



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**Implementasi Sistem Kontrol Fuzzy-PID Hybrid Untuk Kendali Suhu Oven Listrik
Berbasis FPGA Cyclone IV**

Sub Judul:

**Implementasi dan Analisis Kendali PID pada Sistem Pengaturan Suhu Oven Listrik
Berbasis FPGA Cyclone IV**

SKRIPSI

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Muhammad Farrel Abdoel Jabbar

2203431004

PROGRAM STUDI INSTRUMENTASI DAN KONTROL INDUSTRI

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

POLITEKNIK NEGERI JAKARTA

2026



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**Implementasi Sistem Kontrol Fuzzy-Pid Hybrid Untuk Kendali Suhu Oven
Listrik Berbasis FPGA Cyclone IV**

Sub Judul:

**Implementasi dan Analisis Kendali PID pada Sistem Pengaturan Suhu Oven
Listrik Berbasis FPGA Cyclone IV**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar

Sarjana Terapan

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

**Muhammad Farrel Abdoel Jabbar
2203431004**

**PROGRAM STUDI INSTRUMENTASI DAN KONTROL INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA**

2026



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Muhammad Farrel Abdoel Jabbar
NIM : 2203431004
Tanda Tangan :

Tanggal : 1 Juli 2026

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

Tugas Akhir diajukan oleh

Nama : Muhammad Farrel Abdoel abbar

Nomor Induk Mahasiswa : 2203431004

Program Studi : Instrumentasi dan Kontrol Industri

Judul Tugas Akhir : Implementasi dan Analisis Pengendali PID pada Sistem Kendali Suhu Oven Listrik Berbasis FPGA Celone IV

Telah diuji oleh tim penguji dalam Sidang Tugas Akhir pada 06 Juli 2026 dan dinyatakan **LULUS**

Pembimbing I

Ihsan Auditia Akhmed, S.T., M.T. (Signature)

NIP. 198904052022031003

Pembimbing II

Dr. Elitaria Bestri Agustina S.S., M.A. (Signature)

NIP. 198608262022032004

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Depok, 10 Juli 2026

Disahkan oleh

Ketua Jurusan Teknik Elektro

Dr. Murie Dwyaniti, S.T., M.T. (Signature)

NIP. 197803312003122002

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas selesainya laporan tugas akhir ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Diploma Empat Politeknik. Akan menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai penyusunan laporan Skripsi ini, sangatlah sulit untuk menyelesaikan laporan tugas akhir ini, dengan ini mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dr. Murie Dwiyaniti, S.T., M.T., selaku Kepala Jurusan Teknik Elektro di Politeknik Negeri Jakarta;
2. Sulis Setiowati, S.Pd., M.Eng., selaku Kepala Program Studi Teknik Elektro di Politeknik Negeri Jakarta;
3. Ihsan Auditia Akhinov S.T., M.T., selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah menyediakan waktu, tenaga, serta mengarahkan dalam pengembangan alat untuk laporan tugas akhir ini.
4. Elitaria Bestri Agustina S.S., M.A., selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan dalam penyusunan laporan tugas akhir ini;
5. Orang tua dan keluarga yang telah memberikan bantuan dukungan.
6. Sahabat dan teman-teman yang telah banyak membantu.

Akhir kata dengan laporan tugas akhir ini berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua yang membantu. Semoga laporan tugas akhir ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 9 Desember 2025

Muhammad Farrel Abdoel Jabbar



Implementasi dan Analisis Kendali PID pada Sistem Pengaturan Suhu Oven Listrik Berbasis FPGA Cyclone IV

Abstrak

Pengendalian suhu yang stabil pada oven listrik sangat penting dalam berbagai proses industri. Namun, karakteristik termal oven yang nonlinier sering kali memicu permasalahan seperti lewat maksimum (overshoot) yang tinggi, waktu penetapan (settling time) yang lama, serta ketidakstabilan respons. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem kendali suhu oven listrik berbasis Field Programmable Gate Array (FPGA) Cyclone IV E dengan menerapkan algoritma Proportional-Integral-Derivative (PID) digital guna mencapai pemrosesan kendali real-time berpresisi tinggi. Sistem dirancang secara close-loop terintegrasi, menggunakan sensor RTD PT100 dengan transmiter 4-20 mA untuk pembacaan suhu yang presisi. Mikrokontroler ESP32 difungsikan sebagai gateway data untuk melakukan konversi sinyal dan mengirimkannya ke FPGA melalui komunikasi UART. Algoritma PID direalisasikan ke dalam perangkat keras menggunakan bahasa VHDL pada perangkat lunak Quartus Prime, dengan penalaan parameter awal menggunakan metode kurva reaksi Ziegler-Nichols ($K_p=1,88$, $K_i=0,005104$, $K_d=172,8$). Keluaran PID dikonversi menjadi pengaturan sudut pemicuan fasa untuk mengendalikan aktuator AC Dimmer LSA-002 yang mengatur suplai daya ke tubular heater. Pengujian sistem menunjukkan performa terbaik pada setpoint 130°C , yang mampu menghasilkan overshoot terkendali sebesar 4,38%, settling time 441 detik, dan steady-state error yang sangat kecil yaitu 0,522%. Pengujian kestabilan waktu tunda (jitter) pada FPGA mencatatkan deviasi RMS sebesar 2,41 mikrodetik, jauh lebih superior dan deterministik dibandingkan mikrokontroler konvensional yang mencapai 59,99 mikrodetik. Implementasi algoritma PID murni pada FPGA terbukti mampu meningkatkan presisi aktuasi dan meredam fluktuasi daya. Hasil penelitian ini memvalidasi keandalan komputasi paralel perangkat keras dan menjadi landasan komprehensif bagi pengembangan sistem hibrida cerdas (Fuzzy-PID) di masa depan.

