.T. Selaku Dosem pembimbing II yang telah dengan baik dan sabar membimbing penulis dalam memahami dan mengerjakan penelitian skripsi;

8. Wawan Purnama, S.Pd., MSi. Selaku Dosen pembimbing akademik, yang selalu mengingatkan, mengarahkan dan membimbing penulis dalam segala urusan perkuliahan;
9. Husni Mutaqqin, S.Pd, selaku kakak tingkat penulis yang selalu meluangkan waktunya untuk membantu dan membimbing penulis dalam aspek penelitian;
10. Muhammad Alwi Stalis Hidayat 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.
13. Teman-Teman Kost Ikhwan, yang selalu memberi keceriaan disetiap harinya.

Semoga Allah سبحانه وتعالى membalas amal kebaikan kepada semua pihak yang telah membantu pembuatan skripsi ini. Pembuatan skripsi ini penulis tentunya menyadari masih banyak kekurangan dan ketidaksempurnaan oleh karena itu penyusun sangat menerima kritik dan saran yang diberikan yang sifatnya membangun. Oleh karena itu penulis berharap skripsi ini dapat memberi manfaat bagi para pembaca khususnya bagi penulis.

Bandung, Juli 2022

Penulis

ABSTRAK

Motor induksi satu fasa banyak di gunakan secara luas di berbagai industri kecil dan industri rumahan karena biayanya yang tergolong minim, handal, dan kuat. Pada saat penggunaanya, motor induksi satu fasa disaat tidak di kontrol kecepatan putarannya hanya dapat berputar dalam dua keadaan, yaitu pada kecepatan maksimal dan keadaan mati. Penelitian ini bertujuan untuk membuat alat untuk mengatur kecepatan motor induksi satu fasa secara stabil. Metode penelitian ini adalah menggunakan kontrol PID menggunakan mikrokontroler Arduino Uno sebagai pembangkit gelombang PWM. Pada penelitian ini, hasil terbaik keadaan tanpa beban pada *setpoint* 2000rpm, yaitu dengan waktu stabil tercepat sebesar 17 detik dengan nilai stabil 38 volt pada pengujian tegangan dan 19 detik dengan nilai stabil 0,21 ampere pada pengujian arus. Sedangkan dalam keadaan dengan beban dihasilkan nilai terbaik pada setpoint 2300rpm, yaitu dengan waktu stabil tercepat sebesar 45 detik dengan nilai stabil 56 volt pada pengujian tegangan dan 21 detik dengan nilai stabil 0,36 ampere pada pengujian arus.

Kata kunci : Arduino, Kontrol PID, Motor Induksi Satu Fasa, Dimmer, Sensor E18-D80NK.

ABSTRACT

Single-phase induction motors are widely used in various small industries and home industries because of their low cost, reliable, and strong. At the time of its use, a single-phase induction motor when not in control of its rotational speed can only rotate in two states, namely at maximum speed and in the off state. This study aims to make a device to regulate the speed of a single phase induction motor stably. This research method is using PID control using Arduino Uno microcontroller as a PWM wave generator. In this study, the best results are no-load conditions at the setpoint of 2000rpm, with the fastest stable time of 17 seconds with a stable value of 38 volts on the voltage test and 19 seconds with a stable value of 0.21 amperes on the current test. While in a state with a load the best value is produced at the setpoint of 2300rpm, which is the fastest stable time of 45 seconds with a stable value of 56 volts on the voltage test and 21 seconds with a stable value of 0.36 amperes on the current test.

Keywords: Arduino, PID Control, Single Phase Induction Motor, Dimmer, Sensor E18-D80NK.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN.....	ii
KATA PENGANTAR	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Sistematika Pembahasan	3
BAB II KAJIAN PUSTAKA	5
2.1 Sistem Kontrol.....	5
2.1.1 Sistem Kontrol <i>Loop</i> Terbuka (<i>Open-Loop Control System</i>)	5
2.1.2 Sistem Kontrol <i>Loop</i> Tertutup (<i>Closed-Loop Control System</i>).....	6
2.2 <i>Universal Asynchronous Receiver Transmitter</i> (UART)	6
2.3 Motor Induksi	8
2.3.1 Kecepatan Motor Induksi.....	8
2.3.2 Motor Induksi Satu Fasa	9
2.3.3 Konstruksi Umum	10
2.3.4 Jenis-Jenis Motor Induksi Satu Fasa	11
2.3.5 Pengaturan kecepatan Motor Induksi.....	16
2.4 Arduino.....	17
2.4.1 Arduino UNO.....	17
2.4.2 Power.....	19

