



**PERANCANGAN SISTEM MONITORING EFISIENSI OPERASIONAL
DAN ALARM PADA *FURNACE* LISTRIK BERBASIS ESP32
MENGUNAKAN METODE FUZZY SUGENO**

TUGAS AKHIR

Diajukan sebagai salah satu syarat menyelesaikan pendidikan pada
Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Otomasi
Departemen Teknologi Industri Sekolah Vokasi
Universitas Diponegoro

Disusun oleh :
Akhdan Hylmi Prasasti
40040322650015

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN TEKNOLOGI REKAYASA
OTOMASI
DEPARTEMEN TEKNOLOGI INDUSTRI
SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS DIPONEGORO
2026**

HALAMAN PERSETUJUAN
LAPORAN TUGAS AKHIR

PERANCANGAN SISTEM MONITORING EFISIENSI OPERASIONAL
DAN ALARM PADA *FURNACE* LISTRIK BERBASIS ESP32
MENGGUNAKAN METODE FUZZY SUGENO

Diajukan oleh :

Akhdan Hylmi Prasasti

NIM. 40040322650015

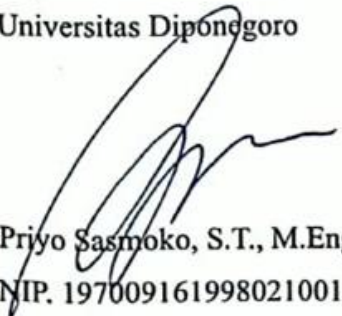
TELAH DISETUJUI DAN DITERIMA DENGAN BAIK OLEH

DOSEN PEMBIMBING,


Dr. Drs. Priyono, M.Si
NIP. 196703111993031005

14 Agustus 2026

Mengetahui,
Ketua,
Program Studi S.Tr. Teknologi Rekayasa Otomasi
Departemen Teknologi Industri Sekolah Vokasi
Universitas Diponegoro


Priyo Sasmoko, S.T., M.Eng.
NIP. 197009161998021001

14 Agustus 2026

HALAMAN PENGESAHAN

PERANCANGAN SISTEM MONITORING EFISIENSI OPERASIONAL DAN ALARM PADA *FURNACE* LISTRIK BERBASIS ESP32 MENGGUNAKAN METODE FUZZY SUGENO

Disusun oleh:

Akhdan Hylmi Prasasti 40040322650015

Telah diujikan dan dinyatakan lulus oleh Tim penguji pada

Jumat, 14 Agustus 2026

Tim Penguji,
Pembimbing I,


Dr. Drs. Priyono, M.Si.
NIP. 196703111993031005

Penguji I,


Megarini Hersaputri, S.T., M.T.
NIP. 198902142020122012

Penguji II,

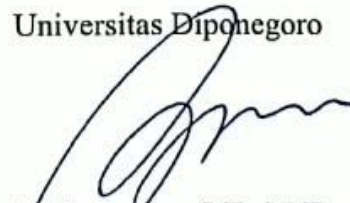

Aulia Istiqomah S.ST., M.T.
NIP.199306122022042001

Mengetahui

Ketua Program Studi Teknologi Rekayasa Otomasi

Departemen Teknologi Industri Sekolah Vokasi

Universitas Diponegoro


Priyo Sasmoiko, S.T., M.Eng.
NIP. 197009161998021001

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Akhdan Hylmi Prasasti
NIM : 40040322650015
Program Studi : Teknologi Rekayasa Otomasi
Judul Tugas Akhir : Perancangan Sistem Monitoring Efisiensi Operasional
Dan Alarm Pada *Furnace* Listrik Berbasis Esp32
Menggunakan Metode Fuzzy Sugeno

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh derajat keahlian di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ini ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka. Apabila dikemudian hari terbukti plagiat dalam tugas akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan Mendiknas RI No. 17 Tahun 2010 dan Peraturan Perundang-undangan yang berlaku.

Semarang, 14 Agustus 2026

Penuhis,


Akhdan Hylmi Prasasti
NIM 40040322650015

KATA PENGANTAR

Puji serta syukur penulis panjatkan kepada Allah S.W.T atas rahmat dan karunianya penulis dapat menyusun laporan tugas akhir yang berjudul “Perancangan Sistem Monitoring Efisiensi Operasional Dan Alarm Pada *Furnace* Listrik Berbasis Esp32 Menggunakan Metode Fuzzy Sugeno”. Laporan ini bertujuan untuk memenuhi persyaratan dalam pembuatan tugas akhir di program studi S.Tr. Teknologi Rekayasa Otomasi, Departemen Teknologi Industri, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro.

