

# **RANCANG BANGUN SISTEM KONTROL SUHU KOMPOR BATIK LISTRIK DENGAN TUNGKU KERAMIK DAN PEMANAS NIKELIN**

## **SKRIPSI**

Diajukan kepada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Negeri Yogyakarta

untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan guna Memperoleh Gelar Sarjana Sains



Oleh:

**MUIZ YOGA MAULANA**

**13306141039**

**PROGRAM STUDI FISIKA  
JURUSAN PENDIDIKAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA  
2018**

# RANCANG BANGUN SISTEM KONTROL SUHU KOMPOR BATIK LISTRIK DENGAN TUNGKU KERAMIK DAN PEMANAS NIKELIN

Oleh

Muiz Yoga Maulana  
NIM : 13306141039

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk (1) merancang-bangun sistem kontrol suhu kompor batik listrik agar bahan malam stabil pada *range* suhu 60°C sampai dengan 70°C, (2) mengetahui fungsi transfer sistem kontrol suhu kompor batik listrik, dan (3) mengetahui daya rata-rata yang digunakan kompor batik listrik.

Rancang bangun sistem kontrol suhu ini dilakukan dengan merangkai sensor PT-100, komparator LM393, saklar transistor dan relay serta pemanas nikelin yang ditempelkan di bawah tungku keramik setelah semua komponen terkarakterisasi. Fungsi transfer ditentukan dengan menganalisis hubungan keluaran dan masukan setiap komponen yang digunakan. Daya rata-rata yang digunakan dapat dihitung dengan menjumlah energi saat *ON* dan *OFF* per satuan waktu.

Hasil penelitian ini adalah (1) telah dirancang sistem kontrol suhu kompor batik listrik dengan diameter pemanas nikelin ( $0,150 \pm 0,005$ ) mm dan panjang ( $2,230 \pm 0,005$ ) m yang berhasil mengontrol suhu bahan malam klowong antara 60°C - 70°C, bahan malam tembok antara 60°C - 71°C dan bahan malam songkal antara 60°C - 70°C, (2) fungsi transfer pada rancang bangun kompor batik listrik ini adalah

$$\frac{T_w(s)}{R_p(s)} = \frac{3,65 \cdot 10^{-4} X \text{ } ^\circ\text{C}}{1 + 2,24 \cdot 10^{-3} X \text{ } \Omega}$$
 dengan  $X = \frac{1,017 T_{nikel}(s) - 0,202}{s} + 0,007$ , dan (3) daya yang diperlukan kompor batik listrik ini adalah 59 watt.

Kata kunci : sistem kontrol, suhu, bahan malam.

# **DESIGN OF TEMPERATURE CONTROL SYSTEM OF ELECTRIC BATIK STOVE USING CERAMIC FURNANCE AND NICKEL HEATING**

By

Muiz Yoga Maulana  
NIM: 13306141039

## *Abstract*

*This research aimed (1) to design a temperature control system of electric batik stove to stabilize the candle temperature in the range of 60°C up to 70°C, (2) to know the transfer function of electric batik stove temperature control system, and (3) to know the average power used by electric batik stove.*

*The design of this temperature control system was done by assembling PT-100 sensor, LM393 comparator, transistor and relay switches, and nickel heater which was patched under ceramic furnace after all components were characterized. The transfer function was determined by analyzing the output and input relations of each component which were used. The average power used can be calculated from ON and OFF energy per time unit.*

*The results of this research were (1) temperature control system of electric batik stove had been designed with a diameter of nickel heater ( $0.150 \pm 0.005$ ) mm and ( $2,230 \pm 0.005$ ) m length which successfully controled the temperature of the “klowong” candle between 60°C - 70°C, the “tembok” candle between 60°C - 71°C and the “songkal” candle between 60°C - 70°C, (2) The transfer function of electric batik stove was  $\frac{T_w(s)}{R_p(s)} = \frac{3,65 \cdot 10^{-4} X \text{ } ^\circ\text{C}}{1 + 2,24 \cdot 10^{-3} X \text{ } \Omega}$  with  $X = \frac{1,017 T_{\text{nickel}}(s) - 0,202 + 0,007}{(6,088 - 1,262 x_1)}$ , and (3) the power required by this electric batik stove was 59 watts.*

*Key word : control system, temperature, candle.*

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : Muiz Yoga Maulana

NIM : 13306141039

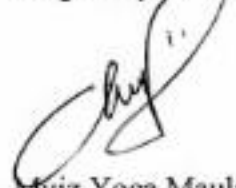
Program Studi : Fisika

Judul TAS : Rancang Bangun Sistem Kontrol Suhu Kompor Batik Listrik  
dengan Tungku Keramik dan Pemanas Nikelin.

menyatakan bahwa karya skripsi ini benar-benar karya saya sendiri. Sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali sebagai acuan kutipan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang telah lazim.

