



**RANCANG BANGUN SISTEM KONTROL SUHU *DEHYDRATOR*
LISTRIK BERBASIS MODUL INDUSTRI *TEMPERATURE*
CONTROLLER TC4S DENGAN MONITORING BERBASIS IOT**

LAPORAN TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Syarat Menyelesaikan Pendidikan pada
Program Studi Sarjana Terapan Teknik Listrik Industri
Departemen Teknologi Industri Sekolah Vokasi
Universitas Diponegoro

Oleh:

Indri Dwi Purnamawati
40040622650067

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN TEKNIK LISTRIK INDUSTRI
DEPARTEMEN TEKNOLOGI INDUSTRI
SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG
2026**

HALAMAN PERSETUJUAN TUGAS AKHIR

RANCANG BANGUN SISTEM KONTROL SUHU *DEHYDRATOR* LISTRIK BERBASIS MODUL INDUSTRI *TEMPERATURE CONTROLLER* TC4S DENGAN MONITORING BERBASIS IOT

Diajukan oleh : Indri Dwi Purnamawati
NIM : 40040622650067

TELAH DISETUJUI DAN DITERIMA DENGAN BAIK OLEH:

Dosen Pembimbing,



Fakhruddin Mangkusasmito, S.T., M.T.

NIP.198908202019031012

Semarang, 5. September 2026

Mengetahui,

Ketua Program Studi Sarjana Terapan Teknik Listrik Industri
Departemen Teknologi Industri Sekolah Vokasi
Universitas Diponegoro



Arkhan Subari, S.T., M.Kom.

NIP.197710012001121002

Semarang, 29 September 2026

HALAMAN PENGESAHAN TUGAS AKHIR

RANCANG BANGUN SISTEM KONTROL SUHU *DEHYDRATOR* LISTRIK BERBASIS MODUL INDUSTRI *TEMPERATURE CONTROLLER TC4S* DENGAN MONITORING BERBASIS IOT

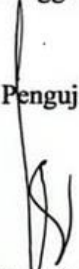
Diajukan oleh : Indri Dwi Purnamawati
NIM : 40040622650067

Telah diujikan dan dinyatakan lulus oleh Tim Penguji pada:

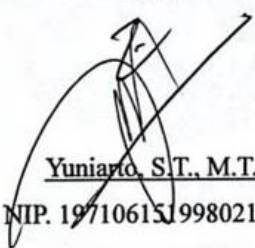
Hari : Kamis

Tanggal : 10 September 2026

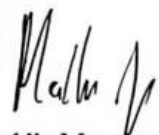
Penguji I


Arkhan Subari, S.T., M.Kom.
NIP. 197710012001121002

Penguji II


Yuniarto, S.T., M.T.
NIP. 197106151998021001

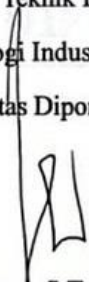
Penguji III


Fakhruddin Mangkusasmitho, S.T., M.T.
NIP. 198908202019031012

Mengetahui,

Ketua Program Studi

Sarjana Terapan Teknik Listrik Industri
Departemen Teknologi Industri Sekolah Vokasi
Universitas Diponegoro


Arkhan Subari, S.T., M.Kom.
NIP. 197710012001121002

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Indri Dwi Purnamawati
NIM : 40040622650067
Program Studi : Sarjana Terapan Teknik Listrik Industri Departemen
Teknologi Industri Sekolah Vokasi Universitas
Diponegoro
Judul Tugas Akhir : RANCANG BANGUN SISTEM KONTROL SUHU
DEHYDRATOR LISTRIK BERBASIS MODUL
INDUSTRI *TEMPERATURE CONTROLLER* TC4S
DENGAN MONITORING BERBASIS IOT

Dengan ini menyatakan, bahwa dalam 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 ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila di kemudian hari terbukti terdapat 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, 10 September 2026