Laporan ini ditulis dengan latar belakang pentingnya monitoring serta sistem keselamatan pada *furnace* listrik yang digunakan di laboratorium pendidikan ataupun industri manufaktur. *Furnace* listrik konvensional masih belum memiliki sistem yang mampu memberikan informasi penggunaan energi serta peringatan saat terjadi kondisi abnormal. Oleh karena itu, penulis merancang sebuah alat yang mampu memonitoring serta memberikan peringatan dini pada *furnace* listrik.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan laporan ini tidak lepas dari dukungan serta bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Budiyo, M.Si. selaku Dekan Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro
2. Bapak Dr. Mohd Ridwan, S.T., M.T. selaku Ketua Departemen Teknologi Industri, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro.
3. Bapak Priyo Sasmoko, S.T., M.Eng. selaku Ketua Program Studi Teknologi Rekayasa Otomasi, Departemen Teknologi Industri, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro.
4. Bapak Dr. Drs. Priyono, M.Si selaku dosen pembimbing yang telah memberikan waktu, ilmu, serta kesempatan berkembang bagi penulis dalam penyelesaian laporan ini.

5. Bapak/Ibu dosen dan civitas akademika di Program Studi S.Tr. Teknologi Rekayasa Otomasi, yang telah memberikan ilmu dan pengalaman yang sangat bermanfaat selama kegiatan perkuliahan.
6. Ibu, Bapak, serta nenek penulis, yang telah mendidik dan merawat serta memberikan dukungan dalam segala hal, sehingga penulis dapat tumbuh dan berkembang hingga saat ini.
7. Kakak dan adik penulis yang telah memberikan semangat serta memotivasi penulis untuk terus tumbuh dan berkembang.
8. Nazuah, sebagai seseorang yang selalu memberikan dukungan bagi penulis, sehingga memberikan motivasi bagi penulis dalam menyelesaikan laporan ini.
9. Teman-teman SATNAYAKA TRO 22 yang telah memberikan lingkungan perkuliahan yang nyaman bagi penulis, sehingga penulis dapat melaksanakan perkuliahan dengan baik.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi penyusunan rancang bangun alat ini agar dapat lebih baik kedepannya. Akhir kata, semoga laporan ini dapat diterima dan memberikan manfaat yang baik bagi pembaca maupun bagi dunia akademik kedepannya.

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
ABSTRAK	xiii
ABSTRACT	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Tugas Akhir.....	5
1.4 Manfaat Tugas Akhir.....	6
1.5 Batasan Masalah.....	6
1.6 Sistematika Penulisan Tugas Akhir.....	7
BAB II DASAR TEORI	8
2.1 Penelitian Terdahulu.....	8
2.2 <i>Furnace</i> atau Tungku Pembakaran.....	10
2.3 <i>Furnace</i> Listrik.....	11
2.4 Elemen Pemanas Silicon Carbide.....	13
2.5 Efisiensi Operasional <i>Furnace</i> Listrik.....	15
2.6 Heating Energi index.....	17
2.7 Holding Energi Rate	18
2.8 Baseline <i>HEI</i> dan <i>HER</i>	20
2.9 Normalisasi <i>HEI</i> dan <i>HER</i>	22
2.10 Logika Fuzzy (<i>Fuzzy Logic</i>).....	24
2.10.1 Variabel Input	25
2.10.2 Fungsi Keanggotaan (<i>Membership Function</i>)	25
2.10.3 Basis Aturan Fuzzy Sugeno	27
2.10.4 Aplikasi Fungsi Implikasi	28