Kata kunci: *ESP32, FPGA Cyclone IV, Oven Listrik, PID, RTD PT100, VHDL.*

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Implementation and Analysis of PID Control in an Electric Oven Temperature Control System Based on FPGA Cyclone IV

Abstract

Stable temperature control in electric ovens is crucial in various industrial processes. However, the nonlinear thermal characteristics of ovens often lead to problems such as high overshoot, long settling time, and response instability. This study aims to design and implement a temperature control system for an electric oven based on a Cyclone IV E Field Programmable Gate Array (FPGA) by applying a digital Proportional-Integral-Derivative (PID) algorithm to achieve high-precision real-time control processing. The system is designed in a closed-loop integrated manner, using a PT100 RTD sensor with a 4-20 mA transmitter for precise temperature readings. The ESP32 microcontroller functions as a data gateway to perform signal conversion and send it to the FPGA via UART communication. The PID algorithm is realized in hardware using VHDL language in Quartus Prime software, with initial parameter tuning using the Ziegler-Nichols reaction curve method ($K_p=1.88$, $K_i=0.005104$, $K_d=172.8$). The PID output is converted into a phase trigger angle setting to control the AC Dimmer LSA-002 actuator that regulates the power supply to the tubular heater. System testing shows the best performance at a setpoint of 130°C, which is capable of producing a controlled overshoot of 4.38%, a settling time of 441 seconds, and a very small steady-state error of 0.522%. The jitter stability test on the FPGA recorded an RMS deviation of 2.41 microseconds, far superior and deterministic compared to conventional microcontrollers which reached 59.99 microseconds. The implementation of a pure PID algorithm on the FPGA is proven to be able to improve actuation precision and dampen power fluctuations. The results of this study validate the reliability of hardware parallel computing and provide a comprehensive foundation for the development of intelligent hybrid systems (Fuzzy-PID) in the future.

Keywords: *Electric Oven, ESP32, FPGA Cyclone IV, PID, RTD PT100, VHDL.*



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL.....	i
HALAMAN JUDUL.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iii
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	iv
KATA PENGANTAR	v
Abstrak	vi
Abstract	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Pembatasan Masalah	3
1.4 Tujuan	4
1.5 Luaran	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 State Of The Art	5
2.2 Oven Listrik	13
2.3 FPGA	13



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

2.3.1	Quartus Prime	14
2.3.2	VHDL.....	14
2.4	Sistem Pengendalian	14
2.4.1	Open Loop.....	15
2.4.2	Close Loop	16
2.5	Perancangan Sistem Pengendalian	17
2.5.1	Response Trancient System	17
2.5.2	PID (Proportional Integral Derivative)	20
2.5.3	Ziegler-Nichols	20
2.6	Komponen.....	21
2.6.1	RTD PT-100.....	21
2.6.2	FPGA Cyclone IV E	22
2.6.3	ESP32.....	23
2.6.4	LSA-002.....	24
2.6.5	PZEM-004t.....	25
2.6.6	Tubular Heater	26
2.6.7	Power Supply Unit	27
2.6.8	Oled Display 0.96”.....	28
BAB III PERANCANGAN DAN RELIASISASI.....		29
3.1	Perancangan Sistem	29



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

3.1.1	Deskripsi Alat	29
3.1.2	Cara Kerja Alat	32
3.1.3	Spesifikasi Alat	33
3.1.4	Spesifikasi Komponen Hardware.....	34
3.1.5	Desain Alat.....	39
3.2	Realisasi Alat	42
3.2.1	Realisasi Pembuatan Alat.....	42
3.3	Perancangan Kontrol PID	44
3.3.1	Pengujian Open-Loop	44
3.3.2	Metode Ziegler-Nichols	47
3.3.3	Realisasi Program.....	48
BAB IV	PEMBAHASAN.....	63
4.1	Validasi RTD PT-100	63
4.1.1	Deskripsi Validasi RTD PT-100	63
4.1.2	Daftar Peralatan Validasi RTD PT-100	64
4.1.3	Prosedur Validasi RTD PT-100	64
4.1.4	Data Validasi RTD PT-100	65
4.2	Pengujian Kontrol Oven.....	67
4.2.1	Deskripsi Pengujian Kontrol Oven	67
4.2.2	Daftar Peralatan Pengujian Kontrol Oven.....	67



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

4.2.3	Prosedur Pengujian Kontrol Oven	68
4.2.4	Data Hasil Pengujian Kontrol Oven.....	68
4.2.5	Analisa Kinerja Kontrol Suhu PID Oven.....	73
4.3	Pengujian Perbandingan pemrosesan pada FPGA dengan ESP32....	80
4.3.1	Deskripsi Pengujian Perbandingan Pemrosesan pada FPGA dengan ESP32	80
4.3.2	Daftar Peralatan Pengujian Perbandingan Pemrosesan pada FPGA dengan ESP32	80
4.3.3	Prosedur Pengujian Perbandingan Pemrosesan pada FPGA dengan ESP32	81
4.3.4	Data Hasil Pengujian Perbandingan Pemrosesan pada FPGA dengan ESP32	81
4.3.5	Analisa Perbandingan pemrosesan pada FPGA dengan ESP32	82
BAB V PENUTUP.....		85
5.1	Kesimpulan	85
5.2	Saran.....	86
DAFTAR PUSTAKA		88
LAMPIRAN		91



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Oven Listrik Toast.....	13
Gambar 2.2 Diagram Blok Struktur FPGA.....	14
Gambar 2.3 Diagram Blok Sistem Open-Loop.....	15
Gambar 2.4 Diagram Blok Sistem Close-Loop	17
Gambar 2.5 RTD-PT100	22
Gambar 2.6 FPGA Cyclone IV	23
Gambar 2.7 ESP32	24
Gambar 2.8 LSA-002	25
Gambar 2.9 LSA-002	26
Gambar 2.10 Tubular Heater.....	27
Gambar 2.11 Power Supply 24 Volt DC.....	27
Gambar 2.12 Oled Display 0.96”.....	28
Gambar 3.1 Diagram Flowchart Perancangan Sistem	29
Gambar 3.2 Diagram Blok Alat	39
Gambar 3.3 Diagram Wiring Alat.....	41
Gambar 3.4 Tampak Luar Oven.....	43
Gambar 3.5 Tampak Dalam Oven	44
Gambar 3.6 Grafik Hasil Pengujian Open-Loop.....	45