2.4.3	Input dan Output	20
2.4.4	Komunikasi	21
2.4.5	Software Arduino	22
2.5	Dimmer PWM (Pulse Width Modulation/Modulasi Lebar Pulsa)	24
2.5.1	Penyalan Bebas	24
2.5.2	Penyalan Berdasarkan Titik Nol	25
2.6	Sensor Kecepatan E18-D80NK	26
2.7	Kontrol PID (Proporsional-Integral-Derevatif)	28
2.7.1	Kontrol Proporsional	28
2.7.2	Kontrol Integral	29
2.7.3	Kontrol Derevatif	29
2.7.4	Persamaan PID	29
BAB III METODE PENELITIAN		31
3.1	Prosedur Penelitian	31
3.2	Perancangan Sistem	34
3.3	Perancangan <i>Hardware</i>	35
3.4.1	Kebutuhan Perancangan Alat	36
3.4.2	Penentuan Motor Induksi	37
3.4.3	Perancangan Dimmer PWM	38
3.4.4	Perancangan Sensor Kecepatan E18-D80NK	38
3.4.5	Perancangan Beban Grinder	39
3.4.6	Perancangan Baling-Baling Motor	40
3.4.7	Perancangan Bracket Sensor E18-D80NK	41
3.4	Perancangan Program Arduino	41
3.5	Metode Pengujian Alat	42
BAB IV TEMUAN DAN PEMBAHASAN		43
4.1	TEMUAN	43
4.1.1	Proses Pembuatan	43
4.2.1	Hasil Pengujian	49
4.2	PEMBAHASAN	66
BAB V SIMPULAN, IMPLIKASI, DAN REKOMENDASI		69
5.1	Simpulan	69

5.2	Implikasi.....	69
5.3	Rekomendasi	70
DAFTAR PUSTAKA		71
LAMPIRAN.....		73
Lampiran 1	Pengujian Error Motor Induksi.....	74
Lampiran 2	Pengujian Sensor E18-D80NK.....	75
Lampiran 3	Pengujian Dimmer PWM.....	75
Lampiran 4	Pengujian Sistem Kontrol Motor Induksi.....	77
Lampiran 5	Pengujian Sensor E18-D80NK.....	82
Lampiran 6	Pengujian Dimmer.....	83
Lampiran 7	Program Arduino	84

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Block Diagram Sistem.....	5
Gambar 2. 2 Block Diagram Sistem Loop Terbuka.....	5
Gambar 2. 3 Block Diagram Sistem Loop Tertutup.....	6
Gambar 2. 4 Format Data UART	7
Gambar 2. 5 (a) rangkaian ekivalem motor induksi 1 fasa (b) Rangkaian pengganti motor induksi satu fasa.....	10
Gambar 2. 6 Kontruksi Umum Motor Induksi Satu Fasa.....	11
Gambar 2. 7 Motor Fasa Terpisah.....	12
Gambar 2. 8 Motor Kapasitor Start	13
Gambar 2. 9 Motor Kapasitor Permanen.....	14
Gambar 2. 10 Motor Kapasitor Start – Kapasitor Run.....	15
Gambar 2. 11 Motor Shaded Pole	16
Gambar 2. 12 karakteristik pengaturan kecepatan terhadap perubahan frekuensi	16
Gambar 2. 13 Board Arduino	18
Gambar 2. 14 Tampilan Arduino IDE.....	22
Gambar 2. 15 Menu Bar Arduino IDE	22
Gambar 2. 16 Toolbar Software Arduino IDE	23
Gambar 2. 17 Rangkaian Dimmer Penyalan Bebas.....	25
Gambar 2. 18 Gelombang Dimmer Penyalan Bebas	25
Gambar 2. 19 Rangkaian Dimmer SCR	26
Gambar 2. 20 Rangkaian Zero Crossing Detector.....	26
Gambar 2. 21 Gelombang Zero Crossing Detector	26
Gambar 2. 22 Sensor E18-D80NK.....	27
Gambar 2. 23 Blok Diagram Sistem Kontrol PID.....	28
Gambar 3. 1 Diagram Alir (flowchart) penelitian	32
Gambar 3. 2 Diagram Alir (flowchart) Perancangan Alat.....	33
Gambar 3. 3 Blok Diagram Sistem.....	34
Gambar 3. 4 Diagram Alir (flowchart) Perancangan Hardware.....	35