Yang Membuat Pernyataan



Indri Dwi Purnamawati

NIM 40040622650067

HALAMAN PERSEMBAHAN

Selama proses penyusunan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari doa, dukungan, serta bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu dengan penuh rasa syukur dan kerendahan hati, Tugas Akhir ini penulis persembahkan sebagai bentuk terima kasih kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan rahmat serta karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir dengan baik dan tepat waktu.
2. Kedua orang tua tercinta, Bapak dan Mamak, yang menjadi alasan untuk terus berusaha dan menyelesaikan setiap proses yang penulis jalani. Terima kasih atas doa yang tidak pernah berhenti, kasih sayang, pengorbanan, serta motivasi dan dukungan yang selalu diberikan tanpa mengharapkan balasan. Setiap pencapaian tidak terlepas dari perjuangan dan pengorbanan Bapak dan Mamak. Tugas Akhir ini penulis persembahkan sebagai salah satu bentuk terima kasih atas segala hal yang telah diberikan selama perjalanan pendidikan penulis.
3. Kakak tercinta, Andri Prasetyo, yang menjadi bagian penting dalam perjalanan penulis. Terima kasih atas segala perhatian, nasihat, serta dukungan yang diberikan, baik secara moril maupun materiil. Terima kasih telah membantu memenuhi berbagai kebutuhan selama perjalanan pendidikan penulis dan memberikan dukungan ketika penulis menghadapi berbagai kesulitan. Setiap bantuan yang diberikan sangat berarti bagi penulis dan menjadi salah satu bagian yang mengantarkan penulis hingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Arkhan Subari, S.T., M.Kom. selaku Ketua Program Studi Teknik Listrik Industri Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro.
5. Bapak Fakhruddin Mangkusasmito, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan bimbingan, arahan, dukungan, dan waktu selama proses pembuatan Tugas Akhir dan penyusunan Laporan ini.
6. Seluruh dosen dan tenaga pendidik Program Studi Teknik Listrik Industri, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro.

7. Teman-teman Teknik Listrik Industri angkatan 2022 serta semua pihak yang telah memberikan bantuan, dukungan, dan semangat selama penyusunan Tugas Akhir yang tidak dapat disebutkan satu per satu.
8. Diri saya sendiri, yang telah berusaha untuk tetap bertahan dan menyelesaikan setiap proses yang tidak selalu mudah. Semoga pencapaian ini menjadi pengingat bahwa setiap langkah, kesulitan, dan perjuangan yang telah dilalui merupakan bagian penting dari perjalanan menuju masa depan.

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, karena atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan pembuatan alat serta penyusunan Laporan Tugas Akhir dengan baik dan tepat waktu. Laporan dengan judul: “RANCANG BANGUN SISTEM KONTROL SUHU *DEHYDRATOR* LISTRIK BERBASIS MODUL INDUSTRI *TEMPERATURE CONTROLLER* TC4S DENGAN MONITORING BERBASIS IOT” disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan Tugas Akhir pada Program Studi Teknik Listrik Industri, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro.

Pelaksanaan Tugas Akhir ini dilaksanakan dengan tujuan merancang dan membangun sebuah sistem kontrol suhu pada *dehydrator* listrik yang mampu menjaga kestabilan suhu selama proses pengeringan serta dilengkapi dengan sistem monitoring berbasis *Internet of Things* (IoT) sehingga kondisi alat dapat dipantau secara *real-time*. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan teknologi pengering yang lebih modern dan mudah diterapkan pada berbagai kebutuhan.

Banyak sekali bantuan, bimbingan dan dukungan yang penulis dapatkan selama pelaksanaan Tugas Akhir dan penyusunan laporan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan rahmat serta karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir dengan baik dan tepat waktu.
2. Kedua orang tua dan keluarga, atas segala doa, dukungan dan motivasi sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Laporan Tugas Akhir ini.
3. Prof. Dr. Ir. Budiyono M.Si. selaku Dekan Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro.
4. Bapak Arkhan Subari, S.T., M.Kom. selaku Ketua Program Studi Teknik Listrik Industri, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro.

5. Bapak Fakhruddin Mangkusasmito, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan bimbingan, arahan, dukungan, dan waktu selama proses pembuatan Tugas Akhir dan penyusunan Laporan ini.
6. Seluruh dosen dan staff Program Studi Teknik Listrik Industri Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro yang telah memberikan ilmu, bantuan, dan pelayanan selama proses perkuliahan.
7. Teman-teman Teknik Listrik Industri angkatan 2022 serta semua pihak yang telah memberikan bantuan, dukungan, dan semangat selama penyusunan Tugas Akhir yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan Laporan Tugas Akhir ini terdapat banyak kekurangan dan jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi perbaikan laporan ini. Meskipun demikian, penulis berharap laporan ini dapat memberikan manfaat dan menjadi referensi dalam pengembangan ilmu pengetahuan di bidang teknik, khususnya pada sistem kontrol suhu *dehydrator* listrik dan monitoring berbasis IoT bagi seluruh pihak yang berkepentingan.