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Gambar 3.7 Suhu Maksimal saat diberikan Output 100%.....	47
Gambar 3.8 Tampilan Pembuatan <i>Project</i> Baru	49
Gambar 3.9 Tampilan <i>Summary Project</i>	50
Gambar 3.10 Tampilan <i>Project Kerja</i>	50
Gambar 3.11 Tampilan Pemilihan Tipe File.....	51
Gambar 4.1 Perbandingan Suhu Sensor RTD PT-100 dengan Termometer ...	66
Gambar 4.2 Grafik Hasil Uji Set Point 130°C	70
Gambar 4.3 Grafik Hasil Uji Set Point 100°C	71
Gambar 4.4 Grafik Hasil Uji Set Point 70°C	72
Gambar 4.5 Grafik Dimmer dan Zero Crossing FPGA Cyclone IV E	82
Gambar 4.6 Pengukuran: <i>Delay Zero Crossing</i> dan <i>Dimmer</i>	82

POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 <i>State of The Art</i>	5
Tabel 3.1 Spesifikasi Komponen dan Hardware.....	34
Tabel 3.2 Daftar Komponen pada Tampak Luar Oven.....	43
Tabel 3.3 Daftar Komponen Tampak Dalam Oven	44
Tabel 3.4 Pengujian Open-Loop	45
Tabel 4.1 Daftar Alat dan Bahan Validasi RTD PT-100	64
Tabel 4.2 Data Validasi RTD-PT100.....	65
Tabel 4.3 Daftar Alat dan Bahan Pengujian Oven.....	67
Tabel 4.4 Data Hasil Uji Set Point 130°C.....	69
Tabel 4.5 Data Hasil Uji Set Point 100°C.....	70
Tabel 4.6 Data Hasil Uji Set Point 70°C.....	71
Tabel 4.7 Daftar Alat dan Bahan Pengujian Oven.....	80
Tabel 4.8 <i>Breakdown Akurasi Shooting Angle</i>	83
Tabel 4.9 Kalkulasi Error <i>Firing Trigger</i> terhadap Nilai Aktual Ideal.....	84



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Daftar Riwayat Hidup Penulis	91
Lampiran 2 Dokumentasi Alat	92
Lampiran 3 Program FPGA	93
Lampiran 4 Program ESP32.....	102





Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pengendalian suhu merupakan salah satu aspek penting dalam berbagai proses industri, seperti industri makanan, kimia, farmasi, hingga sistem pemanas listrik seperti oven. Ketepatan dalam menjaga suhu sangat berpengaruh terhadap kualitas produk, efisiensi energi, serta keamanan proses produksi. Oleh karena itu, diperlukan sistem kontrol yang mampu menjaga suhu sesuai dengan nilai setpoint secara stabil dan responsif.

Di bidang sistem kontrol otomatisasi industri, algoritma kontrol PID banyak digunakan di berbagai bidang kontrol seperti suhu, kecepatan, dan posisi. Di antaranya, kontrol PID fuzzy dapat meningkatkan akurasi dan stabilitas kontrol, dapat secara signifikan meningkatkan kualitas produk dan efisiensi produksi, serta memiliki berbagai aplikasi di industri pengolahan makanan, teknik kimia, farmasi, dan tekstil (Zhang, 2025).

Sebagian besar penelitian terdahulu di sektor pengeringan makanan di Indonesia masih terbatas pada penggunaan Arduino atau sistem berbasis IoT, tanpa mengombinasikan kontrol adaptif dengan platform hardware berperforma tinggi seperti FPGA. Akibatnya, permasalahan seperti overshoot hingga 4°C, settling time yang panjang, serta laju evaporasi yang rendah (sekitar 1 gram/menit) masih sering ditemukan, terutama pada kondisi iklim tropis Indonesia yang fluktuatif (Makin et al., 2023)(Rizal et al., 2022)(Evalina et al., 2022)(Hasibuan et al., 2025).

Secara karakteristik, oven pengering makanan merupakan sistem termal nonlinier yang dipengaruhi oleh proses evaporasi air dari bahan, konveksi udara yang berubah-ubah, serta adanya waktu tunda (dead time) akibat inersia termal. Penelitian pada oven pengering gabah dan buah menunjukkan fluktuasi suhu sebesar 5–10°C pada rentang setpoint 50–105°C, yang berdampak langsung pada ketidaktercapaian kadar air target (Rizal et al., 2022)(Nidhar et al., 2025).



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Pada pengeringan gabah, error kadar air dilaporkan berada pada rentang 0,47–1,1%, dengan waktu pengeringan 136–142 menit untuk penurunan kadar air sebesar 13–14%, yang menunjukkan adanya ketidakefisienan proses akibat dinamika sistem yang tidak stabil (Rizal et al., 2022). Sementara itu, pada pengeringan ikan asin, metode manual sangat bergantung pada cuaca dan memerlukan waktu sehari-hari, sedangkan oven otomatis mampu mempercepat proses hingga 8 jam untuk reduksi massa sekitar 600 gram, namun masih mengalami overshoot suhu yang signifikan (Makin et al., 2023).

Pengendali PID konvensional masih banyak digunakan dalam sistem oven pengering karena kesederhanaan struktur dan kemudahan implementasinya. Pada pengeringan buah mangga, PID mode PI mampu mempertahankan suhu 105°C dengan rise time 2,43 menit dan settling time 29 menit, serta toleransi suhu $\pm 1^\circ\text{C}$, menghasilkan kadar air akhir sebesar 80,95% (Nidhar, A., dkk, 2025). Namun, penelitian yang sama menunjukkan bahwa metode relay on-off gagal menjaga kestabilan suhu dan menyebabkan overshoot yang besar. Di sisi lain, penerapan PID dengan parameter tetap masih menghadapi keterbatasan ketika kondisi beban berubah, yang menyebabkan respon lambat dan fluktuasi suhu yang tidak dapat dihindari pada sistem nonlinier (Nidhar, A., 2025; Awaludin M. I. 2024; Gupta P. 2023; Annafi M. I. 2023). (Nidhar et al., 2025) (Irsyad Awaludin & Dwi Waluyo, 2023b) (Annafi et al., 2023).

