



**RANCANG BANGUN *BLACKBODY* KALIBRATOR
BERBASIS ARDUINO SEBAGAI ALAT KALIBRASI
VERIFIKASI *INFRARED THERMAL IMAGING***

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan penyelesaian program S-1
Bidang Ilmu Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik
Universitas Widya Kartika

oleh

Atsirur Romdhoni

21323002

PEMBIMBING

Dr. Ir. Tamaji M.T

NIP.213/01.65/02.12/003

Erwin Dhaniswara S.SI., M.Kom.

NIP.008/04.87/04.16/111

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS WIDYA KARTIKA**

SURABAYA

2025

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Puji syukur penyusun ucapkan kehadiran Allah SWT atas rahmat dan hidayah-Nya yang telah diberikan kepada penyusun, sehingga Laporan Proyek Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik. Laporan Proyek Akhir ini merupakan salah satu dari beberapa persyaratan yang harus dipenuhi untuk dapat melaksanakan Proyek Akhir pada Program Sarjana Teknik Elektro Universitas Widya Kartika.

Selama pelaksanaan pembuatan alat dan penyelesaian laporan ini, tak lepas dari hambatan, rintangan dan tantangan. Namun berkat motivasi, informasi dan konsultasi dari berbagai pihak, akhirnya semua dapat berjalan dengan lancar. Untuk itu tidak berlebihan kiranya jika pada kesempatan ini penyusun ingin menyampaikan rasa hormat sebagai rasa ungkapan terima kasih kepada :

1. Bapak Erwin Dhaniswara, S.SI., M.Kom. selaku Kepala Program Studi Teknik Elektro Universitas Widya Kartika Surabaya.
2. Bapak Dr.Ir. Tamaji, M.T. dan Bapak Erwin Dhaniswara, S.SI.,M.Kom. selaku dosen pembimbing proyek akhir penulis dan Eddy Lybrech Talakua, S.T.,M.T. selaku dosen pembimbing akademik yang telah memberikan bimbingan dan masukan yang sangat memuaskan dalam penyusunan laporan proyek akhir ini.
3. Seluruh Dosen dan Karyawan Program Studi Teknik Elektro Universitas Widya Kartika Surabaya.
4. Keluarga tercinta yang selalu mendoakan dimanapun penyusun berada dan memberikan dorongan moril dan semangat dalam pelaksanaan proyek akhir ini.

Akhirnya, besar harapan penyusun agar laporan ini dapat bermanfaat bagi diri pribadi penyusun sendiri khususnya dan bagi pembaca pada umumnya sehingga dapat menambah wawasan bagi kita semua, Amin.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Surabaya, 24 Juli 2025

Penulis

ABSTRAK

Nama Mahasiswa : Atsirur Romdhoni

Skripsi

Rancang Bangun *Blackbody* Kalibrator Berbasis Arduino Sebagai Alat Kalibrasi Verifikasi *Infrared Thermal Imaging*.

Blackbody Kalibrator merupakan perangkat yang dirancang untuk mensimulasikan karakteristik radiasi benda hitam ideal, yang sering digunakan dalam proses kalibrasi dan verifikasi peralatan pengukuran suhu berbasis inframerah, seperti *Infrared Thermal Imaging (IR-Thermography)*. Dalam penelitian ini, dikembangkan sebuah *Blackbody* Kalibrator berbasis Arduino sebagai alat kalibrasi untuk memastikan akurasi dan validitas pengukuran suhu dari *IR-Thermography*. Dengan menggunakan Arduino UNO sebagai pengendali utama, perangkat ini mampu mengatur suhu permukaan benda hitam dengan presisi melalui kontrol pemanas yang terintegrasi. Proses pengembangan *Blackbody* Kalibrator ini melibatkan pembuatan perangkat keras dan perangkat lunak untuk mengontrol suhu, dengan menggunakan sensor suhu standar sebagai umpan balik.