Semarang, 10 September 2026



Indri Dwi Purnamawati

ABSTRAK

Pengendalian suhu yang stabil merupakan salah satu faktor penting dalam proses pengeringan menggunakan *dehydrator* listrik. Penggunaan *temperature controller* dapat membantu menjaga temperatur ruang pengering sesuai dengan nilai *setpoint*, sedangkan sistem *Internet of Things* (IoT) memungkinkan kondisi temperatur dan waktu proses dipantau secara *real-time*. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem kontrol suhu pada *dehydrator* listrik menggunakan oven tangkring sebagai ruang pengering berbasis *temperature controller* TC4S serta mengembangkan sistem monitoring berbasis IoT. Sistem menggunakan TC4S-R1TC dengan sensor thermocouple tipe-K sebagai pengendali temperatur, sedangkan ESP32 dan modul MAX6675 digunakan untuk membaca serta mengirimkan data temperatur ke sistem monitoring. Pengujian dilakukan pada *setpoint* 40°C untuk mengevaluasi kinerja sistem monitoring dan respons pengendalian temperatur. Pengujian proses pengeringan menggunakan jahe dilakukan selama 3 jam dengan pengamatan perubahan massa bahan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pembacaan temperatur MAX6675 terhadap TC4S menghasilkan nilai *Mean Squared Error* (MSE) sebesar 0,99°C². Respons sistem kendali menghasilkan *rise time* rata-rata sebesar 12,33 menit, *settling time* sebesar 18,67 menit, *maximum overshoot* sebesar 12,66%, dan *steady-state error* sebesar 1,80°C. Pada pengujian pengeringan selama tiga jam secara kontinu, pengurangan massa jahe pada Tray 1, Tray 2, dan Tray 3 masing-masing sebesar 80%, 80%, dan 83%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem telah mampu menjalankan fungsi kontrol temperatur dan monitoring berbasis IoT serta menghasilkan pengurangan massa pada seluruh posisi tray, meskipun masih terdapat perbedaan hasil pengeringan antarposisi yang perlu diperhatikan untuk meningkatkan keseragaman proses pengeringan.

Kata kunci: *dehydrator* listrik, *temperature controller* TC4S, kontrol suhu, *Internet of Things*, ESP32, thermocouple, pengeringan jahe.

ABSTRACT

Stable temperature control is an important factor in the drying process using an electric dehydrator. The use of a temperature controller helps maintain the drying chamber temperature according to the specified setpoint, while an Internet of Things (IoT)-based system enables temperature and process time to be monitored in real time. This study aims to design and develop a temperature control system for an electric dehydrator using a conventional oven as the drying chamber, based on the TC4S temperature controller, and to develop an IoT-based monitoring system. The system uses a TC4S-RITC with a Type-K thermocouple as the temperature controller, while an ESP32 and MAX6675 module are used to acquire and transmit temperature data to the monitoring system. Testing was conducted at a setpoint of 40°C to evaluate the performance of the temperature monitoring system and the temperature control response. Ginger drying tests were carried out for 3 hours by observing changes in the mass of the material. The results showed that the temperature measurement of the MAX6675 compared with the TC4S resulted in a Mean Squared Error (MSE) of 0.99°C². The control system response produced an average rise time of 12.33 minutes, a settling time of 18.67 minutes, a maximum overshoot of 12.66%, and a steady-state error of 1.80°C. In the continuous three-hour drying test, the mass reduction of ginger on Tray 1, Tray 2, and Tray 3 was 80%, 80%, and 83%, respectively. These results indicate that the developed system was able to perform temperature control and IoT-based monitoring functions and produce mass reduction at all tray positions, although differences in drying results between tray positions still need to be considered to improve drying uniformity.