Gambar 3. 5 Wiring Dimmer PWM Arduino.....	38
Gambar 3. 6 Wiring Sensor E18-D80NK.....	39
Gambar 3. 8 Perancangan Baling-Baling Motor	40
Gambar 3. 11 Diagram Alir (flowchart) Perancangan Program.....	41
Gambar 4. 1 Rangkaian Aktual Sensor E18-D80NK.....	43
Gambar 4. 2 Rangkaian Aktual Dimmer PWM	44
Gambar 4. 3 Pulley Motor	45
Gambar 4. 4 Pulley Grinder.....	45
Gambar 4. 5 Belt.....	46
Gambar 4. 6 Pembuatan Baling-Baling Motor	46
Gambar 4. 7 Pembuatan Bracket Sensor E18-D80NK.....	47
Gambar 4. 8 Diagram Alir Pembuatan Program	48
Gambar 4. 9 Pengujian Fungsi Grinder.....	52
Gambar 4. 10 Pengujian Fungsi Baling-baling Motor	53
Gambar 4. 11 Pengujian Bracket Sensor E18-D80NK	53
Gambar 4. 12 Pengujian Program Arduino	54
Gambar 4. 13 Respon Tegangan Tanpa Beban 2000rpm.....	55
Gambar 4. 14 Respon Arus Tanpa Beban 2000rpm.....	55
Gambar 4. 15 Respon Tegangan Tanpa Beban 2300rpm.....	56
Gambar 4. 16 Respon Arus Tanpa Beban 2300rpm.....	56
Gambar 4. 17 Respon Tegangan Tanpa Beban 2500rpm.....	57
Gambar 4. 18 Respon Arus Tanpa Beban 2500rpm.....	57
Gambar 4. 19 Respon Tegangan Tanpa Beban 2700rpm.....	58
Gambar 4. 20 Respon Tegangan Tanpa Beban 2300rpm.....	58
Gambar 4. 21 Kurva Tegangan Tanpa Beban	60
Gambar 4. 22 Kurva Arus Tanpa Beban	60
Gambar 4. 23 Respon Tegangan Dengan Beban 2000rpm	61
Gambar 4. 24 Respon Arus Dengan Beban 2000rpm	61
Gambar 4. 25 Respon Tegangan Dengan Beban 2300rpm	62
Gambar 4. 26 Respon Arus Dengan Beban 2300rpm	62
Gambar 4. 27 Respon Tegangan Dengan Beban 2500rpm	63

Gambar 4. 28 Respon Arus Dengan Beban 2500rpm	63
Gambar 4. 29 Respon Tegangan Dengan Beban 2700rpm	64
Gambar 4. 30 Respon Arus Dengan Beban 2700rpm	64
Gambar 4. 31 Kurva Tegangan Dengan Beban.....	66
Gambar 4. 32 Kurva Arus Dengan Beban.....	66

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Deskripsi Arduino UNO.....	19
Tabel 2. 2 Deskripsi Pin Power Arduino UNO	20
Tabel 2. 3 Deskripsi Pin Input dan Output Arduino UNO	21
Tabel 2. 4 Bagian Menu File Software Arduino	23
Tabel 2. 5 Bagian-Bagian Toolbar Software Arduino IDE.....	23
Tabel 2. 6 Spesifikasi Sensor E18-D80NK.....	27
Tabel 3. 1 Kebutuhan hardware.....	36
Tabel 3. 2 Kebutuhan Aplikasi Pendukung.....	37
Tabel 3. 3 Kebutuhan Alat dan Bahan Pendukung.....	37
Tabel 3. 4 Spesifikasi Motor Induksi	37
Tabel 3. 5 Spesifikasi Pulley Motor	39
Tabel 3. 6 Spesifikasi Pulley Grinder.....	40
Tabel 3. 7 Spesifikasi Belt.....	40
Tabel 3. 8 Spesifikasi Bracket Sensor E18-D80NK.....	41
Tabel 4. 4 Pengujian Motor Induksi	49
Tabel 4. 5 Pengujian Tegangan sensor E18-D80NK Pin to Pin.....	50
Tabel 4. 6 Pengujian pada Pin to Pin.....	50
Tabel 4. 7 Pengujian Fungsi Sensor E18-D80NK.....	51
Tabel 4. 8 Pengujian Fungsi Dimmer.....	52
Tabel 4. 16 Hasil Respon Pengujian Tegangan Motor Tanpa Beban pada Setpoint 2000rpm, 2300rpm, 2500rpm, dan 2700rpm	59
Tabel 4. 17 Hasil Respon Pengujian Arus Motor Tanpa Beban pada Setpoint 2000rpm, 2300rpm, 2500rpm, dan 2700rpm	59
Tabel 4. 22 Hasil Respon Pengujian Tegangan Motor Dengan Beban pada Setpoint 2000rpm, 2300rpm, 2500rpm, dan 2700rpm	65
Tabel 4. 23 Hasil Respon Pengujian Arus Motor Dengan Beban pada Setpoint 2000rpm, 2300rpm, 2500rpm, dan 2700rpm	65