Selain metode kontrol, platform perangkat keras menentukan performa sistem secara keseluruhan. Algoritma PID yang terintegrasi dengan phase control aktuator daya tinggi membutuhkan pemrosesan real-time yang presisi dan deterministik. FPGA menawarkan komputasi paralel dan kecepatan eksekusi level perangkat keras yang melampaui mikrokontroler konvensional, sehingga keterlambatan instruksi yang memicu fluktuasi pada sistem termal dapat dihindari. Penelitian ini berfokus pada implementasi dan analisis kendali PID Ziegler-Nichols pada sistem pengaturan suhu oven listrik berbasis FPGA Cyclone IV untuk menghasilkan respons termal yang presisi, stabil, dan andal secara real-time.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan pemaparan dalam latar belakang dapat diambil perumusan masalah pada penelitian sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang oven listrik berbasis FPGA Cyclone IV?
2. Bagaimana merancang sistem kontrol suhu pada oven listrik berbasis FPGA Cyclone IV?
3. Bagaimana mengimplementasikan program sistem kontrol suhu menggunakan metode Ziegler-Nichols pada oven listrik berbasis FPGA Cyclone IV?
4. Bagaimana karakteristik respons suhu setelah diterapkannya sistem kendali PID menggunakan metode penalaan Ziegler-Nichols pada oven listrik berbasis FPGA Cyclone IV?
5. Bagaimana perbandingan pemrosesan pada FPGA dengan ESP32?

1.3 Pembatasan Masalah

Dalam penyusunan ini, terdapat batasan masalah agar pembatasan masalah lebih fokus dan terarah. Batasan tersebut yaitu:

1. Pengukuran suhu ruang pada oven menggunakan RTD PT-100 dengan Transmitter 4-20 mA.
2. Mikrokontroler yang digunakan adalah FPGA Cyclone IV sebagai pengendali utama.
3. Sistem kontrol suhu tubular heater menggunakan algoritma PID untuk menjaga suhu tetap berada pada *set-point*.
4. Variable yang dikendalikan adalah suhu ruang pada oven.
5. Pengujian dan analisis respons sistem kendali suhu pada ruang oven listrik dibatasi pada rentang operasional set point antara 70°C hingga 130°C.
6. Penelitian ini tidak mengatur variabel kelembapan pada oven, hanya fokus pada suhu ruang pada oven.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

1.4 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah diatas maka diperoleh tujuan dari penelitian sebagai berikut:

1. Mampu merancang oven listrik berbasis FPGA Cyclone IV.
2. Mampu merancang sistem kontrol suhu pada oven listrik berbasis FPGA Cyclone IV.
3. Mampu mengimplementasikan program sistem kontrol suhu menggunakan metode Zhiiegler-Nichols pada oven listrik berbasis FPGA Cyclone IV.
4. Mampu menganalisa karakteristik respons suhu setelah diterapkannya sistem kendali PID menggunakan metode penalaan Ziegler-Nichols pada oven listrik berbasis FPGA Cyclone IV.
5. Mampu menganalisa perbandingan pemrosesan pada FPGA dengan ESP32?

1.5 Luaran

Luaran yang diharapkan dari penelitian ini untuk tugas akhir sebagai berikut :

1. Laporan Skripsi
2. Publikasi Jurnal
3. Purwarupa Model Rancang Bangun Implementasi Sistem Kontrol Fuzzy-PID Hybrid Untuk Kendali Suhu Oven Listrik Berbasis FPGA Cyclone IV.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang dapat diambil dari hasil pengujian dan analisa yang telah dilakukan sebagai berikut:

1. Perancangan oven listrik berbasis FPGA Cyclone IV berhasil diimplementasikan Sistem ini memanfaatkan tubular heater sebagai elemen pemanas utama, dimana intensitas panasnya dikendalikan modul AC dimmer LSA-002 untuk meregulasi suplai tegangan masukan AC melalui variasi sudut penyalan fasa yang dibangkitkan oleh algoritma FPGA.
2. Parameter sistem kendali suhu telah berhasil didapatkan melalui pendekatan metode empiris Ziegler-Nichols berdasarkan data respons *open-loop*. Hasil penalaan tersebut menghasilkan nilai konstanta penguatan proporsional (K_p) sebesar 1,88, konstanta integral (K_i) sebesar 0,005104, dan konstanta derivatif (K_d) sebesar 172,8.
3. Keseluruhan sistem kontrol suhu diimplementasikan secara perangkat keras menggunakan Field Programmable Gate Array (FPGA) keluarga Cyclone IV seri EP4CE6E22C8 melalui sintesis kode VHDL pada lingkungan pengembangan Quartus. Sistem ini dirancang secara terintegrasi untuk mengeksekusi perhitungan PID yang menghasilkan persentase aktuasi 0–100% menuju modul daya LSA-002 untuk mengatur *output* tubular heater. Selain itu, FPGA juga diprogram untuk menerima aliran data secara real-time dari mikrokontroler ESP32 yang bertindak sebagai antarmuka pengondisi sinyal untuk sensor suhu RTD PT-100.
4. Karakteristik respons termal sistem kendali PID dengan penalaan Ziegler-Nichols pada oven berbasis FPGA Cyclone IV dipengaruhi oleh besaran set point yang ditetapkan. Secara keseluruhan, sistem mampu mencapai dan mempertahankan suhu target, dengan tingkat keandalan yang meningkat seiring naiknya nilai set point. Performa terbaik dicapai pada set point 130°C, dengan overshoot 4,38%, settling time 441 detik, dan steady-state error 0,522%. Sebaliknya, pada set point 70°C, inersia termal aktuator



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

menyebabkan overshoot melonjak hingga 16,43% dan settling time memanjang hingga 928 detik. Hal ini menunjukkan bahwa fluktuasi yang terjadi pada pemanasan awal bersuhu rendah bukan disebabkan oleh ketidakakuratan eksekusi logika FPGA, melainkan akibat karakteristik dinamika termal dari ruang oven dan batas waktu respons sensor RTD PT-100 yang digunakan.