2.10.5 Komposisi Aturan	29
2.10.6 Penegasan atau Defuzzifikasi	31
2.11 Node-RED	32
2.12 Protokol Komunikasi MQTT	34
2.13 Mikrokontroler ESP32-S3	36
2.14 Sensor Suhu: Termocouple Type K dan Modul ADC MAX6675	38
2.15 Sensor Parameter kelistrikan : PZEM-004T	40
2.16 Sistem Alarm: <i>Buzzer</i> dan <i>LED</i>	42
2.17 <i>Power Supply</i> dan <i>Buck Converter</i>	45
2.18 Aluminium Oksida	49
BAB III METODE PENELITIAN	51
3.1 Blok Diagram dan Flowchart	51
3.1.1 Blok Diagram	51
3.1.2 <i>Flowchart</i> Sistem Keseluruhan	53
3.1.3 Flowchart Sistem Monitoring Operasional Efisiensi & Alarm	56
3.2 Gambar 3D	60
3.3 Spesifikasi dan Fitur	61
3.4 Teknik Fabrikasi	62
3.4.1 Perancangan Perangkat Lunak	63
3.4.2 Perancangan Elektrik Sistem	65
3.4.2.1 Perhitungan Kebutuhan Daya Elektrik Sistem	68
3.4.2.2 Perakitan Komponen Elektrik	69
3.4.3 Perancangan <i>Fuzzy Sugeno</i>	70
3.4.4 Perancangan Node-RED	75
3.5 Dimensi dan Konfigurasi Ruang bakar	78
BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISA	81
4.1 Hasil Pengujian Komponen	81
4.1.1 Pengujian Power Supply 12V 10A	81
4.1.2 Pengujian Sensor PZEM-004T	84
4.1.3 Pengujian Sensor <i>Thermocouple Type K</i>	86
4.1.4 Pengujian Karakteristik Batang Silicon Carbide	89
4.1.5 Pengujian Rangkaian Batang Silicon Carbide	96
4.1.6 Pengujian Karakteristik Rangkaian SiC pada Temperatur Tetap	99
4.2 Pembentukan Baseline	101

4.2.1 Pengambilan Data Baseline <i>HEI</i> dan <i>HER</i>	102
4.2.2 Penentuan Nilai <i>Baseline HEI</i> dan <i>HER</i>	104
4.3 Pengujian Sistem	105
4.3.1 Pengujian Komunikasi MQTT dan Node-RED.....	106
4.3.2 Pengujian Sistem Alarm	110
4.3.3 Pengujian Perhitungn <i>HEI</i> dan <i>HER</i>	114
4.3.4 Pengujian Sistem Fuzzy Sugeno.....	117
4.3.5 Pengujian Sistem Secara Keseluruhan.....	124
4.3.6 Pengujian Penyimpnan Data hasil ke <i>CSV</i>	126
BAB V PENUTUP	129
5.1 Kesimpulan.....	129
5.2 Saran.....	130
DAFTAR PUSTAKA	131
LAMPIRAN	134

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Simulasi Kurva Pemanas Furnace Listrik	12
Gambar 2.2. Silicon Carbide (SiC) tipe Straight Hot Rod	13
Gambar 2.3. Komunikasi MQTT dengan ESP32	35
Gambar 2. 4. Modul ESP32-S3 dan konfigurasi pin utama	36
Gambar 2. 5. Thermocouple Type K dan Modul MAX6675	39
Gambar 2. 6 Sensor dan Modul PZEM-004T	41
Gambar 2. 7. Buzzer Piezoelektrik	43
Gambar 2. 8 Pilot Lamp 12V	44
Gambar 2. 9 Buck Converter	47
Gambar 2. 10. Alumunium Oksida Sebagai Dinding Ruang Bakar	50
Gambar 3. 1. Diagram Blok Sistem	51
Gambar 3. 2. Flowchart Sistem Keseluruhan	53
Gambar 3. 3. Flowchart Sistem Monitoring Efisiensi & Alarm	56
Gambar 3. 4. Design 3D furnace temperatur tinggi	60
Gambar 3. 5. Exploded view dan detail design furnace temperatur tinggi	60
Gambar 3. 6. Diagram Wiring Keseluruhan Sistem	65
Gambar 3. 7. Design printed circuit board pada sistem keseluruhan	65
Gambar 3. 8. Hasil pemasangan dan wiring komponen pada panel box	69
Gambar 3. 9. Flow Inferensi Fuzzy	74
Gambar 3. 10. Flow Penerimaan Data	75
Gambar 3. 11. Flow Hasil Fuzzy	77
Gambar 3. 12 Dimensi dan Konfigurasi Ruang Bakar Furnace	79
Gambar 4. 1 Pengujian Power Supply Tanpa Beban	82
Gambar 4. 2 Penngujian Power Supply dengan Beban	83
Gambar 4. 3. Proses Pengujian Thermocouple Tipe K Menggunakan Thermogun	87
Gambar 4. 4. Grafik Perbandingan Pembacaan Thermocouple Type K dengan MAX6675 dan Thermogun	88
Gambar 4.5. Grafik Hubunga LnI dan LnV Sic 1	90
Gambar 4.6. Grafik Hubunga LnI dan LnV Sic 2	92
Gambar 4. 7. Grafik Hubunga LnI dan LnV Sic 3	94
Gambar 4. 8. Grafik Hubunga LnI dan LnV Sic 4	95
Gambar 4. 9. Grafik Perbandingan Suhu Terhadap Waktu pada Variasi Tegangan Masuk	97
Gambar 4. 10. Grafik Hubungan lnI dan lnV Rangkaian SiC pada Temperatur 100°C	100
Gambar 4. 11. Tampilan Node-RED pada Penerimaan Raw Cycle Summary dari ESP32	107
Gambar 4. 12. Pilot Lamp Hijau Menyala sebagai Indikator Hasil Efisien	108

