

RANCANG BANGUN DAN ANALISIS INVERTER SATU FASA BERBASIS METODE *SINUSOIDAL PULSE WIDTH MODULATION* (SPWM) DENGAN MODUL EGS002

M. Rozi Sanjaya¹, Endryansyah²

^{1,2}Program Studi Teknik Elektro, Universitas Negeri Surabaya
e-mail: msanjaya.19068@mhs.unesa.ac.id

ABSTRAK

Inverter merupakan komponen penting dalam bidang Renewable Energy karena memainkan peran penting untuk mengubah tegangan DC dari pembangkit energi terbarukan seperti PLTS ke tegangan AC yang digunakan sehari-hari. Perancangan inverter dengan menggunakan modul EGS002 merupakan IC khusus pembangkit sinyal SPWM, sangat menyederhanakan desain dan mengurangi kompleksitas sistem secara keseluruhan. Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan sebuah inverter satu fasa dengan mengatur sitching mosfet agar menghasilkan gelombang sinusoidal murni dengan metode SPWM. Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimen dengan beberapa tahap yaitu, studi literatur, perancangan sistem, dan pengujian sistem. Hasil desain rangkaian PCB dari template schematic yang sudah disediakan oleh EG Micro selaku perusahaan pembuat modul EGS002, keempat MOSFET terpasang kepada heatsink untuk meminimalisir overheating. Selain itu, pengujian sistem menunjukkan tingkat efektivitas sesuai dengan rancangan ditandai dengan tegangan output yang stabil dan andal dengan distorsi harmonik yang minimal, pengujian beban resistif dan induktif menunjukkan hasil output gelombang keluaran yang tetap stabil, serta sistem proteksi yang berjalan dengan baik. Harapannya hasil penelitian berupa simulasi dan alat fisik dalam bentuk kit pembelajaran dapat digunakan sebagai media pembelajaran di Laboratorium Sistem Kendali.

Kata kunci: *Inverter, Satu fasa, SPWM, EGS002.*

1.

PENDAHULUAN

Listrik menjadi kebutuhan utama di zaman serba modern saat ini. Perkembangan teknologi membutuhkan suplai listrik yang memadai. Beberapa peralatan elektronik yang digunakan oleh masyarakat memiliki fungsi sebagai sarana hiburan, kenyamanan bahkan sumber penghasilan [1]. Penggunaan listrik AC banyak digunakan oleh masyarakat karena pada awal adanya listrik di Indonesia adalah listrik berjenis *Alternating Current* atau listrik arus bolak-balik. Listrik berjenis AC dapat dibangkitkan melalui listrik DC (*Direct Current*) atau listrik bergelombang searah [2]. Menurut [3] tahapan untuk mendapatkan listrik AC dari pembangkitan menggunakan listrik DC dapat menggunakan sistem pembalikan kutup dari hasil keluaran listrik DC yang terhubung dengan beban yang dikenal dengan istilah inverter.

Inverter adalah perangkat listrik yang digunakan untuk mengubah arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC) [4]. Inverter mengubah daya DC dari baterai, panel, dll. Energi matahari/sel surya diubah menjadi arus bolak-balik. Beberapa tahun terakhir dunia elektronik maju dengan pesat, Semua ini dibangun di atas kemajuan pendidikan yang ada selama ini. Seiring kondisi yang semakin maju, terutama di dunia elektronika, mutlak membutuhkan sumber arus menjalankan peralatan elektronik. Pengembangan produk elektronik sangat cepat, beberapa perangkat pendukung melalui

perkembangan, peralatan elektronik menjadi semakin banyak jenis yang berbeda. Salah satu sistem elektronik yang kita kenal adalah inverter yang mengubah tegangan DC 12V menjadi tegangan 220AC 50Hz. Menurut [5] pada masa depan, inverter DC ke AC akan mendominasi memainkan peran penting dalam mengubah energi menjadi arus searah, mengubah sel surya terbarukan menjadi daya AC yang kita gunakan sehari-hari.