5. Berdasarkan hasil perancangan, pengujian, dan analisis data empiris yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa arsitektur FPGA Cyclone IV memberikan kinerja yang jauh lebih unggul dibandingkan mikrokontroler konvensional dalam implementasi Pengendali Sudut Fasa AC Presisi Tinggi. Pemrosesan paralel algoritma pengendalian fasa pada tingkat perangkat keras (eksekusi tingkat perangkat keras) terbukti efektif dalam mengatasi masalah latensi interupsi, yang merupakan kelemahan utama dari eksekusi mikrokontroler secara berurutan. Hasil akuisisi data osiloskop menunjukkan bahwa sistem berbasis FPGA mampu mempertahankan stabilitas pulsa pemicu dengan tingkat penyimpangan waktu (jitter) di bawah 0,02 ms relatif terhadap sinyal sinkronisasi Zero Crossing Detector (ZCD). Sebaliknya, sistem mikrokontroler menghasilkan fluktuasi waktu yang memicu pergeseran sudut fasa dan ketidakstabilan pada tegangan efektif. Stabilitas pemicu absolut pada FPGA secara langsung mencegah efek fluktuasi daya (kedipan) pada pasokan arus bolak-balik, sehingga memastikan linearitas dan efisiensi regulasi daya pada beban pemanas oven listrik untuk aplikasi industri yang menuntut presisi tinggi.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian yang telah dilakukan. Berikut saran untuk pengembangan oven listrik berbasis FPGA Cyclone IV.

1. Guna menekan tingginya lewatan maksimum (overshoot) yang disebabkan oleh kelambanan waktu respons sensor, disarankan untuk menggunakan sensor suhu dengan massa termal yang lebih rendah dan waktu respons yang



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

lebih cepat, seperti termokopel tipe K telanjang (exposed junction), sehingga FPGA dapat menerima umpan balik transisi suhu secara lebih aktual

2. Untuk memaksimalkan kapabilitas System-on-Chip (SoC) pada FPGA dan mengurangi latensi komunikasi antar-mikrokontroler, pengembangan selanjutnya dapat mengintegrasikan modul Analog-to-Digital Converter (ADC) presisi seperti MAX31865 secara langsung ke pin FPGA melalui protokol komunikasi SPI yang disintesis menggunakan bahasa VHDL.





DAFTAR PUSTAKA

- Altera. (2016). *Volume 1 Cyclone IV Device Handbook*. www.altera.com
- Amri, F., Dharmawan Hadi, B., Maknunah, J., Fitriyanto, I., Lutfiar Rizky, R., Rahayu, S., & Wanda Alifah, A. (2025). *Studi Awal Kendali Kecepatan Motor Listrik Satu Fasa Berdasarkan Parameter Kekeruhan Air Berbasis Arduino Nano* (Vol. 25, Number 2). <http://ejurnal.poliban.ac.id/index.php/intekna/issue/archive>
- Annafi, M. I., Syakur, A., & Ajub Ajulian, Z. M. (2023). Perancangan Kontrol Suhu Berbasis Pid Dengan Metode Ziegler Nichols 1 Pada Oven Listrik. In *Transient* (Vol. 12, Number 1). <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/transient>
- ESPRESSIF. (2026). *ESP32 Technical Reference Manual*. www.espressif.com
- Evalina, N., Pasaribu, F. I., Azis, A., & Sary, A. (2022). *Penggunaan Arduino Uno Untuk Mengatur Temperatur Pada Oven*. <https://doi.org/10.30596/rele.v1i1>.
- Fahrurrizal, M. A. (2022). *Implementasi Kendali PID Ziegler Nichols-Tuning FUZZY SUGENO Pada Sistem Pemanas Ruangan Sense Commercial 10*.
- Fauzi, L. R., & Suharjo, I. (2026). *Prototipe Alat Deteksi Banjir Berbasis ESP32, TinyML, dan Notifikasi Telegram* (Vol. 8).
- García, L. E. B., Sánchez, M. Á. G., Sanchez, E. G., Molina Almaraz, M., Guerrero Osuna, H. A., Olvera Olvera, C. A., López Martínez, M. de J., Sánchez, L. O. S., Chávez, O. V., & Mendoza Huizar, L. H. (2026). Timing Accuracy and Jitter Characterization of ESP32-Based Phase-Angle AC Control: MicroPython vs. Native C. *Electronics (Switzerland)*, 15(9). <https://doi.org/10.3390/electronics15091970>

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Gunawan Sugiarta, Y. B., Isdaryani, F., Andini, D. P., & Hikmawati, R. (2022). Implementasi Sistem Kendali ON-OFF pada Field Programmable Gate Array (FPGA). *Jurnal Teknologi Rekayasa*, 7(1). <https://doi.org/10.31544/jtera.v7.i1.2022>

Hasibuan, W. E. Y., Nasution, H., Yona, M., Riyandi, R., Sriwati, Afifah, N., Saputri, M., & Ardarina, N. (2025). *Job Analisis Dalam Penerapan Oven Otomatis Berbasis Arduino Uno Pada Umkm Brownies Bapak Sugeng Kota Batam*.

Indriyani, L., Maulidin, R., Jiwa, P., & Yunta, P. (2022). *Implementasi Pengendalian Suhu Pada Sistem Pasteurisasi Susu Dengan Metode PID Berbasis Temperature Controller*.

Irsyad Annafi, M., Syakur, A., & Ajub Ajulian, dan Z. (2023). Perancangan Kontrol Suhu Berbasis PID Dengan Metode Ziegler Nichols 1 Pada Oven Listrik. In *TRANSIENT* (Vol. 12, Number 1). <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/transient>

Irsyad Awaludin, M., & Dwi Waluyo, B. (2023a). *Perancangan Sistem Kontrol Suhu Oven Listrik Menggunakan Metode PID* (Vol. 11, Number 2).

Irsyad Awaludin, M., & Dwi Waluyo, B. (2023b). *Perancangan Sistem Kontrol Suhu Oven Listrik Menggunakan Metode PID*.

Makin, S. P., Nachrowie, N., & Subairi, S. (2023). Penerapan Metode Fuzzy Sugeno pada Otomatisasi Oven Pengering Ikan Asin Berbasis IoT. *Blend Sains Jurnal Teknik*, 2(3), 244–255. <https://doi.org/10.56211/blendsains.v2i3.414>

Masruri, R. I. (2021). *Rancang Bangun Pemilah Dan Pengisian Galon Air Otomatis*.