Yogyakarta, 20 Februari 2018

Yang menyatakan,



Muiz Yoga Maulana  
NIM. 13306141039

## LEMBAR PERSETUJUAN

Tugas Akhir Skripsi dengan Judul

### **RANCANG BANGUN SISTEM KONTROL SUHU KOMPOR BATIK LISTRIK DENGAN TUNGKU KERAMIK DAN PEMANAS NIKELIN**

Disusun oleh:

Muiz Yoga Maulana

NIM 13306141039


telah memenuhi syarat dan disetujui oleh Dosen Pembimbing untuk dilaksanakan Ujian Akhir Tugas Akhir Skripsi bagi yang bersangkutan.

Mengetahui,  
Ketua Program Studi,

  
Drs. Nur Kadarisman, M.Si  
NIP. 19640205 199101 1 001

Yogyakarta, 20 Februari 2018

Disetujui,  
Dosen Pembimbing,

  
Agus Purwanto, M.Sc  
NIP. 19650813 199512 1 001

## LEMBAR PENGESAHAN

Tugas Akhir Skripsi

### RANCANG BANGUN SISTEM KONTROL SUHU KOMPOR BATIK LISTRIK DENGAN TUNGKU KERAMIK DAN PEMANAS NIKELIN

Disusun oleh:

Muiz Yoga Maulana

NIM 13306141039

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji Tugas Akhir Skripsi Program Studi Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Yogyakarta

Pada tanggal 2 Maret 2018

#### TIM PENGUJI

Nama/ Jabatan	Tanda Tangan	Tanggal
<u>Agus Purwanto, M.Sc.</u> Ketua Penguji/ Pembimbing		13 Maret 2018
<u>Nur Kadarisman, M.Si</u> Sekretaris		8 Maret 2018
<u>Sumarna, M.Si, M.Eng</u> Penguji		6 Maret 2018

Yogyakarta, 16 Maret 2018

FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta



Dekan,

**Dr. Hartono**

NIP.-19620329 198702 1 002

## MOTTO

وَ لِرَبِّكَ فَاصْبِرْ

"Dan karena Tuhanmu, bersabarlah."

(QS. Al-Muddassir 74: Ayat 7)

وَهُوَ الَّذِي جَعَلَ لَكُمُ اللَّيْلَ لِبَاسًا وَالنَّوْمَ سُبَاتًا وَجَعَلَ النَّهَارَ نُشُورًا

"Dan Dialah yang menjadikan malam untukmu (sebagai) pakaian, dan tidur untuk istirahat, dan Dia menjadikan siang untuk bangkit berusaha."

(QS. Al-Furqan 25: Ayat 47)

أَدْعُوا رَبَّكُمْ تَضَرُّعًا وَخُفْيَةً ۗ إِنَّهُ لَا يُحِبُّ الْمُعْتَدِينَ

"Berdoalah kepada Tuhanmu dengan rendah hati dan suara yang lembut. Sungguh, Dia tidak menyukai orang-orang yang melampaui batas."

(QS. Al-A'raf 7: Ayat 55)

وَأَمَّا بِنِعْمَةِ رَبِّكَ فَحَدِّثْ

"Dan terhadap nikmat Tuhanmu, hendaklah engkau nyatakan (dengan bersyukur)."

(QS. Ad-Duha 93: Ayat 11)

## HALAMAN PERSEMBAHAN

Sebagai wujud syukur, karya tulis ini saya persembahkan kepada:

1. Kedua orang tua saya, Ibu (Siti Muslimah) dan Bapak (Safrudin) yang dengan kasih sayang, do'a, dukungan dan kerja keras yang tiada henti menjadi motivasi serta inspirasi sehingga saya bisa semangat untuk menyelesaikan tugas akhir skripsi ini.
2. Agus Purwanto, M.Sc yang telah membimbing dan dosen FMIPA UNY yang pernah mengajar saya sehingga saya mendapat pengetahuan yang tak terbayarkan harganya.
3. Kakak (Oryza Sativa S.), Adik (A. S. Fara Mecca dan Nadiya Kameliya A.) dan keluarga besar yang selalu mendukung serta memberikan motivasi.
4. Sahabat (Widiana, Nur Evi, Dina R. dan Sunarso) yang memberikan kenangan indah dan pendengar serta pemberi solusi atas segala masalah yang saya alami.
5. Keluarga Elektronika dan Instrumentasi 2013 dan keluarga Fisika E 2013 yang selama ini telah berjuang bersama serta keluarga besar KSI Mist dan keluarga besar Haska JMF yang telah menerima serta memberikan motivasi untuk saya.
6. Semua orang yang mendukung, mendoakan, membantu, memotivasi serta menginspirasi sehingga saya menjadi lebih baik yang tidak bisa saya sebut satu per satu.

Terimakasih atas semua yang kalian berikan. Teruslah memotivasi dan menginspirasi untuk semua orang.



## KATA PENGANTAR

السَّلَامُ عَلَيْكُمْ وَرَحْمَةُ اللَّهِ وَبَرَكَاتُهُ

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas rahmat dan karunia Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir Skripsi (TAS) yang berjudul “**Rancang Bangun Sistem Kontrol Suhu Kompor Batik Listrik dengan Tungku Keramik dan Pemanas Nikelin**” . Tugas Akhir Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat guna memperoleh gelar sarjana sains.