Keywords: *electric dehydrator, TC4S temperature controller, temperature control, Internet of Things, ESP32, thermocouple, ginger drying.*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERSETUJUAN TUGAS AKHIR	ii
HALAMAN PENGESAHAN TUGAS AKHIR	iii
SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
KATA PENGANTAR.....	vii
ABSTRAK.....	ix
<i>ABSTRACT</i>	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL.....	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Tugas Akhir	3
1.4 Manfaat Tugas Akhir	3
1.5 Pembatasan Masalah	4
1.6 Sistematika Penyusunan Tugas Akhir	5
BAB II LANDASAN TEORI	8
2.1 Tinjauan Pustaka	8
2.2 Dasar Teori	10
2.2.1 <i>Dehydrator</i> Listrik.....	10
2.2.2 Oven Tangkring.....	12
2.2.3 <i>Temperature Controller</i> TC4S.....	13
2.2.4 Mikrokontroler ESP32	16
2.2.5 Sensor Thermocouple Tipe-K	19
2.2.6 MAX6675.....	21
2.2.7 Elemen Pemanas (<i>Heater</i>).....	22

2.2.8	<i>Solid State Relay (SSR)</i>	25
2.2.9	Relay.....	27
2.2.10	LCD I2C 16x2	29
2.2.11	Keypad Matrix 4x4.....	31
2.2.12	Catu Daya atau <i>Power Supply</i>	32
2.2.13	<i>Miniature Circuit Breaker (MCB)</i>	34
2.2.14	Google Spreadsheet.....	35
2.2.15	Telegram Bot	35
2.2.16	Analisis Kinerja Sistem Pengukuran.....	36
2.2.17	Analisis Respon Sistem	38
2.2.18	Pengolahan Data Menggunakan <i>Infinite Impulse Response (IIR)</i> Filter...	41
2.2.19	Analisis Proses Pengeringan	43
BAB III METODE PENELITIAN.....		45
3.1	Operasional Penelitian.....	45
3.2	Spesifikasi Komponen dan Fitur Alat	46
3.2.1	Spesifikasi Komponen.....	46
3.2.2	Fitur Alat	48
3.3	Diagram Blok	48
3.4	Cara Kerja Diagram Blok.....	50
3.4.1	<i>Supply</i>	50
3.4.2	<i>Input</i>	51
3.4.3	Proses	52
3.4.4	<i>Output</i>	52
3.5	Desain 3D	53
3.6	Wiring Diagram Sistem.....	55
3.6.1	Wiring TC4S ke <i>Solid State Relay</i> dan Thermocouple 1	56
3.6.2	Wiring ESP32 ke Modul MAX6675 dan Thermocouple 2	58
3.6.3	Wiring ESP32 ke Relay	59
3.6.4	Wiring ESP32 ke LCD I2C	61
3.6.5	Wiring ESP32 ke <i>Power Supply</i>	62
3.6.6	Wiring ESP32 ke Keypad Matriks 4×4	63

3.7	Diagram Alir (<i>Flowchart</i>)	65
3.8	Cara Kerja Sistem.....	68
BAB IV PEMBUATAN ALAT		70
4.1	Alat dan Bahan	70
4.2	Perancangan Perangkat Keras (<i>Hardware</i>)	72
4.2.1	Perancangan Skematik, Layout, dan Pembuatan PCB.....	73
4.2.2	Pemasangan <i>Heater</i> dan Sensor Thermocouple pada <i>Dehydrator</i>	75
4.2.3	Perakitan Komponen pada Box Panel	76
4.3	Perancangan Perangkat Lunak (<i>Software</i>).....	79
4.3.1	Pembuatan Program ESP32 pada Arduino IDE	79
4.3.2	Cara Kerja Program.....	84
4.3.3	Pembuatan Google Spreadsheet	92
4.3.4	Pembuatan Telegram Bot	93
4.4	Hasil Akhir Alat.....	94
BAB V PENGUJIAN ALAT DAN ANALISA		96
5.1	Gambaran Umum Pengujian	96
5.2	Pengujian Variasi Parameter PID.....	97
5.3	Hasil Pengujian Temperatur	98
5.3.1	Pengujian Akurasi Sistem Monitoring Temperatur	99
5.3.2	Hasil Monitoring Temperatur Selama Pengeringan.....	101
5.3.3	Analisis Respon Sistem Kendali PD	105
5.4	Hasil Pengujian Pengeringan Jahe	108
5.4.1	Massa Hasil Pengujian Pengeringan Jahe	109
5.4.2	Analisis Pengurangan Massa Berdasarkan Posisi Tray.....	113
5.4.3	Analisis Laju Pengeringan	114
5.5	Pembahasan Keseluruhan Sistem	117
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		122
6.1	Kesimpulan.....	122
6.2	Saran.....	123
DAFTAR PUSTAKA		124
LAMPIRAN.....		127