Nidhar, A., Belyamin, Prasetya, S., & Mustofa Kamal, D. (2025). Perbandingan Kontrol Temperatur menggunakan Relay dan PID pada Oven Pengering



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

berbasis Load Cell untuk Mengukur Kadar Air Buah. In *Jurnal Rekayasa Mesin* (Vol. 20, Number 1). <https://jurnal.polines.ac.id/index.php/rekayasa>

Rizal, M., Handayani, P., & Riadi, I. C. J. (2022). *Sistem Kendali Suhu Oven Pengering Gabah Menggunakan Fuzzy Logic Berbasis Internet Of Thing*.

Rosyid, Y. R. (2021). *Pemodelan Dan Simulasi Untuk Sistem Kendali Otomatis Electric Water Heater Berbasis PID Controller*.

Sulistiyowati, I., & Wisaksono, A. (2023). Perancangan Alat Perbaikan Faktor Listrik Rumah Tangga Dengan Monitoring Telegram. *JEECOM*, 5(1).

Widodo, B., Kamiran, K., Asiyah, N., Andari, M. T., Dewi, B. F., Magdalyna, S. N., Rismaya, A. D., Rahayuningsih, T., Revitriani, M., Wisnubaskara, I. Y., & Yudistira, D. A. (2022). Rancang Bangun Pemanas Elektrik Produk Olahan Pertanian Berbasis Tubular Heater Element. *Sewagati*, 6(3). <https://doi.org/10.12962/j26139960.v6i3.113>

Zhang, S. (2025). *Research on the Application of PID Control Algorithm and Fuzzy Control Theory in the Field of Temperature Control*. <https://doi.org/10.54254/2755-2721/117/2025.19948>

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

LAMPIRAN

Lampiran 1 Daftar Riwayat Hidup Penulis

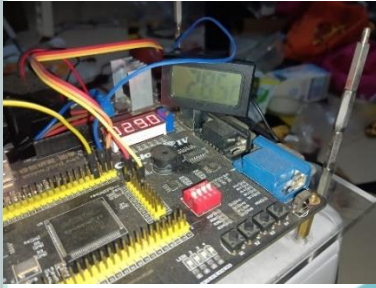


Penulis bernama Muhammad Farrel Abdoel Jabbar, anak pertama dari dua bersaudara dan lahir di Jakarta pada 20 september 2004. Latar belakang pendidikan formal penulis adalah lulus di SDN Sawah 03 Ciputat, Tangerang Selatan pada tahun 2016. Melanjutkan melanjutkan jenjang sekolah ke sekolah menengah pertama di SMP Paramarta Unggulan lulus pada tahun 2019. Kemudian melanjutkan sekolah menengah atas di SMA Budi Mulia Ciledug pada tahun 2022. Lalu penulis melanjutkan studi ke jenjang perkuliahan Sarjana Terapan (S.Tr.) di Politeknik Negeri Jakarta jurusan Teknik Elektro program studi Instrumentasi dan Kontrol Industri sejak tahun 2022. Penulis dapat dihubungi melalui email muhammadfarrelabdoeljabbar0@gmail.com



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Lampiran 2 Dokumentasi Alat



```
Timestamp,T,E,D,P
04:24.1,288,101200,0,100
04:25.1,289,101100,-100,100
04:26.1,290,101000,-100,100
04:27.1,290,101000,0,100
04:28.1,292,100800,-200,100
```



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

ITEKNIK
GERI
ARTA



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Lampiran 3 Program FPGA

```

library ieee;

use ieee.std_logic_1164.all;

use ieee.numeric_std.all;

entity Oven_PID_Final is

    port (

        clk_50mhz : in std_logic;

        data_Rx   : in std_logic;

        zero_cross : in std_logic;

        triac_out  : out std_logic;

        o_seg      : out std_logic_vector(7 downto 0);

        o_digit    : out std_logic_vector(3 downto 0)

    );

end Oven_PID_Final;

architecture Behavioral of Oven_PID_Final is

    constant BAUD_DIV : integer := 26;

    signal baud_cnt    : integer range 0 to 26 := 0;

    signal sample_tick : std_logic := '0';

    signal rx_sync     : std_logic_vector(1 downto 0) := (others => '1');

    signal rx_clean    : std_logic := '1';

    type uart_state_t is (IDLE, START, DATA, STOP);

    signal state_uart  : uart_state_t := IDLE;

    signal sample_cnt  : integer range 0 to 15 := 0;

    signal bit_index   : integer range 0 to 7 := 0;

    signal rx_shift    : std_logic_vector(7 downto 0) := (others => '0');

    signal raw_data_valid : std_logic := '0';

    type assembly_state_t is (WAIT_HEADER, GET_HIGH, GET_LOW);
  
```



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

signal state_asm : assembly_state_t := WAIT_HEADER;

signal high_byte_reg : std_logic_vector(7 downto 0) := (others => '0');

signal temp_filt : integer range 0 to 262143 := 0;

signal temp_display : integer range 0 to 2047 := 0;

constant SETPOINT : integer := 130000;

constant Kp : integer := 1500; -- Dari 1.5 (Pembulatan Desimal)

constant Ki : integer := 3; -- Dari 0.003 (Pembulatan desimal)

constant Kd : integer := 130000; -- Dari 130

constant INTEGRAL_MAX : integer := 15000000;

constant INTEGRAL_MIN : integer := -15000000;

signal prev_temp : integer range 0 to 262143 := 0;

signal integral : integer range -15000000 to 15000000 := 0;

signal pid_out : integer range 0 to 100 := 0; -- Output persentase triac (0-100%)

constant CNT_1S_MAX : integer := 49999999;

signal cnt_1s : integer range 0 to 49999999 := 0;

signal zc_sync : std_logic_vector(1 downto 0) := (others => '0');

signal zc_rising : std_logic := '0';

constant HALF_CYCLE : integer := 500000;

signal delay_cnt : integer range 0 to 500000 := 0;

signal fire_delay : integer range 0 to 500000 := 0;

signal fire_flag : std_logic := '0';

signal fire_en : std_logic := '0';

signal pulse_cnt : integer range 0 to 5000 := 0;

signal triac_gate : std_logic := '0';

signal digit_val : integer range 0 to 9 := 0;

signal seg_timer : integer range 0 to 25000 := 0;