Penyusunan laporan penelitian ini tidak lepas dari bimbingan, bantuan, motivasi, serta dorongan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Prof. Dr. Sutrisna Wibawa, M.Pd selaku Rektor Universitas Negeri Yogyakarta.
2. Bapak Dr. Hartono, Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Yogyakarta beserta seluruh staf atas fasilitas dan segala bantuannya untuk memperlancar tugas akhir.
3. Bapak Yusman Wiyatmo, M.Si., Ketua Jurusan Pendidikan Fisika Universitas Negeri Yogyakarta yang telah memberikan arahan dan bimbingan.
4. Bapak Nur Kadarisman, M.Si., Kaprodi Fisika FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta yang telah memberikan izin dan arahannya dalam mengambil judul skripsi ini.
5. Bapak Agus Purwanto, M.Sc, selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan instruksi atau arahan, bimbingan, dan pengalamannya dari awal hingga akhir penyusunan skripsi ini.
6. Seluruh pihak yang telah membantu dalam penyusunan laporan ini, yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu.

Semoga segala bantuan yang telah Bapak/Ibu/Saudara/Saudari berikan mendapat balasan yang lebih dari Allah SWT. Penulis menyadari bahwa

penyusunan skripsi ini masih belum sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran sangat penulis harapkan. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi para pembaca. Aamiin.

وَعَلَيْكُمْ السَّلَامُ وَرَحْمَةُ اللَّهِ وَبَرَكَاتُهُ

Yogyakarta, 20 Februari 2018

Penulis

Muiz Yoga Maulana

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	I
<b>ABSTRAK</b> .....	li
<b>ABSTRACT</b> .....	iii
<b>SURAT PERNYATAAN KEASLIAN</b> .....	Iv
<b>LEMBAR PERSETUJUAN</b> .....	V
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	Vi
<b>MOTO</b> .....	vii
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	viii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	Ix
<b>DAFTAR ISI</b> .....	Xi
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xiii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xiv
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xix
<b>BAB I. PENDAHULUAN</b>	
A. Latar Belakang .....	1
B. Identifikasi Masalah .....	3
C. Batasan Masalah .....	4
D. Rumusan Masalah .....	4
E. Tujuan Penelitian .....	4
F. Manfaat Penelitian .....	5
<b>BAB II. KAJIAN PUSTAKA</b>	
A. Batik .....	6
B. Sistem Kontrol .....	8
C. Transformasi Laplace dan Invers Transformasi Laplace .....	13
D. Fungsi Transfer dan Diagram Blok .....	14

E. Resistansi .....	18
F. Sensor PT-100 .....	20
G. Konverter Resistansi ke Tegangan .....	22
H. Keramik .....	23
I. Kalorimeter .....	24
J. Perpindahan Kalor .....	25
K. <i>Operational Amplifier</i> sebagai Komparator .....	26
L. Transistor .....	29
M. Relay .....	33
N. <i>Low Pass Filter</i> .....	34
 <b>BAB III. METODE PENELITIAN</b>	
A. Waktu dan Tempat Penelitian .....	37
B. Alat dan Bahan Penelitian .....	37
C. Teknik Pengambilan Data .....	39
D. Teknik Analisis Data .....	54
E. Diagram Alir Tahapan Penelitian .....	55
 <b>BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
A. Pemilihan Nikelin .....	56
B. Tegangan AC PLN .....	70
C. Adaptor .....	73
D. Sensor Suhu PT-100 .....	79
E. Tegangan Referensi .....	82
F. Komparator .....	85
G. Saklar Transistor dan Relay .....	87
H. Pemanas Nikelin .....	90
I. Konduktivitas Termal pada Keramik .....	92
J. Prosentase Suhu yang Dilewatkan Bahan Wajan .....	96
K. Diagram Blok Sistem Kontrol .....	99

L. Hasil Rancang Bagun Kompor Batik Listrik .....	100
M. Uji Sistem Kontrol .....	100
<b>BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
A. Kesimpulan.....	109
B. Saran .....	109
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>111</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>113</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 1. Transformasi Laplace .....	14
Tabel 2. Resistivitas logam dan koefisien suhu .....	20
Tabel 3. Persamaan pada Gambar 29 untuk nikelin diameter 0,4 mm .....	57
Tabel 4. Persamaan pada Gambar 29 untuk nikelin diameter 0,25 mm .....	58
Tabel 5. Persamaan pada Gambar 29 untuk nikelin diameter 0,2 mm .....	58
Tabel 6. Persamaan pada Gambar 29 untuk nikelin diameter 0,15 mm .....	58
Tabel 7. Persamaan hasil <i>fitting</i> Gambar 49 .....	69
Tabel 8. Perbandingan tegangan PLN .....	72
Tabel 9. Data hasil pengujian karakteristik transistor .....	87