Frekuensi dan tegangan keluaran inverter dapat disesuaikan dengan kebutuhan beban. Perubahan tegangan *output* diperoleh dengan mengubah tegangan *input* DC dan menjaga *gain* inverter tetap konstan. Tapi jika tegangan *input* konstan dan tidak dapat diubah, sehingga tegangan berubah *output* dapat dilakukan dengan mengubah *gain* dari inverter. *Gain* inverter sendiri adalah tegangan keluaran AC vs DC [6]. Idealnya, bentuk gelombang tegangan *output* inverter adalah sinusoidal. Namun, bukan itu masalahnya. Tegangan *output* yang dihasilkan oleh inverter bukanlah gelombang sinus murni, melainkan gelombang sinus yang terdistorsi harmonik pada output inverter. Dalam inverter gelombang persegi tradisional dan SPWM, gelombang keluaran yang dihasilkan memiliki harmonisa yang cukup besar. *Sinusoidal pulse-width modulation* (SPWM) memiliki karakteristik dimana *duty cycle* dari pulsa meningkat secara gradual dan kemudian menurun secara gradual dalam deretan pulsa proporsional terhadap nilai sudut sinus dalam setengah gelombang gelombang sinus [7]. Harmonisa yang besar dapat menyebabkan kinerja komponen kelistrikan yang buruk semakin lama nilai maksimalnya dan semakin lama akan menyebabkan kerusakan pada komponen tersebut. Oleh karena itu, perlu diambil langkah-langkah untuk mengurangi harmonik pada *output* inverter. Bentuk gelombang keluaran sangat berkorelasi mengenai frekuensi *switching* inverter semikonduktor.

Semakin tinggi frekuensinya saat *switching*, bentuk gelombang yang dihasilkan semakin dekat sinusoidal. Namun, ketika frekuensi *switching* meningkat, maka daya yang keluar pada proses tersebut akan semakin besar. Jika ini terjadi, maka itu akan mengurangi efisiensi inverter itu sendiri. Cara lain untuk mengurangi harmonik dalam inverter dihasilkan menggunakan teknologi inverter tingkat. Inverter satu fasa dapat menjadi alat pendukung pada Laboratorium Sistem Kendali. Selain itu, sebagai alat pendukung inverter ini dapat dijadikan sebagai media praktikum mahasiswa pada mata pelajaran Sistem Penggerak Elektrik. Dengan adanya inverter ini diharapkan dapat menunjang pembelajaran mahasiswa dimasa yang akan datang.

Berdasarkan pada permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan sebuah inverter satu fasa dengan mengatur *switching mosfet* agar menghasilkan gelombang sinusoidal murni dengan metode SPWM. Hasil yang didapatkan dari penelitian ini adalah berupa simulasi dan juga modul fisik dari inverter tersebut, yang dapat digunakan sebagai media pendukung pembelajaran pada Laboratorium Sistem Kendali

2.

METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimen yang merupakan penelitian kuantitatif untuk mengetahui pengaruh variabel tertentu terhadap variabel lainnya dalam kondisi yang dikendalikan [8]. Penelitian ini berdasar pada data-data numerik dan analisis terhadap data tersebut menggunakan metode statistik. Data pada penelitian ini didapatkan dari hasil pengukuran dan perhitungan. *Mathworks* MATLAB/SIMULINK tahun 2019 digunakan untuk membuat dan memvalidasi model dan *design inverter* yang akan dibuat, model yang sudah tervalidasi selanjutnya akan dijadikan bahan acuan untuk perancangan *hardware*.

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Sistem Kendali Jurusan Teknik Elektro Universitas Negeri Surabaya pada semester genap 2022/2023. Instrumen pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini adalah PC, MATLAB 2019, alat ukur listrik, dan *oscilloscope*. Sebagai rancangan penelitian yang telah dijabarkan pada bagian sebelumnya, maka prosedur masing-masing tahapan sebagai berikut:

Studi Literatur

Tahap ini merupakan pengkajian terhadap apa yang akan dihadapi pada pelaksanaan penelitian ini. Hal-hal yang akan dikaji antara lain adalah:

- Penelitian terdahulu yang relevan.
- Pemodelan sistem inverter dengan MATLAB
- Perancangan elektronika inverter fisik.
- Metode analisis inverter.