signal seg_sel : integer range 0 to 3 := 0;

signal dbg_waktu : integer range 0 to 65535 := 0; -- Menyimpan waktu (detik)

```



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

signal dbg_error : integer range -262143 to 262143 := 0;  -- Signal untuk membaca variabel 'e'

signal dbg_delta : integer range -262143 to 262143 := 0;  -- Signal untuk membaca variabel 'd'

signal pulse_1s : std_logic := '0'; -- Sinyal trigger untuk Signal Tap merekam 1x per detik

attribute keep : boolean;

attribute noprun : boolean;

attribute keep of dbg_waktu : signal is true;

attribute noprun of dbg_waktu : signal is true;

attribute keep of dbg_error : signal is true;

attribute noprun of dbg_error : signal is true;

attribute keep of dbg_delta : signal is true;

attribute noprun of dbg_delta : signal is true;

attribute keep of temp_filt : signal is true;

attribute keep of pid_out : signal is true;

attribute keep of pulse_1s : signal is true;

attribute noprun of pulse_1s : signal is true;

begin

begin

if rising_edge(clk_50mhz) then

  if baud_cnt = BAUD_DIV then

    baud_cnt  <= 0;

    sample_tick <= '1';

  else

    baud_cnt  <= baud_cnt + 1;

    sample_tick <= '0';

  end if;

end if;

end process;

```



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

process(clk_50mhz)

begin

  if rising_edge(clk_50mhz) then

    rx_sync <= rx_sync(0) & data_Rx;

    rx_clean <= rx_sync(1);

    raw_data_valid <= '0';

    if sample_tick = '1' then

      case state_uart is

        when IDLE =>

          if rx_clean = '0' then state_uart <= START; sample_cnt <= 0; end if;

        when START =>

          if sample_cnt = 7 then if rx_clean = '0' then state_uart <= DATA; sample_cnt <= 0; bit_index <= 0; else
            state_uart <= IDLE; end if; else sample_cnt <= sample_cnt + 1; end if;

        when DATA =>

          if sample_cnt = 15 then rx_shift(bit_index) <= rx_clean; sample_cnt <= 0; if bit_index = 7 then state_uart
            <= STOP; else bit_index <= bit_index + 1; end if; else sample_cnt <= sample_cnt + 1; end if;

        when STOP =>

          if sample_cnt = 15 then if rx_clean = '1' then raw_data_valid <= '1'; end if; state_uart <= IDLE; else
            sample_cnt <= sample_cnt + 1; end if;

      end case;

    end if;

  end if;

end process;

process(clk_50mhz)

  variable v_assembled : integer;

begin

  if rising_edge(clk_50mhz) then

    if raw_data_valid = '1' then
  
```



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

case state_asm is

  when WAIT_HEADER =>

    if rx_shift = x"FF" then state_asm <= GET_HIGH; end if;

  when GET_HIGH =>

    high_byte_reg <= rx_shift; state_asm <= GET_LOW;

  when GET_LOW =>

    v_assembled := to_integer(unsigned(high_byte_reg & rx_shift));

    if v_assembled > 2000 then

      temp_display <= 2000;

    else

      temp_display <= v_assembled;

    end if;

    if (v_assembled * 100) > 200000 then

      temp_filt <= 200000;

    else

      temp_filt <= v_assembled * 100;

    end if;

    state_asm <= WAIT_HEADER;

  end case;

end if;

end if;

end process;

process(clk_50mhz)

  variable e    : integer range -262143 to 262143;

  variable d    : integer range -262143 to 262143;

  variable i_new : integer range -15000000 to 15000000;

  variable p_raw : integer range -2000000 to 2000000;

```



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

begin
  if rising_edge(clk_50mhz) then

    if cnt_1s = CNT_1S_MAX then

      cnt_1s <= 0;

      pulse_1s <= '1';

      dbg_waktu <= dbg_waktu + 1; -

      e := SETPOINT - temp_filt;

      dbg_error <= e;

      d := prev_temp - temp_filt;

      prev_temp <= temp_filt;

      dbg_delta <= d;

      i_new := integral + e;

      if i_new > INTEGRAL_MAX then

        i_new := INTEGRAL_MAX;

      elsif i_new < INTEGRAL_MIN then

        i_new := INTEGRAL_MIN;

      end if;

      integral <= i_new;

      p_raw := (Kp * e + Ki * i_new + Kd * d) / 1048576;

      if p_raw < 0 then

        pid_out <= 0;

      elsif p_raw > 100 then

        pid_out <= 100;

      else

        pid_out <= p_raw;

      end if;
  
```



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

else
    cnt_1s <= cnt_1s + 1;

    pulse_1s <= '0';

end if;

end if;

end process;

process(clk_50mhz)

    variable v_delay : integer range -500000 to 500000;

begin
    if rising_edge(clk_50mhz) then
        zc_sync <= zc_sync(0) & zero_cross;

        zc_rising <= (not zc_sync(1)) and zc_sync(0);

        if zc_rising = '1' then
            v_delay := HALF_CYCLE - (pid_out * 5000);

            if v_delay < 0 then v_delay := 0; elsif v_delay > HALF_CYCLE then v_delay := HALF_CYCLE; end if;

            fire_delay <= v_delay; delay_cnt <= 0; fire_en <= '1'; fire_flag <= '0';

        elsif fire_en = '1' then
            if delay_cnt >= fire_delay then
                fire_flag <= '1';

                fire_en <= '0';

            else delay_cnt <= delay_cnt + 1;

                fire_flag <= '0'; end if;

        else

            fire_flag <= '0';

        end if;

    end if;

end if;