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.	Sistem kontrol .....	8
Gambar 2.	Sistem kontrol loop terbuka .....	8
Gambar 3.	Elemen-elemen dasar dari sebuah sistem kontrol loop-terbuka .....	9
Gambar 4.	Sistem kontrol loop-tertutup .....	10
Gambar 5.	(a) Elemen diagram blok, (b) Titik penjumlahan .....	16
Gambar 6.	Diagram blok sistem kontrol tertutup .....	17
Gambar 7.	Kabel pada sensor PT-100 .....	22
Gambar 8.	Rangkaian Pembagi Tegangan .....	22
Gambar 9.	(a) Rangkaian Op-Amp batas positif, (b) keluaran Op-Amp batas positif, (c) rangkaian Op-Amp batas negatif, (d) keluaran Op-Amp batas negatif.....	27
Gambar 10.	(a) Diagram skematik LM393, (b) bentuk produk dari LM393, (c) <i>pin connector</i> pada LM393 .....	29
Gambar 11.	(a) Aliran konvensional, (b) aliran elektron, (c) arus PNP .....	30
Gambar 12.	(a) Rangkaian transistor PNP, (b) garis beban transistor .....	31
Gambar 13.	Skema relay SPDT .....	33
Gambar 14.	Rangkaian <i>low pass filter</i> sederhana .....	35
Gambar 15.	Hubungan $H(j\omega)$ terhadap frekuensi .....	36
Gambar 16.	(a) Skema keseluruhan alat (b) Tungku keramik tampak dari bawah .....	40
Gambar 16	(c) Tungku keramik tampak dari samping .....	41
Gambar 17.	Rangkaian adaptor .....	42
Gambar 18.	Skema pembagi tegangan pada tegangan referensi .....	43
Gambar 19.	Rangkaian pembagi tegangan sebagai tegangan input .....	44
Gambar 20.	Rangkaian pembandingan antara tegangan referensi ( $V_{ref}$ ) dan tegangan masukan ( $V_{in}$ ) .....	45
Gambar 21.	Rangkaian pengendali arus listrik pada kawat nikelin .....	46
Gambar 22.	Rangkaian keseluruhan dari sistem kontrol .....	47
Gambar 23.	Rangkaian pembagi tegangan PLN .....	48
Gambar 24.	Gambar skema pengujian sensor .....	50
Gambar 25.	(a) Skema pengukuran daya nikelin .....	51

Gambar 25. (b) Skema rangkaian pembagi arus .....	52
Gambar 26. Skema uji konduktivitas keramik .....	53
Gambar 27. Diagram alir tahapan penelitian .....	55
Gambar 28. (a) Spesifikasi nikelin diameter 0,4 mm, (b) spesifikasi nikelin diameter 0,25 mm, (c) spesifikasi nikelin diameter 0,2 mm, (d) spesifikasi nikelin diameter 0,15 mm .....	56
Gambar 29. Grafik resistansi terhadap panjang nikelin untuk berbagai ukuran diameter .....	57
Gambar 30. Hubungan tegangan PLN terhadap panjang nikelin .....	59
Gambar 31. Hubungan arus terhadap panjang nikelin .....	60
Gambar 32. Hubungan antara daya yang dibutuhkan terhadap panjang nikelin .....	61
Gambar 33. Hubungan suhu terhadap waktu untuk nikelin 5 m .....	63
Gambar 34. Hubungan suhu terhadap waktu untuk nikelin 4,75 m .....	63
Gambar 35. Hubungan suhu terhadap waktu untuk nikelin 4,5 m .....	64
Gambar 36. Hubungan suhu terhadap waktu untuk nikelin 4,25 m .....	64
Gambar 37. Hubungan suhu terhadap waktu untuk nikelin 4 m .....	64
Gambar 38. Hubungan suhu terhadap waktu untuk nikelin 3,75 m .....	65
Gambar 39. Hubungan suhu terhadap waktu untuk nikelin 3,50 m .....	65
Gambar 40. Hubungan suhu terhadap waktu untuk nikelin 3,25 m .....	65
Gambar 41. Hubungan suhu terhadap waktu untuk nikelin 3 m .....	66
Gambar 42. Hubungan suhu terhadap waktu untuk nikelin 2,75 m .....	66
Gambar 43. Hubungan suhu terhadap waktu untuk nikelin 2,50 m .....	66
Gambar 44. Hubungan suhu terhadap waktu untuk nikelin 2,25 m .....	67
Gambar 45. Hubungan suhu terhadap waktu untuk nikelin 1 m .....	67
Gambar 46. Hubungan suhu terhadap waktu untuk nikelin 1,75 m .....	67
Gambar 47. Hubungan suhu terhadap waktu untuk nikelin 1,50 m .....	68
Gambar 48. Energi yang menjadi kalor per detik terhadap panjang nikelin .....	68
Gambar 49. Prosentase energi yang diubah menjadi kalor per detik .....	69
Gambar 50. Gelombang listrik PLN .....	70
Gambar 51. Listrik PLN direkam menggunakan <i>software</i> SpectraPlus .....	70
Gambar 52. Satu periode gelombang listrik PLN yang terekam .....	71
Gambar 53. Satu periode gelombang listrik PLN yang dikuadratkan .....	71