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2- 1 Oven Tangkring.....	13
Gambar 2- 2 Temperature Controller TC4S-R1TC.....	14
Gambar 2- 3 Pinout Temperature Controller TC4S-R1TC	15
Gambar 2- 4 ESP32.....	18
Gambar 2- 5 Sensor Thermocouple Tipe-K	19
Gambar 2- 6 Prinsip Kerja Thermocouple Tipe-K.....	20
Gambar 2- 7 Modul MAX6675.....	21
Gambar 2- 8 Elemen Pemanas (Heater) Tubular	23
Gambar 2- 9 Solid State Relay (SSR).....	25
Gambar 2- 10 Rangkaian Internal Solid State Relay (SSR)	26
Gambar 2- 11 Modul Relay.....	28
Gambar 2- 12 LCD I2C 16×2	29
Gambar 2- 13 Keypad Matrix 4x4	31
Gambar 2- 14 Switching Mode Power Supply (SMPS) 5 V 2 A	32
Gambar 2- 15 Rangkaian Switching Mode Power Supply (SMPS) 5 V 2 A	33
Gambar 2- 16 Miniature Circuit Breaker (MCB)	34
Gambar 3- 1 Diagram Blok untuk Sistem Monitoring	48
Gambar 3- 2 Diagram Blok untuk Sistem Kontrol	49
Gambar 3- 3 Desain Rancang Bangun Dehydrator Listrik	53
Gambar 3- 4 Desain Posisi Sensor Thermocouple dan Heater	54
Gambar 3- 5 Desain Box Panel Keseluruhan.....	54
Gambar 3- 6 Desain Tampak Depan dan Dalam Box Panel	54
Gambar 3- 7 Wiring Diagram Sistem Dehydrator Listrik.....	55
Gambar 3- 8 Wiring Diagram TC4S to Solid State Relay dan Thermocouple 1 ..	56
Gambar 3- 9 Wiring Diagram ESP32 to Thermocouple 2	58
Gambar 3- 10 Wiring Diagram ESP32 to Relay	59
Gambar 3- 11 Wiring Diagram ESP32 to LCD I2C.....	61
Gambar 3- 12 Wiring Diagram ESP32 to PSU	62
Gambar 3- 13 Wiring Diagram ESP32 to Keypad	63

Gambar 3- 14 Flowchart Sistem Dehydrator Listrik.....	65
Gambar 4- 1 Desain PCB.....	74
Gambar 4- 2 Proses Pemasangan Elemen Pemanas (Heater) pada Dehydrator...	76
Gambar 4- 3 Proses Pemasangan Sensor Thermocouple pada Dehydrator	76
Gambar 4- 4 Hasil Pemasangan Komponen pada Tutup Box Panel.....	77
Gambar 4- 5 Hasil Akhir Perakitan Komponen pada Box Panel	78
Gambar 4- 6 Penambahan Library pada Program.....	81
Gambar 4- 7 Konfigurasi Pin ESP32	82
Gambar 4- 8 Deklarasi Variabel Program dan Parameter Program	83
Gambar 4- 9 Fungsi setup()	85
Gambar 4- 10 Fungsi loop(), TaskControl() dan TaskInternet()	86
Gambar 4- 11 Fungsi bacaSuhuIIR()	87
Gambar 4- 12 Fungsi menuInputWaktu()	88
Gambar 4- 13 Fungsi prosesPengeringan().....	89
Gambar 4- 14 Perintah Pengiriman Data Internet.....	90
Gambar 4- 15 Fungsi kirimSpreadsheet()	90
Gambar 4- 16 Fungsi kirimSpreadsheet()	91
Gambar 4- 17 Inisialisasi URL Google Apps Script	93
Gambar 4- 18 Konfigurasi Telegram Bot.....	94
Gambar 4- 19 Hasil Akhir Alat Dehydrator Listrik	95
Gambar 5- 1 Grafik Perbandingan Pembacaan TC4S dan MAX6675.	101
Gambar 5- 2 Grafik Monitoring Temperatur Pengulangan I	102
Gambar 5- 3 Grafik Monitoring Temperatur Pengulangan II	103
Gambar 5- 4 Grafik Monitoring Temperatur Pengulangan III	103
Gambar 5- 5 Grafik Monitoring Temperatur Pengujian Operasional Sistem	104
Gambar 5- 6 Grafik Perubahan Massa Jahe Pengulangan I.....	111
Gambar 5- 7 Grafik Perubahan Massa Jahe Pengulangan II.....	111
Gambar 5- 8 Grafik Perubahan Massa Jahe Pengulangan III	112
Gambar 5- 9 Grafik Laju Pengeringan Jahe Selama Proses Pengeringan	116
Gambar 5- 10 Hasil Pengujian 1	118