```



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

end process;

process(clk_50mhz)

begin

  if rising_edge(clk_50mhz) then

    if fire_flag = '1' then

      triac_gate <= '1';

      pulse_cnt <= 1;

    elsif pulse_cnt > 0 and pulse_cnt < 5000 then

      pulse_cnt <= pulse_cnt + 1;

      triac_gate <= '1';

    else

      triac_gate <= '0';

      pulse_cnt <= 0;

    end if;

  end if;

end process;

triac_out <= triac_gate;

process(clk_50mhz)

  variable v_temp : integer range 0 to 2047;

begin

  if rising_edge(clk_50mhz) then

    if seg_timer = 25000 then

      seg_timer <= 0;

      if seg_sel = 3 then seg_sel <= 0;

      else seg_sel <= seg_sel + 1;

      end if;

    else

      seg_timer <= seg_timer + 1;

```



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

end if;

v_temp := temp_display;

case seg_sel is

    when 0 => digit_val <= (v_temp / 1000) mod 10; o_digit <= "1110";

    when 1 => digit_val <= (v_temp / 100) mod 10; o_digit <= "1101";

    when 2 => digit_val <= (v_temp / 10) mod 10; o_digit <= "1011";

    when 3 => digit_val <= (v_temp) mod 10; o_digit <= "0111";

    when others => o_digit <= "1111";

end case;

case digit_val is

    when 0 => o_seg <= "11000000"; when 1 => o_seg <= "11111001";

    when 2 => o_seg <= "10100100"; when 3 => o_seg <= "10110000";

    when 4 => o_seg <= "10011001"; when 5 => o_seg <= "10010010";

    when 6 => o_seg <= "10000010"; when 7 => o_seg <= "11111000";

    when 8 => o_seg <= "10000000"; when 9 => o_seg <= "10010000";

    when others => o_seg <= "11111111";

end case;

if seg_sel = 2 then o_seg(7) <= '0'; else o_seg(7) <= '1'; end if;

end if;

end process;

end Behavioral;

```



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Lampiran 4 Program ESP32

```
#include <Wire.h>

#include <Adafruit_GFX.h>

#include <Adafruit_SSD1306.h>

#include <PZEM004Tv30.h>

const int analogPin = 34;

#define RXD2 16

#define TXD2 17

#define PZEM_RX_PIN 18

#define PZEM_TX_PIN 19

#define OLED_SDA 21

#define OLED_SCL 22

const float R_load = 150.0;

const float V_ref = 3.3;

#define SCREEN_WIDTH 128

#define SCREEN_HEIGHT 64

Adafruit_SSD1306 display(

  SCREEN_WIDTH,

  SCREEN_HEIGHT,

  &Wire,

  -1

);

HardwareSerial PZEMSerial(1);

PZEM004Tv30 pzem(

  PZEMSerial,

  PZEM_RX_PIN,

  PZEM_TX_PIN

);
```



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
float suhuFiltered = 0.0;

bool firstRead = true;

unsigned long lastSendTime = 0;

unsigned long lastDisplayTime = 0;

void setup()
{
  Serial.begin(115200);

  Serial2.begin(
    115200,
    SERIAL_8N1,
    RXD2,
    TXD2
  );
  analogReadResolution(12);
  Wire.begin(
    OLED_SDA,
    OLED_SCL
  );
  if(!display.begin(
    SSD1306_SWITCHCAPVCC,
    0x3C))
  {
    while(1);
  }

  display.clearDisplay();

  display.setTextColor(SSD1306_WHITE);

  display.setTextSize(1);
```



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

display.setCursor(0,0);

display.println("PT100 + PZEM");

display.println("System Start...");

display.display();

Serial.println("System Ready");

}

void loop()

{

  long adcSum = 0;

  for(int i=0;i<32;i++)

  {

    adcSum += analogRead(analogPin);

  }

  float adcValue = adcSum / 32.0;

  float voltageADC =

    (adcValue / 4095.0) * V_ref;

  float currentMA =

    (voltageADC / R_load) * 1000.0;

  float suhuBaru = 0.0;

  if(currentMA >= 4.0)

  {

    suhuBaru =

      (currentMA - 4.0)

      * 150.0 / 16.0;

  }

  if(suhuBaru < 0)

    suhuBaru = 0;

  if(firstRead)

```



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
{
    suhuFiltered = suhuBaru;

    firstRead = false;
}

else
{
    suhuFiltered =
        (0.99 * suhuFiltered) +
        (0.01 * suhuBaru);
}

if(millis() - lastSendTime >= 100)
{
    lastSendTime = millis();
    int suhuKirim =
        (int)(suhuFiltered * 10.0);
    suhuKirim =
        constrain(
            suhuKirim,
            0,
            1500
        );
    byte highByte =
        (suhuKirim >> 8) & 0xFF;

    byte lowByte =
        suhuKirim & 0xFF;

    Serial2.write(0xFF);
    Serial2.write(highByte);
    Serial2.write(lowByte);
}
```



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

}

    pzem.voltage();

float current =

    pzem.current();

float power =

    pzem.power();

float energy =

    pzem.energy();

float frequency =

    pzem.frequency();

float pf =

    pzem.pf();

if(millis() - lastDisplayTime >= 0)
{
    lastDisplayTime = millis();

    display.clearDisplay();

    display.setTextSize(1);

    display.setCursor(0,0);

    display.print("T:");

    display.print(

        suhuFiltered,

        1

    );

    display.println(" C");

    display.print("V:");

    display.print(

        isnan(voltage)?0:voltage,

        1

```



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
);
display.println("V");

display.print("I:");

display.print(

    isnan(current)?0:current,

    2

);

display.println("A");

display.print("P:");

display.print(

    isnan(power)?0:power,

    1

);

display.println("W");

display.print("E:");

display.print(

    isnan(energy)?0:energy,

    2

);

display.println("kWh");

display.print("F:");

display.print(

    isnan(frequency)?0:frequency,

    1

);

display.print(" PF:"); //Power Factor

display.print(

    isnan(pf)?0:pf,
```





© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

2
);

display.display();

Serial.print(

  suhuFiltered,

  1

);

Serial.print("\t");

Serial.print(

  isnan(voltage)?0:voltage,

  1

);

Serial.print("\t");

Serial.print(

  isnan(current)?0:current,

  2

);

Serial.print("\t");

Serial.print(

  isnan(power)?0:power,

  1

);

Serial.print("\t");

Serial.print(

  isnan(energy)?0:energy,

  2

);

Serial.print("\t");

```





© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
Serial.print(  
  
    isnan(frequency)?0:frequency,  
  
    1  
  
);  
  
Serial.print("\t");  
  
Serial.println(  
  
    isnan(pf)?0:pf,  
  
    2  
  
);  
}  
}
```