Gambar 54.	Gelombang penuh setelah jembatan dioda penyearah .....	73
Gambar 55.	Spektrum frekuensi gelombang penuh .....	74
Gambar 56.	Gelombang DC setelah <i>low pass filter</i> .....	74
Gambar 57.	Spektrum frekuensi gelombang penuh setelah <i>low pass filter</i> .....	75
Gambar 58.	Rasio amplitudo tegangan keluaran terhadap tegangan masukan terhadap spektrum frekuensi gelombang penuh .....	76
Gambar 59.	Keluaran transistor 2N3055 .....	77
Gambar 60.	Spektrum frekuensi tegangan adaptor sebelum melewati <i>low pass filter</i> .....	77
Gambar 61.	Spektrum frekuensi tegangan adaptor setelah melewati <i>low pass filter</i> .....	78
Gambar 62.	Rasio tegangan adaptor antara setelah dan sebelum <i>low pass filter</i> secara teori dan penelitian .....	78
Gambar 63.	Resistansi terhadap suhu sensor PT-100 .....	79
Gambar 64.	Perubahan tegangan akibat perubahan resistansi PT-100 .....	81
Gambar 65.	Diagram blok tegangan masukan .....	82
Gambar 66.	Hubungan sudut dengan resistansi potensiometer .....	83
Gambar 67.	Hubungan tegangan terhadap resistansi .....	84
Gambar 68.	Diagram blok tegangan referensi .....	85
Gambar 69.	Blok pencabangan sistem kontrol .....	86
Gambar 70.	Diagram blok titik penjumlahan .....	86
Gambar 71.	Rangkaian saklar transistor dan relay .....	87
Gambar 72.	Diagram blok saklar transistor .....	88
Gambar 73.	Diagram blok saklar relay .....	89
Gambar 74.	Diagram blok pemanas nikelin .....	90
Gambar 75.	Hubungan suhu terhadap waktu untuk nikelin 2,23 m .....	91
Gambar 76.	Diagram blok energi yang diubah dalam kalor setiap detik .....	91
Gambar 77.	Hubungan suhu keramik terhadap waktu .....	92
Gambar 78.	Hubungan gradien suhu keramik terhadap waktu .....	93
Gambar 79.	Hubungan gradien suhu keramik B-A terhadap waktu dari menit ke 15 sampai dengan menit ke 30 .....	94
Gambar 80.	Diagram blok konduktivitas keramik .....	96
Gambar 81.	Hubungan suhu bahan wajan terhadap waktu .....	97

Gambar 82. Presentase suhu bahan wajan terhadap waktu .....	97
Gambar 83. Diagram blok perubahan suhu di permukaan atas bahan wajan .....	98
Gambar 84. Diagram blok sistem kontrol suhu kompor listrik batik .....	99
Gambar 85. Diagram blok rangkaian hasil penyederhanaan I .....	100
Gambar 86. Diagram blok rangkaian hasil penyederhanaan II .....	100
Gambar 87. Diagram blok rangkaian hasil penyederhanaan III .....	100
Gambar 88. (a) Rancangan kompor batik listrik (b) bangun kompor batik Listrik .....	101
Gambar 89. Kestabilan suhu dan saklar sistem kontrol untuk bahan malam 1 .....	102
Gambar 90. Kestabilan suhu dan saklar sistem kontrol untuk bahan malam 1 pada menit ke 21 sampai dengan menit ke 135 .....	102
Gambar 91. Kestabilan suhu dan saklar sistem kontrol untuk bahan malam 2 .....	104
Gambar 92. Kestabilan suhu dan saklar sistem kontrol untuk bahan malam 2 pada menit ke 20 sampai dengan menit ke 135 .....	105
Gambar 93. Kestabilan suhu dan saklar sistem kontrol untuk bahan malam 3 .....	106
Gambar 94. Kestabilan suhu dan saklar sistem kontrol untuk bahan malam 3 pada menit ke 20 sampai dengan menit ke 135 .....	107

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.	Data Listrik PLN .....	112
Lampiran 2.	Spektrum Frekuensi Adaptor Setelah Dioda .....	123
Lampiran 3.	Spektrum Frekuensi Adaptor .....	123
Lampiran 4.	Resistansi Nikelin .....	124
Lampiran 5.	Tegangan dan Arus PLN terhadap Panjang .....	124
Lampiran 6.	Perubahan Suhu Aquadest Terhadap Waktu .....	125
Lampiran 7.	Data Sensor PT-100 .....	128
Lampiran 8.	Data Tegangan Referensi .....	128
Lampiran 9.	Konduktivitas Keramik .....	129
Lampiran 10.	Konduktivitas Bahan Wajan .....	130
Lampiran 11.	Uji Sistem Control .....	131
Lampiran 12.	Dokumentasi Penelitian .....	134

# **BAB I PENDAHULUAN**

## **A. Latar Belakang Masalah**

Batik merupakan warisan budaya Indonesia yang perlu dilestarikan. Untuk dapat melestarikan batik diperlukan media membatik yang dapat mengikuti zaman. Akan tetapi, saat ini masih banyak pembatik yang memanaskan bahan malam (lilin) sebagai media pembatiknya menggunakan kayu bakar dan kompor minyak tanah. Penggunaan kayu bakar dan kompor minyak tanah sebagai media pemanasan malam tidak ramah lingkungan karena menimbulkan asap. Kayu bakar dan kompor batik minyak tanah merupakan media yang kurang praktis apabila digunakan sebagai cara pemanasan bahan malam. Hal ini disebabkan karena kestabilan suhu bahan malam sulit untuk dikendalikan saat memanaskan bahan malam. Selain itu lahan hutan di Indonesia juga semakin berkurang, sehingga kayu bakar semakin sulit didapatkan. Penggunaan kompor minyak tanah secara massal dan terus menerus untuk memanaskan bahan malam dapat mempercepat habisnya bahan bakar minyak tanah. Seiring langkanya kayu bakar dan bahan bakar minyak tanah, pemanasan bahan malam menggunakan kayu bakar dan kompor batik minyak tanah harus ditinggalkan dan beralih ke kompor batik dengan energi lainnya.