DAFTAR PUSTAKA

- Bagia, I. N., & Parsa, I. M. (2018). *Motor - Motor Listrik*. Kupang: CV. Rasi Terbit.
- Chapman, S. J. (2005). *Electric Machinery Fundamentals 4th Edition*. New York: The McGraw,Hill Companies. Inc.
- Dhanang, R. (2012). Pengendalian Kecepatan Motor Arus Searah Seri dengan DC . *Tugas Akhir*. Depok: Universitas Indonesia.
- Ion, S. A. (2002). *The induction machine Handbook*. Florida: Boca Raton.
- Kurniawan, A. (2022). *Dimmer PWM arduino*. Retrieved from Semesin.com: <https://www.semesin.com/project/2018/05/01/dimmer-pwm-arduino/comment-page-1/>
- Massimo Banzi, M. S. (2011). *Getting Started with Arduino Edisi 2*. Sebastopol: O'Reilly Media,inc.
- 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>.
- Nastiti, R. P. (2016). Modul Pengaturan Kecepatan Motor Satu Fasa Denga PID Berbasis Mikrokontroler Menggunakan INTERFACE LABVIEW. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Norma Amalia, E. S. (2018). Open Loop and Closed Loop Power Control Analysis on LTE. *JURNAL INFOTEL*, 197, doi: <https://doi.org/10.20895/infotel.v10i4.399>.
- Nugraha, D. &. (2020). Rancang Bangun Inverter Satu Fasa Dengan Dengan Modulasi Lebar Pulsa PWM Menggunakan Antarmuka Komputer. *Jtev (Jurnal Teknik Elektro Dan Vokasional)*, 340-351.
- Nur liya, A. M. (2021). IMPLEMENTASI AUTO VOLTAGE REGULATOR PADA SISI BEBAN ENERGI LISTRIK. *Elektrika Borneo (JEB)*, 25, doi : <https://doi.org/10.35334/jeb.v7i2.2139>.
- Ogata, K. (2010). *Modern Control Engineering 5th Edition*. New Jersey: Prentice Hal.
- Parekh, R. (2003). *AC Induction Motor Fundamentals*. Microchip Technology Inc.
- Rashid, M. (2001). *Power Electronics Handbook*. California: Academic Press.

- Rawung, A. E. (2013). *Perekayasa Sistem Kontrol*. Malang: Kementerian Pendidikan & Kebudayaan.
- Rohit, M. V. (2002). *Principles of Electic Machines*. New Delhi: S. Chand & Company Ltd, Ram Nagar.
- Rosalina. (2017). Analisis Pengaturan Kecepatan Motor DC Menggunakan Kontrol PID (Proportional Integral Derivative). *Seminar Nasional TEKNOKA*, 3-4.
- RP Nastiti, W. S. (2016). Modul Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Satu Fasa dengan PID Berbaisi Mikrokontroler Menggunakan Interface LABVIEW. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Setiabudi, H. (2018). *Pembangunan Aplikasi Pelayanan Publik Kota Bengkulu Dengan Pemanfaatan Teknologi pada Smartphone berbasis Android*. Bandung: Universitas Komputer Indonesia.
- Silalahi, D. A. (2017). Pengendalian Kecepatan Putar (Rpm) Motor DC dengan Metode PID Berbasis Mikrokontroller Atmega328 Menggunakan Bahasa Pemrograman Code Vision Avr . *Tugas Akhir*. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Siswoyo, T. I. (2008). *Teknik Listrik Industri Jilid 2*. Departemen Pendidikan Nasional.
- Tanjung, A. (2018). Analisis Penggunaan Energi Listrik Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan Variable Speed Drive (VSD). *SainETIn*, 52-59.
- 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*, 1-2.
- Yeh, T. y. (2021). Full vaccination is imperative to suppress SARS-CoV-2 delta variant mutation frequency. Medrxiv.
- Zaidir, J. (2015). Implementasi Kendali PID Penalaan Ziegler-Nichols Menggunakan Mikrokontroller. *Jurnal Informatika*, 1-3. doi: <https://doi.org/10.30873/ji.v15i1.410>.