Pada tahap kalibrasi, suhu permukaan *Blackbody* diatur pada beberapa titik suhu yang telah ditentukan, kemudian divalidasi menggunakan *IR-Thermography*. Hasil verifikasi menunjukkan adanya korelasi yang kuat antara suhu yang dihasilkan oleh *Blackbody* Kalibrator dengan pembacaan *IR-Thermography*, dengan tingkat kesalahan yang berada dalam batas toleransi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada uji PID berbasis metode Lambda Tuning, sistem mampu menjaga suhu stabil pada setpoint 100 °C dengan deviasi rata-rata sebesar ± 0.2 °C. Overshoot dapat diminimalisir hingga di bawah 0.5 °C, dan waktu mencapai setpoint berkisar antara 150–200 detik. Sistem juga dilengkapi dengan proteksi suhu maksimum pada 105 °C untuk mencegah overheating. Penyesuaian nilai PID menghasilkan kestabilan terbaik pada $K_p = 0.0085$, $K_i = 0.01$, dan $K_d = 0.01$. Penelitian ini membuat desain *Blackbody* Kalibrator berbasis Arduino agar mampu menjadi alternatif yang efektif dan ekonomis sebagai alat kalibrasi kamera *IR-Thermography*, khususnya dalam aplikasi yang membutuhkan pengukuran suhu non-kontak. Alat ini diharapkan dapat menjadi solusi kalibrasi untuk praktisi lapangan atau industri yang memerlukan perangkat kalibrasi terjangkau dan mudah digunakan.

Kata Kunci: *Blackbody* Kalibrator, Arduino, Kalibrasi, *Infrared Thermal Imaging*, *IR-Thermography*, PID Controller.

ABSTRACT

Nama Mahasiswa : Atsirur Romdhoni

Thesis

Design and Development of an Arduino-Based Blackbody Calibrator for Infrared Thermal Imaging Verification Calibration

The Blackbody Calibrator is a device designed to simulate the radiation characteristics of an ideal blackbody, which is commonly used in the calibration and verification process of infrared-based temperature measurement instruments, such as Infrared Thermal Imaging (IR-Thermography). In this study, an Arduino-based Blackbody Calibrator was developed as a calibration tool to ensure the accuracy and validity of temperature measurements from IR-Thermography. By using Arduino UNO as the main controller, the device is capable of precisely regulating the surface temperature of the blackbody through an integrated heating control system. The development process of this Blackbody Calibrator involves the construction of both hardware and software components to control temperature, utilizing a standard temperature sensor as feedback. During the calibration stage, the surface temperature of the Blackbody was set at several predefined temperature points and then validated using IR-Thermography. The verification results indicated a strong correlation between the temperature produced by the Blackbody Calibrator and the readings from IR-Thermography, with error levels within acceptable tolerance limits. Test results showed that in the PID control test based on the Lambda Tuning method, the system was able to maintain stable temperature at a setpoint of 100 °C with an average deviation of ± 0.2 °C. Overshoot was minimized to below 0.5 °C, and the time to reach the setpoint ranged from 150 to 200 seconds. The system is also equipped with an over-temperature protection feature set at 105 °C to prevent overheating. PID parameter adjustments achieved optimal stability at $K_p = 0.0085$, $K_i = 0.01$, and $K_d = 0.01$. This research resulted in the design of an Arduino-based Blackbody Calibrator that serves as an effective and economical alternative for calibrating IR-Thermography cameras, especially in applications requiring non-contact temperature measurements. This tool is expected to be a practical calibration solution for field practitioners or industries in need of an affordable and user-friendly calibration device.

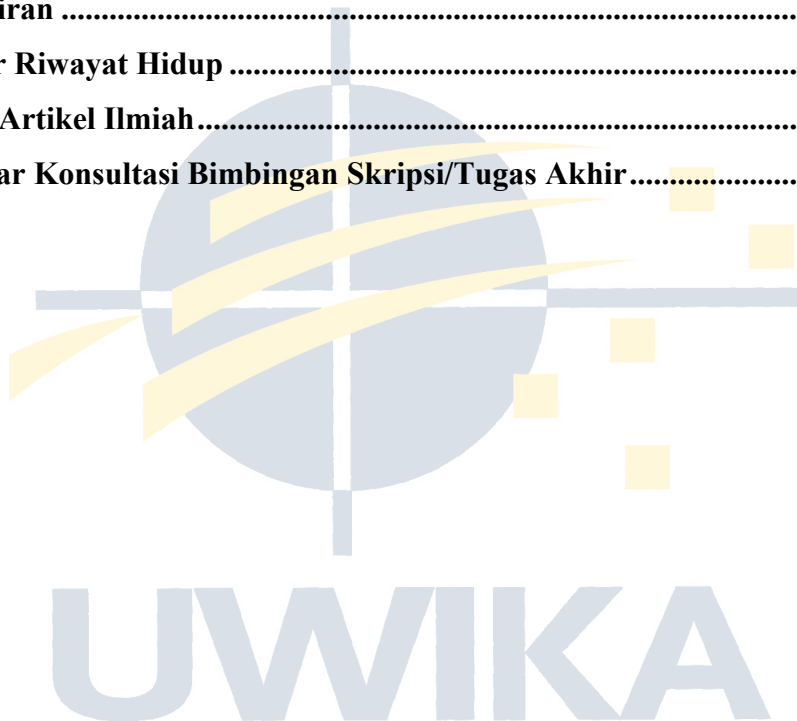
Keywords: *Blackbody Kalibrator, Arduino, Calibration, Infrared Thermal Imaging, IR-Thermography, PID Controller*