Dalam perkembangannya kompor batik dibuat menggunakan bahan bakar gas, energi listrik, dan energi lainnya. Kompor untuk membatik yang menggunakan kompor gas kecil memang lebih efisien dibandingkan dengan kompor minyak, namun untuk mengontrol suhunya masih secara manual dan

bahan bakar gas akan habis ketika digunakan terus menerus. Sehingga, kompor gas dirasa kurang efisien seiring berkembangnya zaman.

Kompor batik dengan energi listrik kini mulai dikembangkan. Kompor batik listrik sudah lebih unggul dibandingkan dengan kompor batik minyak tanah dan kompor batik gas. Kompor batik listrik manual pada keadaan sudah stabil masih memerlukan daya sekitar 25 watt sampai dengan 60 watt tergantung pada suhu yang diinginkan dan diatur secara manual. Pengaturan secara manual masih membuat alat ini kurang praktis dalam mengatur kestabilan suhu bahan masak. Pada kondisi tidak stabil, kompor batik ini memerlukan daya yang sama dengan kompor listrik lainnya. Kompor batik listrik yang otomatis mulai dikembangkan. Analisis fisis dan perhitungan matematis yang digunakan kompor batik otomatis belum dilakukan, sehingga daya dan efisiensi kompor ini belum dapat ditentukan. Kompor batik listrik yang sudah ada dua jenis yaitu kerangka dari keramik dan kerangka dari aluminium. Jenis keramik memiliki massa yang berat, sedangkan jenis aluminium mudah panas ketika dipanaskan akan tetapi mudah dingin ketika berhenti dipanaskan sehingga banyak kalor yang hilang ke lingkungan (batikgiriloyo.com).

Pada zaman modern ini pembatik memerlukan kompor batik yang mudah untuk dioperasikan dan memiliki desain yang tepat. Untuk mencapai tujuan tersebut muncul suatu sistem yang mampu melakukan kerja secara otomatis yang dikenal dengan sistem kontrol. Agar sistem kontrol yang digunakan dapat bekerja sesuai keinginan dan bekerja terus menerus, maka diperlukan sistem kontrol *closed loop*. Sehingga suhu keluaran merupakan hasil koreksi *closed*

*loop system* yang kemudian dijadikan *feedback*. Dengan adanya *feedback* ini sistem kontrol akan bekerja sesuai keinginan.

Berdasarkan latar belakang tersebut maka akan dirancang-bangun kompor batik listrik yang secara otomatis dapat mengontrol suhu bahan malam dengan tungku keramik dan pemanas nikelin. Bahan keramik dipilih sebagai tungku karena dapat menyimpan panas lebih lama dibandingkan bahan lain akan tetapi kerangka tetap terbuat dari logam. Pemanas nikelin digunakan karena nikelin mudah untuk didapatkan dan memiliki harga yang murah.

## **B. Identifikasi Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan dapat diidentifikasi beberapa masalah sebagai berikut:

1. Penggunaan kayu bakar dan kompor minyak tanah sebagai media pemanasan malam tidak ramah lingkungan karena menimbulkan asap.
2. Kayu bakar dan kompor batik minyak tanah merupakan media yang kurang praktis dalam pemanasan bahan malam karena sulit mengontrol kestabilan suhunya.
3. Kompor batik listrik yang dikembangkan masih belum praktis karena kestabilan bahan malam diatur secara manual dan yang sudah otomatis memiliki desain yang kurang tepat.

### **C. Batasan Masalah**

Dalam penelitian ini cakupan permasalahan yang diteliti dibatasi pada:

1. Pengontrolan suhu pada bahan malam dengan *setting point* antara 60 °C sampai 70 °C dengan kompor batik listrik yang menggunakan keramik sebagai tungkunya.
2. Jenis bahan malam (lilin) yang digunakan adalah bahan malam klowong, bahan malam tembok dan bahan malam songkal.

### **D. Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang diuraikan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana rancang bangun sistem kontrol suhu pada kompor batik listrik yang diatur untuk menyetabilkan bahan malam pada *range* 60°C sampai dengan 70°C?
2. Bagaimana fungsi transfer sistem kontrol kompor batik listrik yang dirancang-bangun?
3. Berapa daya rata-rata yang digunakan kompor batik listrik dari tungku keramik ketika mulai stabil?