Perancangan Sistem

Perancangan sistem pada penelitian ini secara garis besar terbagi menjadi dua bagian, yakni perancangan *software* dan perancangan hardware. Adapun detail spesifikasi yang penulis usulkan dalam penelitian ini adalah berupa sebuah simulasi inverter satu-fasa dengan konfigurasi *full-bridge* dan juga perangkat fisik. Simulasi bertujuan agar dapat memahami prinsip kerja dari sebuah inverter secara detail dan mandalam. Inverter *full-bridge* satu fasa ini menggunakan komponen-komponen dengan rating 2.5A sehingga *power* yang dapat dicapai pada saat kondisi *full-load* adalah tegangan input dikali dengan rating arus, tegangan *input* PSU adalah 24V. Oleh karena itu, inverter ini dapat mengangkat daya hingga 60W.

Tahap ini adalah tahap perantara antara perancangan *software* dan perancangan *hardware*. Tahap ini dilakukan verifikasi model sistem yaitu merupakan proses untuk menentukan bahwa model konseptual telah menggambarkan sistem yang real dan juga validasi model yaitu merupakan proses untuk meyakinkan bahwa model dan data benar-benar mampu mewakili aspek-aspek penting dari sistem secara tepat dan akurat.

Jika model sistem sudah terverifikasi dan juga tervalidasi maka selanjutnya adalah proses perancangan hardware berdasarkan dengan rancangan *software* yang sudah dibuat, proses ini juga merupakan tahap akhir dari pembuatan alat karena proses selanjutnya hanyalah analisa data dari alat yang dibuat.

Perancangan Input

Inverter adalah pengubah tegangan DC ke AC, biasanya tegangan DC bersumber dari *battery*, yang mana *battery* tersebut dapat berasal dari transfer energi panel surya ataupun sebuah aki, akan tetapi penulis menggunakan input tegangan dari power supply DC dengan alasan durabilitas, sehingga kit bisa dipakai terus menerus tanpa perlu khawatir input yang kadaluarsa.

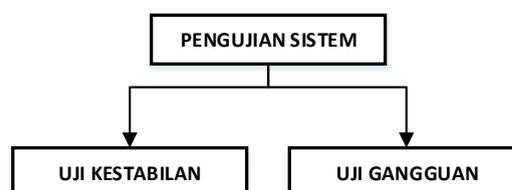
Perancangan PCB

Proses ini adalah kelanjutan dari perancangan elektronika pada perancangan *software*, hasil dari proses ini adalah sebagai berikut:

Perancangan Keseluruhan.

Analisis sistem adalah pengecekan secara menyeluruh semua variable input dan juga output dari alat yang sudah dihasilkan, jika ada ketidaksesuaian dengan usulan yang sudah dibuat maka proses akan kembali pada proses perancangan sistem pada bagian yang bermasalah, hingga kondisi optimal dari alat dicapai, berikut adalah metode analisis sistem yang penulis terapkan pada penelitian ini.

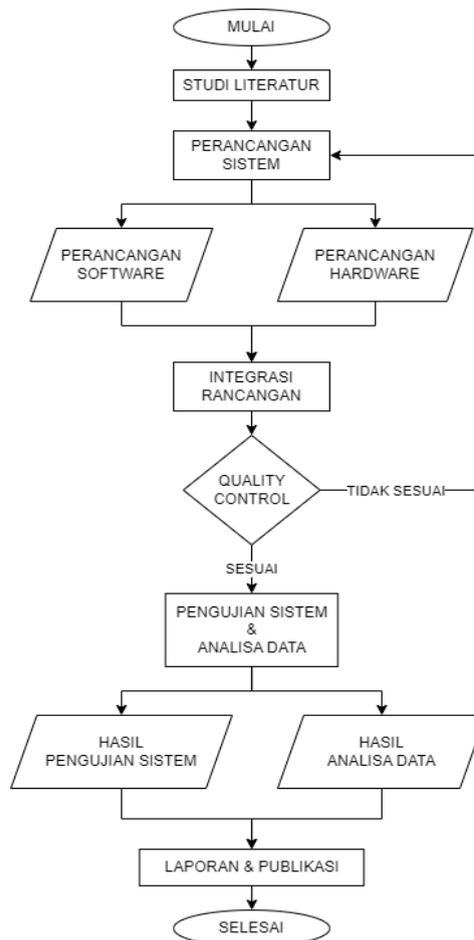
Pengujian sistem bertujuan untuk menentukan apakah sistem bekerja pada performa yang terbaik. Pengujian sistem dilakukan dengan dua metode sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 1, yakni uji kestabilan dan uji gangguan. Menurut [9], [10] uji kestabilan merupakan uji kemampuan respon untuk menjaga sistem tetap stabil pada batasan yang ditentukan sedangkan uji gangguan adalah uji ketahanan pengendali terhadap gangguan luar yang diberikan pada sistem.