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Halaman Pernyataan Orisinalitas dan Persetujuan Publikasi	ii
Halaman Berita Acara Pengesahan Sidang Akhir Skripsi/Tugas Akhir.....	iii
Halaman Persetujuan Sidang Akhir Skripsi/Tugas Akhir	iv
Kata Pengantar	v
Abstrak.....	vi
Abstract.....	vii
Daftar isi.....	viii
Daftar Tabel.....	xi
Daftar Gambar	xii
Daftar Lampiran	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian	2
1.4. Batasan Masalah	2
1.5. Manfaat Penelitian	3
BAB II KAJIAN PUSTAKA.....	5
2.1 Pengenalan Inframerah.....	5
2.2 <i>Blackbody</i> Kalibrator	7
2.3 <i>Emisivity</i>	8
1. Pengaruh <i>Emisivity</i>	8
2. Pengaturan Emisivit pada kamera.....	9
2.4 Penggunaan system control PID pada <i>Blackbody</i> kalibrator	9
2.4.1 Prinsip kerja sistem kontrol PID	10
2.4.1.1 <i>Proportional (P)</i>	11
2.4.1.2 <i>Integral (I)</i>	11
2.4.1.3 <i>Derivative (D)</i>	11

2.4.2	Tuning PID.....	13
2.4.2.1	Metode <i>ziegler nicholz</i>	13
2.5	Sensor Suhu LM 35.....	16
2.6	DIMMER AC TRIAC.....	18
2.7	Microcontroller Arduino IDE	23
2.8	Relay Switch	25
2.8	Software Arduino uno	25
2.9	Plat Pemanas/Heater	27
BAB III	METODOLOGI PENELITIAN	30
3.1	Desain Penelitian.....	30
3.1.1	Diagram alir rancangan alat	30
3.2	Perancangan Alat dan Bahan.....	32
3.3	Prosedur Pengembangan <i>Blackbody</i> Kalibrator	33
3.4	Metode Kalibrasi dan Verifikasi	35
3.4.1	Analisis Data	36
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	38
4.1	Deskripsi sistem	38
4.1.2	Pemasangan Sensor	38
4.1.3	Data Eksperimen Tuning PID.....	39
4.1.4	Pengujian Potensiometer sebagai pengatur Setpoint	41
4.2	Pengujian Awal menggunakan nilai Kp 3 dengan posisi <i>heater</i> diluar box.....	43
4.2.1	Percobaan <i>record</i> per detik waktu vs temperatur	44
4.2.2	Perakitan sistem dalam box	45
4.2.3	Percobaan dilanjutkan dengan nilai Kp yang lebih kecil ...	46
4.2.4	Analisis output waktu vs power output	46
4.2.5	Uji nilai <i>Lambda Tuning</i> pada alat	54
4.2.6	Analisis Hasil Uji grafik 40 - 105°C	56

4.3 Kalibrasi pembacaan sensor LM35 dengan hasil thermal imaging camera	57
4.4 Pengujian karakteristik pembacaan sensor dilakukan pada suhu 40 dan 80 °C	61
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	65
5.1 Kesimpulan.....	65
5.2 Saran.....	67
Daftar Pustaka.....	68
Lampiran	70
Daftar Riwayat Hidup	78
Draft Artikel Ilmiah.....	89
Lembar Konsultasi Bimbingan Skripsi/Tugas Akhir.....	90