### **E. Tujuan Penelitian**

Berdasarkan rumusan masalah yang telah diuraikan, maka tujuan penelitian ini adalah:

1. Merancang-bangun sistem kontrol suhu kompor batik listrik agar bahan malam stabil pada *range* 60°C sampai dengan 70°C.
2. Mengetahui fungsi transfer sistem kontrol suhu kompor batik listrik.

3. Mengetahui daya rata-rata yang digunakan kompor batik listrik ketika mulai stabil.

#### **F. Manfaat Penelitian**

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah

1. Menjadi inovasi kompor batik di tengah berkurangnya lahan hutan untuk mencari kayu bakar dan terbatasnya cadangan minyak tanah.
2. Mempermudah pembatik dalam mengontrol suhu bahan malam yang dipanaskan.



## **BAB II KAJIAN TEORI**

### **A. Batik**

Batik merupakan salah satu warisan karya seni budaya luhur bangsa Indonesia yang dapat memberikan nilai positif baik dari segi ekonomi maupun budaya. Batik memiliki ciri khas yang menjadikannya mampu bertahan hingga saat ini. Industri batik di Indonesia sudah terbukti ratusan tahun memberikan penghidupan ekonomi bagi pengrajinnya walaupun pada saat krisis moneter yang melanda Indonesia tahun 1998 lalu sampai saat ini (Kudiya, 2011: 6).

Berdasarkan etimologi dan terminologinya, batik berasal dari kata “mbat” dan “tik”. Mbat dalam bahasa Jawa diartikan sebagai ngembat atau melempar berkali-kali sedangkan tik berasal dari kata titik. Sehingga membatik berarti melempar titik berkali-kali (Musman dan B. Arini, 2011: 1)

Bahan yang digunakan dalam membatik adalah bahan malam (lilin). Sebenarnya bahan malam tidak habis karena pada akhirnya bahan malam akan diambil kembali pada proses mbabar yaitu proses pengerjaan sampai kain batik menjadi kain siap digunakan. Bahan malam yang digunakan untuk membatik berbeda dari jenis lilin biasanya. Bahan malam bersifat cepat diserap kain tetapi dapat dengan mudah lepas ketika proses pelorodan (Wulandari, 2011: 149-150).

Ada berbagai macam jenis bahan malam yang beredar di masyarakat, antara lain:

1. Malam tawon (lebah) berasal dari sarang lebah.
2. Malam lanceng berasal dari tawon lanceng.

3. Malam timur berasal dari minyak tanah buatan pabrik.
4. Malam sedang berasal dari minyak tanah buatan pabrik.
5. Malam klowong berasal dari minyak tanah buatan pabrik.
6. Malam tembok berasal dari minyak tanah buatan pabrik.
7. Malam songkal berasal dari minyak tanah buatan pabrik.
8. Malam geblak berasal dari minyak tanah buatan pabrik.
9. Malam gandarukem berasal dari minyak tanah buatan pabrik.

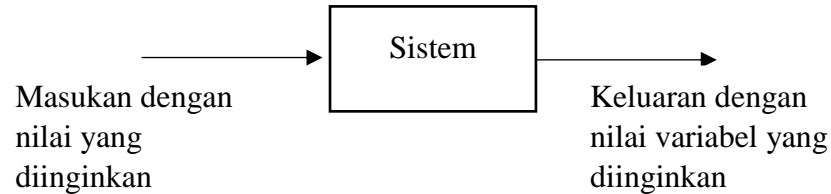
(Musman dan B. Arini, 2011: 30)

Kompot yaitu alat untuk memunculkan panas. Kompot dalam proses membatik berfungsi sebagai perapian dan pemanas bahan-bahan yang digunakan untuk membatik. Kompot yang biasa digunakan adalah kompor berbahan bakar minyak. Namun terkadang kompor ini bisa diganti dengan kompor gas kecil dan anglo (Wulandari, 2011: 145-146). Dalam perkembangannya kompor batik dibuat menggunakan energi listrik atau energi lainnya (Musman dan B. Arini, 2011: 30).

Menurut para pembatik yang ada di desa wisata batik Giriloyo, untuk membatik diperlukan pemanasan malam pada suhu 60°C hingga 70°C. Pada suhu ini bahan malam paling nyaman untuk digunakan pembatik. Hal ini karena pada suhu 60°C hingga 70°C bahan malam sudah tidak terlalu kental dan bahan malam juga tidak terlalu encer, sehingga membatik pada suhu 60°C hingga 70°C tidak menyebabkan masalah pada proses menuangkan dengan cangking pada kain batik yang digunakan.

## B. Sistem Kontrol

Menurut Bolton (2006: 3) sistem kontrol adalah sistem di mana suatu masukan atau beberapa masukan tertentu digunakan untuk mengontrol keluarannya pada nilai tertentu, memberikan urutan kejadian tertentu, atau memunculkan suatu kejadian jika beberapa kondisi tertentu terpenuhi.

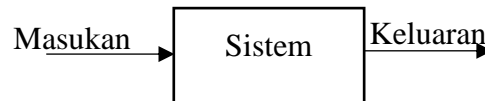


**Gambar 1.** Sistem kontrol (Bolton, 2006: 3).

Sistem kontrol dibagi menjadi dua bagian yaitu:

### 1. Sistem Kontrol *Loop* Terbuka

Menurut Bolton (2006: 5) pada sistem kontrol *loop* terbuka keluaran dikendalikan oleh keputusan awal dan tidak ada penyesuaian atau pengaturan lebih jauh yang diperlukan. Gambar 2 mengilustrasikan kontrol *loop*-terbuka.