Gambar 1 Diagram pengujian sistem
(Sumber: Data Pribadi)

Uji Kestabilan dan Uji Gangguan

Dalam uji kestabilan penulis melakukan pengujian berupa memberi beban yang bervariasi dan juga memberi interval waktu tertentu pada masing-masing beban untuk melihat kestabilan alat. Dalam uji gangguan penulis melakukan pengujian terhadap sistem proteksi yang tertanam dalam EGS002, yaitu *over/under voltage protection*, *short-circuit protection*, *feedback protection*. Untuk melihat lebih jelas, berikut *flowchart* penelitian disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2 Flowchart Penelitian
(Sumber: Data Pribadi)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN Desain Inverter

Berikut adalah hasil desain rangkaian PCB dari template schematic yang sudah disediakan oleh EG Micro selaku perusahaan pembuat modul EGS002, keempat MOSFET terpasang kepada *heatsink* untuk meminimalisir *overheat*. Modul EGS membutuhkan tegangan 15V, 12V, 5V,

Tegangan 15V berasal dari regulator LM2956, sedangkan 12V dari IC 7812 dan 5V dari IC 7805. Dioda 6A digunakan sebagai proteksi polaritas sederhana.



Gambar 3 Perancangan PCB
(Sumber: Data Pribadi)

Gambar 4 merupakan bentuk akhir dari alat yang dibuat, *input* AC untuk PSU DC dilengkapi dengan *fuse* 1A sebagai pengaman, dan juga indikator LED sebagai penanda. Alat ini dilengkapi dengan *voltmeter* pada masing-masing tegangan *input* DC dan juga tegangan keluaran inverter untuk memudahkan analisa data dan juga terdapat *test point* 12V AC untuk melihat bentuk gelombang dari inverter yang dihasilkan.



Gambar 4. Hasil Perancangan keseluruhan
(Sumber: Data Pribadi)

Pengujian Sistem

Pengecekan Parameter

Variable Tegangan

Berdasarkan pengecekan tegangan dari beberapa komponen yang sudah dilakukan penulis simpulkan bahwa data sesuai dengan spesifikasi rancangan, nilai tersebut adalah:

- Tegangan *input* stabil pada 24V DC
- Tegangan *board* EGS002: 15V, 12V, dan 5V

- Tegangan AC inverter: 12V AC
- Tegangan *output* trafo: 230V AC

Variable Arus

Arus yang dikeluarkan pada saat *inverter standby* tanpa adanya beban adalah sebesar 0.3A dengan tegangan *input* 24V maka *standby power* alat ini adalah sebesar 7.2W. Dapat disimpulkan bahwa tidak ada *short-circuit* ataupun kegagalan *wiring* lainnya yang mengakibatkan arus *standby* tinggi.

Variable Frekuensi

Salah satu keunggulan modul EGS002 adalah pilihan frekuensi keluaran yang dibutuhkan dapat dipilih antara 50 Hz ataupun 60 Hz, dalam alat ini penulis memilih 50 Hz sebagai frekuensi keluaran.

Uji Kestabilan

Tabel 1 menyajikan data hasil pengujian beban kepada inverter dengan nilai bervariasi masing-masing selama 5 menit.

Tabel 1 Daya Tegangan Input

Beban (W)	Tegangan (AC)	Arus (A)	Kondisi	Power (W)
LED 12	24V	0.55	OK	13.2
Kipas 25	24V	0.95	OK	22.8
Charger 33	24V	1.22	OK	29.28