DAFTAR TABEL

Tabel 2.4.2.1. Tabel Aturan Penyepadanan Ziegler – Nicholz orde pertama ..	14
Tabel 2.4.2.2. Aturan Ziegler -Nocholz orde dua	15
Tabel 4.2.1 Tabel Perhitungan <i>Ziegle nicholz</i>	42
Tabel 4.2.2 Hasil Perhitungan <i>Ziegler nicholz</i> pendekatan FOPDT	52
Tabel 4.2.3 Hasil Perhitungan <i>Lambda Tuning</i>	52
Tabel 4.2.4 Tabel hasil percobaan tuning nilai K_p, K_i, K_d	54
Tabel 4.2.5 Parameter Uji	55
Tabel 4.2.5 Pilihan hasil uji lambda tuning.....	55
Tabel 4.2.7 Hasil uji Setpoint di beberapa titik.....	56
Tabel 4.3.1 hasil pencatatan temperatur pada beberapa titik setpoint.....	58
Tabel 4.4.1 Perhitungan error berdasarkan hasil pembacaan sensor LM 35 Dengan kamera thermal imaging 40 °C	58
Tabel 4.4.2 Perhitungan error berdasarkan hasil pembacaan sensor LM 35 Dengan kamera thermal imaging 80 °C	58
Tabel 4.4.3 Hasil pengukuran alat kalibrasi dengan benda kerja.....	58

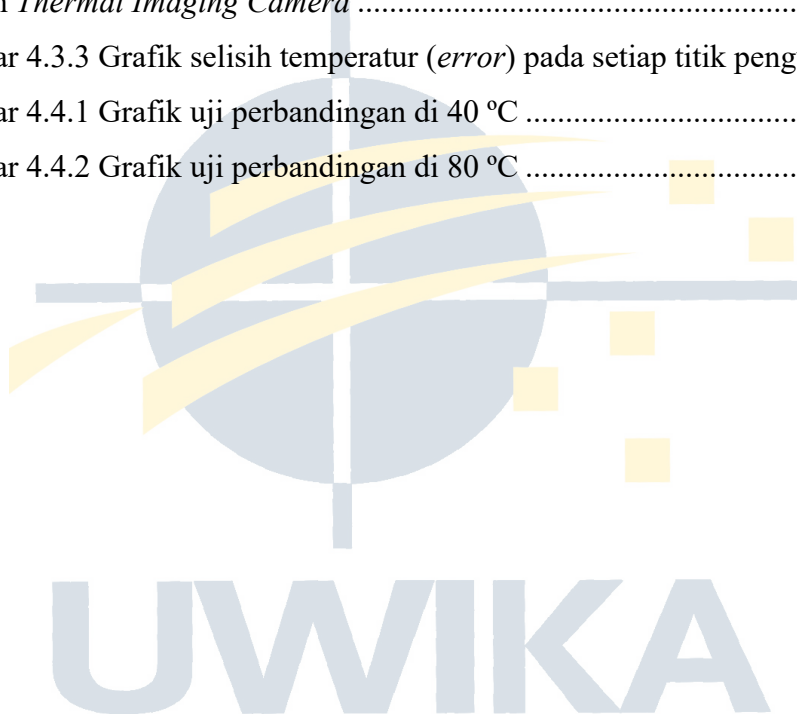
UWIKARTIKA

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Spektrum Elektromagnetik.....	5
Gambar 2.1.1 Hasil citra <i>thermal</i> kamera inframerah dan hasil kamera visual	6
Gambar 2.2.2 thermogun 1 titik pembacaan dengan laser, sebelah kanan gambar kamera <i>thermal</i> menunjukkan semua nilai temperatur yang tertangkap kamera dalam layar	6
Gambar 2.2 Teko berisi air panas yang diberi isolasi dengan <i>Emisivity</i> 0.97 dan hasil pembacaan dari kamera <i>thermal</i>	7
Gambar 2.4.1 Diagram blok PID Control	11
Gambar 2.4.2.1 Kurva respon untuk metode <i>Ziegler-Nichols</i> Orde Pertama ..	11
Gambar 2.4.2.2 Kurva respon untuk metode <i>Ziegler-Nichols</i> Orde Pertama ..	12
Gambar 2.4.2.3 Sistem <i>loop</i> tertutup dengan alat kontrol.....	14
Gambar 2.4.2.4 Osilasi berkesinambungan dari Periode <i>Pcr</i>	15
Gambar 2.6 Sensor suhu LM 35	17
Gambar 2.6.1 Dimmer Module	18
Gambar 2.6.2 Schematic diagram rangkaian modul dimmer AC	20
Gambar 2.6.3 Ilustrasi sinyal trigger PSM dan posisi Zero Crossing, serta sinyal AC hasil trigger	20
Gambar 2.7 TRIAC.....	21
Gambar 2.8 Relay Switch	25
Gambar 2.9 Tampilan Software arduino IDE	25
Gambar 2.10 Plat <i>Heater</i>	28
Gambar 3.1 Diagram Alir kerja <i>blackbody</i> kalibrator	31
Gambar 3.2 Blok Diagram Kontrol PID	31
Gambar 3.3 Rancangan sistem.....	33
Gambar 3.4 Rangkaian driver kontrol <i>heater</i> menggunakan optocoupler dengan TRIAC	34
Gambar 3.5 Uji verifikasi dengan membandingkan nilai pembacaan temperatur pada IR camera dengan yang terbaca pada display temperatur sensor LM 35	34