Gambar 5- 11 Hasil Pengujian 2	118
Gambar 5- 12 Hasil Pengujian 3	119

DAFTAR TABEL

Tabel 2- 1 Spesifikasi Temperature Controller TC4S-R1TC	15
Tabel 2- 2 Pinout Temperature Controller TC4S-R1TC	16
Tabel 2- 3 Spesifikasi ESP32	18
Tabel 2- 4 Spesifikasi Thermocouple Tipe-K	20
Tabel 2- 5 Spesifikasi Modul MAX6675	22
Tabel 2- 6 Spesifikasi Heater	23
Tabel 2- 7 Spesifikasi Solid State Relay (SSR)	26
Tabel 2- 8 Pinout Solid State Relay (SSR).....	27
Tabel 2- 9 Spesifikasi Modul Relay	28
Tabel 2- 10 Pinout Modul Relay	29
Tabel 2- 11 Pinout LCD I2C 16×2	30
Tabel 2- 12 Spesifikasi Keypad Matriks 4×4.....	32
Tabel 3- 1 Hubungan Terminal TC4S, SSR dan Thermocouple 1	57
Tabel 3- 2 Hubungan Pin ESP32, Modul MAX6675, dan Thermocouple 2.....	59
Tabel 3- 3 Hubungan Pin ESP32 dan Modul Relay	60
Tabel 3- 4 Hubungan Pin ESP32 dan LCD I2C	61
Tabel 3- 5 Hubungan Pin ESP32 dan LCD I2C	62
Tabel 3- 6 Hubungan Pin Keypad Matriks 4×4 dan ESP32.....	64
Tabel 4- 1 Daftar Alat yang Digunakan	71
Tabel 4- 2 Daftar Bahan yang Digunakan.....	72
Tabel 5- 1 Hasil Pengujian Variasi Parameter PID.....	97
Tabel 5- 2 Hasil Pengujian Perbandingan Pembacaan Temperatur	100
Tabel 5- 3 Hasil Perhitungan Mean Squared Error (MSE).....	100
Tabel 5- 4 Hasil Analisis Respon Sistem Kendali PD	106
Tabel 5- 5 Hasil Penimbangan Massa Pengulangan I.....	109
Tabel 5- 6 Hasil Penimbangan Massa Pengulangan II	110
Tabel 5- 7 Hasil Penimbangan Massa Pengulangan III	110
Tabel 5- 8 Hasil Penimbangan Massa Pengujian Operasional Sistem.....	110
Tabel 5- 9 Hasil Perhitungan Laju Pengeringan Pengulangan I	115

Tabel 5- 10 Hasil Perhitungan Laju Pengeringan Pengulangan II.....	115
Tabel 5- 11 Hasil Perhitungan Laju Pengeringan Pengulangan III.....	115

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Hasil Pengujian Perbandingan Pembacaan Temperatur.....	127
Lampiran 2 Hasil Penimbangan Massa Pengulangan I	127
Lampiran 3 Hasil Penimbangan Massa Pengulangan II.....	129
Lampiran 4 Hasil Penimbangan Massa Pengulangan III	131
Lampiran 5 Hasil Penimbangan Massa Pengujian Operasional Sistem.....	133
Lampiran 6 Source Code System	134
Lampiran 7 Data Hasil Pembacaan Suhu Pengujian Perulangan I.....	152
Lampiran 8 Data Hasil Pembacaan Suhu Pengujian Perulangan II	160
Lampiran 9 Data Hasil Pembacaan Suhu Pengujian Perulangan III	169
Lampiran 10 Data Hasil Monitoring Temperatur Pengujian Operasional Sistem.	178
Lampiran 11 Datasheet Temperatur Controller	187
Lampiran 12 Datasheet Sensor Thermocouple Tipe-K	189
Lampiran 13 Datasheet Solid State Relay (SSR)	191
Lampiran 14 Datasheet ESP32	192
Lampiran 15 Datasheet Relay	193
Lampiran 16 Datasheet MAX6675	195