Tabel 2 Daya Tegangan Output

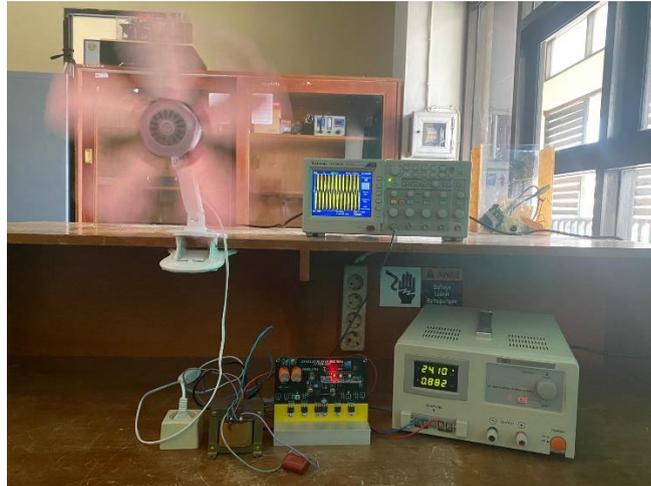
Beban (W)	Tegangan (AC)	Arus (A)	Kondisi	Power (W)
LED 12	220V	0.05	OK	11
Kipas 25	220V	0.1	OK	22
Charger 33	220V	0.13	OK	28.6

Dari data diatas maka efektifitas inverter adalah:

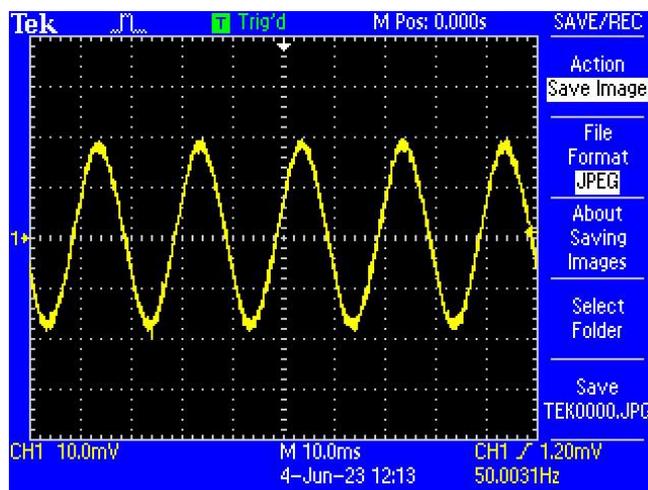
$$\text{Efektifitas Inverter} = \frac{P_{out}}{P_{in}}$$

Tabel 3 Nilai Efektifitas Inverter

Pin (W)	Pout (W)	Efektifitas %
LED 13.2	LED 12	90
Kipas 22.8	Kipas 22	96
Charger 29.28	Charger 28.6	97
Rata-rata		94.3%



Gambar 5. Uji Beban Induktif Kipas 25W
 (Sumber: Data Pribadi)



Gambar 6. Bentuk Gelombang Uji Beban Induktif
 (Sumber: Data Pribadi)

Uji Gangguan

Uji gangguan dalam hal ini dapat disimulasikan dengan menurunkan atau menaikkan tegangan input untuk menguji proteksi *over/under voltage protection*, dan melakukan *short-circuit* secara manual pada keluaran AC inverter untuk melihat respon sistem proteksi, dan juga *feedback voltage* yang tidak terpasang. Dari hasil uji coba maka didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 4. Tegangan Input Uji Gangguan

Uji	Vin	Kondisi
<i>Under Voltage</i>	5V DC	OK
<i>Over Voltage</i>	40V DC	OK
<i>FB Protection</i>	24V DC	OK
<i>SC Protection</i>	24V DC	OK

Pada uji *under-voltage*, tegangan *input* yang masuk pada *board* adalah 5V, secara otomatis *board* mendeteksi bahwa ada kondisi *under-voltage* sehingga tidak menjalankan siklus *firing* MOSFET untuk pembangkitan sinyal SPWM, begitupula sebaliknya pada *over-voltage*.