Gambar 4.1.2 Posis sensor di jepit menempel pada elemen <i>heater</i> (kiri saat uji coba diluar box, sisi kanan saat didalam box)	38
Gambar 4.2. (a) gambar titik output pengujian, (b) gambar pembacaan tegangan pada multimeter.....	39
Gambar 4.2.1 Foto tampilan sinyal trigger PSM menggunakan osiloskop mini	40
Gambar 4.2.2 Posisi sensor LM 35 dijepit pada elemen <i>heater</i> dengan 3 sensor yang datanya di average untuk kalkulasi nilai K_p nya.....	43
Gambar 4.2.3 Grafik respon <i>heater</i> dengan K_p 3	44
Gambar 4.2.4 Foto pengambilan rekaman data per detik melalui serial port ..	44
Gambar 4.2.5 Rangkaian komponen dalam box	45
Gambar 4.2.6 tampak depan	45
Gambar 4.2.7 Grafik T_{avg} vs output nilai $K_p = 1$	46
Gambar 4.2.8 Time vs output trigger nilai $K_p = 1$	46
Gambar 4.2.9 grafik PID respon temperature <i>average</i> nilai $K_p = 0.5$	47
Gambar 4.2.10 Grafik Time vs Output trigger nilai $K_p = 0.5$	47
Gambar 4.2.11 Grafik suhu sensor vs waktu dengan nilai power output 0.001	48
Gambar 4.2.12 Grafik time vs output trigger dengan nilai power output 0.001...	48
Gambar 4.2.13 Grafik suhu sensor vs waktu dengan nilai power output 0.008	49
Gambar 4.2.14 Grafik suhu sensor vs waktu dengan nilai power output 0.01 (10%)	49
Gambar 4.2.15 Grafik suhu sensor vs waktu dengan nilai power output 0.03	50
Gambar 4.2.16 Grafik suhu sensor vs waktu dengan nilai power output 0.068	50
Gambar 4.2.17 Grafik suhu sensor vs waktu dengan nilai power output 0.07 (7%)	51

Gambar 4.2.18 Grafik rata – rata suhu vs waktu dengan memasukkan nilai Kp,Ki,Kd hasil perhitungan <i>ziegler nicholz</i>	53
Gambar 4.2.19 Grafik rata – rata suhu vs waktu dengan memasukkan nilai Kp,Ki,Kd hasil perhitungan <i>lambda tuning</i>	54
Gambar 4.2.20 Grafik pengujian setpoint temperatur di beberapa titik.....	57
Gambar 4.3.1 Dokumentasi pengujian perbandingan pembacaan sensor LM 35 di LCD dengan <i>thermal imaging camera</i>	58
Gambar 4.3.2 Grafik perbandingan pembacaan temperature pada sensor LM 35 dengan <i>Thermal Imaging Camera</i>	59
Gambar 4.3.3 Grafik selisih temperatur (<i>error</i>) pada setiap titik pengujian....	59
Gambar 4.4.1 Grafik uji perbandingan di 40 °C	61
Gambar 4.4.2 Grafik uji perbandingan di 80 °C	62



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 2.5 Datasheet Sensor LM 35	70
Lampiran 2.6 Datasheet Modul Dimmer AC.....	71
Lampiran 2.7 Datasheet Arduino	72
Lampiran 2.8 Datasheet Relay	73
Lampiran Data Program	74