Gambar 4. 13. Jika Pilot Lamp Merah Menyala sebagai Indikator Hasil Tidak Efisien	108
Gambar 4. 14. Tampilan HMI pada Kondisi Warning	112
Gambar 4. 15 Tampilan HMI pada Kondisi Trip	112
Gambar 4.16. Tampilan HMI pada Kondisi Low Alarm Warning	113
Gambar 4. 17 Hasil Perhitungan Normalisasi pada Node-RED	119
Gambar 4. 18 Hasil Output Fuzzy pada Node-RED	123
Gambar 4. 19. Tampilan CSV Hasil Pengolahan Fuzzy	127

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1. Penelitian Terdahulu yang Relevan	8
Tabel 2. 2. <i>Baseline HEI & HER</i>	21
Tabel 2. 3. Spesifikasi ESP32-S3	37
Tabel 2. 4. Spesifikasi Thermocouple Type K dan Modul MAX6675.....	39
Tabel 2. 5. Spesifikasi PZEM-004T	42
Tabel 2. 6. Spesifikasi Buzzer	43
Tabel 2. 7. Spesifikasi Pilot Lamp 12V.....	45
Tabel 2. 8. Spesifikasi Power Supply 12 V DC.....	46
Tabel 2. 9. Spesifikasi Buck Converter	48
Tabel 3. 1. Tabel hubungan I/O pada keseluruhan sistem	66
Tabel 3. 2. Alat dan Bahan yang Digunakan Sistem Monitoring & Alarm.....	68
Tabel 3. 3. Tabel Perhitungan Daya	69
Tabel 3. 4. Parameter Input Fuzzy Sistem Monitoring Efisiensi	71
Tabel 3. 5. Rule Base Fuzzy	72
Tabel 4. 1. Pengujian Power Supply Tanpa Beban.....	82
Tabel 4. 2. Pengujian Power Supply Dengan Beban.....	82
Tabel 4. 3. Pengujian Sensor PZEM-004T dengan Multi Meter Standar	84
Tabel 4. 4. Pengujian Sensor Thermocouple Type K	87
Tabel 4. 5. Hasil Pengujian Batang SiC 1 (1.5 ohm)	89
Tabel 4. 6. Hasil Pengujian Batang SiC 2 (1.3 ohm)	91
Tabel 4. 7. Hasil Pengujian Batang SiC 3 (1.5 ohm)	93
Tabel 4. 8. Hasil Pengujian Batang SiC 4 (2.7 ohm)	94
Tabel 4. 9. Hasil Pengujian Kemampuan Pemanasan Rangkaian SiC	97
Tabel 4. 16. Perbandingan Hasil Perhitungan Rumus Fuzzy dan Node-RED	116
Tabel 4. 17. Hasil Fuzzifikasi I_{HEI} dan I_{HER}	120
Tabel 4. 18. Hasil Aktivasi Aturan Fuzzy	121
Tabel 4. 19. Perbandingan Hasil Perhitungan Manual dan Node-RED	124
Tabel 4. 20. Hasil Pengujian Sistem Secara Keseluruhan.....	125
Tabel 4. 21. Lanjutan.....	126

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Pengujian Sensor Thermocouple Type K	134
Lampiran 2. Pengujian Sensor PZEM004T V3	134
Lampiran 3. Tampilan Node-RED pada Node hasil Fuzzy Pengujian 800.....	135
Lampiran 4. Tampilan Dashboard SCADA-IoT Saat Efisien	135
Lampiran 5. Tampilan ashboard SCADA-IoT Saat Tidak Efisien.....	136
Lampiran 6. Tampilan ashboard SCADA-IoT Saat Proses Pemanas Berjalan ...	136
Lampiran 7. Pin DEfinion ESP32-S3 (1).....	137
Lampiran 8. Pin Definition ESP32-S3 (2)	138
Lampiran 9. Karakteristik Elektrikal Modul MAX6675 (1).....	138
Lampiran 10. Karakteristik Elektrikan Modul MAX6675 (2)	139
Lampiran 11. Spesifikasi PZEM-004T	139