Pada *feedback protection*, jika tidak ada tegangan keluaran AC dari trafo yang masuk kembali pada board maka board tidak akan menyala dan berkedip selama 3 kali berturut-turut. Pada *shot-circuit protection*, jika ada kejadian antara dua *pin output* bersentuhan ataupun ada kegagalan lainnya dalam perangkat atau beban, maka *board* secara otomatis akan shutdown dan akan *merestart* perangkat dalam tiga detik berikutnya.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut, (1) inverter berhasil dibuat dengan spesifikasi, rancangan, dan desain yang diusulkan, (2), penggunaan metode SPWM sebagai kontrol sinyal MOSFET sangat mudah dilakukan dengan menggunakan board EGS002, (3) berdasarkan hasil analisis dan pengujian yang telah dilakukan, gelombang *output* yang dihasilkan oleh inverter dengan metode SPWM melalui EGS002 ini mendekati sinus murni, meskipun sedikit terlihat THD pada gelombang outputnya, (4) dengan harga yang murah, terdapat banyak fasilitas seperti sistem proteksi dan kontrol tegangan *feedback*, jika dibandingkan dengan merangkai sistem sendiri maka akan memakan waktu yang lama.

Inverter ini hanya mampu mengangkat beban hanya sebesar 60W, dikarenakan semua komponen yang dipakai mempunyai rating 2.5A dengan *max input* 24V. Sehingga dalam penelitian selanjutnya dapat dibuat dengan kapasitas diatas 500W untuk memaksimalkan fungsi board EGS002. THD yang dihasilkan pada *output* inverter ini tidak bisa dihitung karena keterbatasan alat, disarankan pada penelitian selanjutnya perhitungan THD masuk kedalam analisis data.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. Ferdiansyah, I. Sudiharto, E. Sunarno, and M. G. Muhammad, "Desain Spwm Single Phase Full Bridge Inverter Pada Sistem Uninterruptible Power Supply 500W," *J. Arus Elektro Indones.*, vol. 7, no. 1, p. 10, 2021, doi: 10.19184/jaei.v7i1.23438.
- [2] R. A. Sukmayuwana, T. Hardianto, and W. Hadi, "Kontrol Tegangan Inverter Full Bridge Satu Fasa Berbasis Arduino Uno R3 Menggunakan Kontrol Pid," *J. Arus Elektro Indones.*, vol. 6, no. 1, p. 22, 2020, doi: 10.19184/jaei.v6i1.19655.
- [3] R. Hidayat *et al.*, "Modul Pembangkit Listrik Tenaga Surya Untuk Aplikasi Beban Rendah (600 W)," *J. INTEKNA Inf. Tek. dan Niaga*, vol. 17, no. 1, pp. 29–36, 2017, doi: 10.31961/intekna.v17i1.490.
- [4] A. Mathematics, "濟無No Title No Title No Title," vol. 3, no. 1, pp. 1–23, 2016.
- [5] D. H. Sinaga, W. Pangaribuan, M. A. R. Sembiring, and A. H. Syahrir, "Desain Sistem Cadangan Energi Listrik Menggunakan Tenaga Surya Pada Gedung Teknik Elektro FT – Unimed," *J. Ins. Prof.*, vol. 2, no. 1, 2022, doi: 10.24114/jip.v2i1.28325.
- [6] S. S. Atmojo, M. Facta, and K. Karnoto, "Analisis perancangan konverter dc-ac full-bridge frekuensi tinggi resonan lcc beban paralel," *Transient J. Ilm. ...*, vol. 1, no. Dc, 2019, [Online]. Available: <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/transient/article/view/8971%0Ahttps://ejournal3.undip.ac.id/index.php/transient/article/download/8971/8718>
- [7] S. Muttaqin, I. Setiawan, and M. Facta, "Desain Dan Implementasi Voltage-Source Inverter (Vsi) Tiga Fase Uniform Pulse-Width Modulation (Upwm) Dengan Dspic30F4011," *Transmisi*, vol. 18, no. 4, p. 153, 2016.
- [8] R. Nikmatur, "Proses Penelitian, Masalah, Variabel dan Paradigma Penelitian," *J. Hikmah*, vol. 14, no. 1, p. 63, 2017.
- [9] M. A. Savero, A. Dharmawan, and P. Studi, "Kendali Stabilisasi Pesawat Tanpa Awak Sayap Tetap untuk Pendaratan Otomatis Menggunakan Fuzzy," vol. 12, no. 2, pp. 181–190, 2022.
- [10] A. Dharmawan, B. Marthen, F. Adam, I. P. Sari, and R. Maulana, "Sistem Kontrol Proporsional-Integral Pada Proses Pasteurisasi Susu," *Transmisi*, vol. 21, no. 1, p. 15, 2019, doi: 10.14710/transmisi.21.1.15-18.