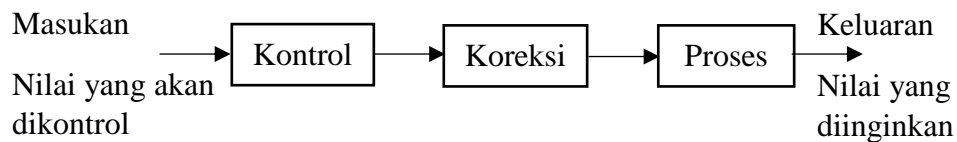
**Gambar 2.** Sistem kontrol *loop* terbuka (Bolton, 2006: 5).

Jika terjadi perubahan kondisi, maka tidak ada langkah penyesuaian yang dilakukan terhadap keluaran untuk mengompensasi perubahan yang terjadi. Tidak ada informasi yang diumpangkan kembali ke sistem kontrol untuk melakukan penyesuaian agar dapat mempertahankan kondisi yang diharapkan.

Pada sistem kontrol *loop*-terbuka keluaran dari sistem tidak memiliki efek pada sinyal masukan terhadap proses yang sedang berlangsung.

Keluaran sepenuhnya ditentukan oleh pengaturan awal. Sistem *loop* terbuka memiliki keuntungan berupa sistem yang relatif sederhana sehingga murah dan reliabilitas yang umumnya cukup baik. Akan tetapi sistem ini sering kali tidak akurat karena tidak ada koreksi yang dilakukan terhadap kesalahan yang terjadi pada sinyal keluaran yang berasal dari gangguan-gangguan tambahan.

Menurut Bolton (2006: 6-7) sistem kontrol *loop* terbuka memiliki tiga buah elemen dasar yaitu elemen kontrol, koreksi, dan proses di mana variabelnya dikontrol.



**Gambar 3.** Elemen-elemen dasar dari sebuah sistem kontrol *loop*-terbuka (Bolton, 2006: 6).

a. Elemen kontrol

Elemen ini akan menentukan aksi atau tindakan yang harus diambil sebagai akibat dari diberikannya masukan berupa sinyal dengan nilai yang diinginkan ke dalam sistem.

b. Elemen koreksi

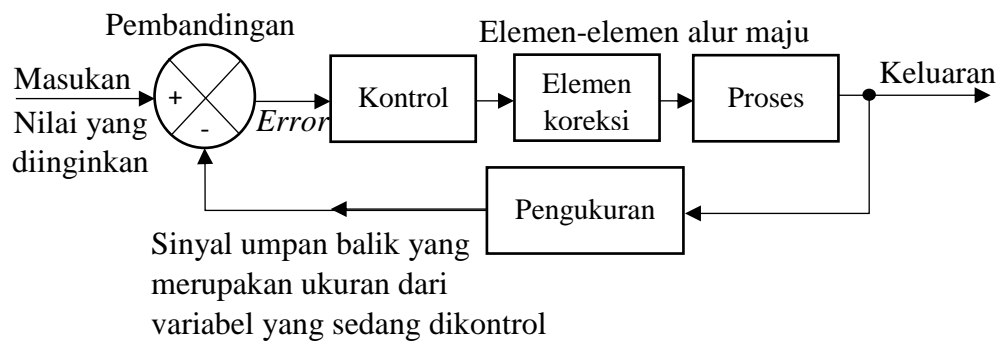
Elemen ini mendapat masukan dari pengontrol dan menghasilkan keluaran berupa tindakan untuk mengubah variabel yang sedang dikontrol.

c. Proses

Merupakan proses di mana suatu variabel dikontrol. Tidak ada perubahan tindakan kontrol yang dilakukan untuk menanggapi gangguan-gangguan yang mengubah variabel keluaran.

## 2. Sistem Kontrol *Loop* Tertutup

Menurut Ogata (2010: 7) sistem kontrol umpan balik atau sering disebut sistem kontrol *loop* tertutup adalah sistem yang mengirim kesalahan atau perbedaan antara sinyal keluaran dan sinyal masukan acuan dengan membandingkan serta menggunakan kesalahan sebagai alat kontrol. Perbandingan tersebut digunakan untuk memperkecil kesalahan dalam sistem tersebut. Ilustrasi dari sistem kontrol *loop* tertutup menurut Bolton (2006: 7-9) adalah sebagai berikut:



**Gambar 4.** Sistem kontrol *loop*-tertutup (Bolton, 2006: 7).

Berikut ini diuraikan fungsi dari masing-masing elemen dan jalur sinyal di dalam sistem kontrol *loop* tertutup tersebut di atas:

### a. Elemen pembanding

Elemen ini berfungsi untuk membandingkan nilai yang dikehendaki dari variabel yang sedang dikontrol dengan nilai terukur yang diperoleh dan menghasilkan sebuah sinyal *error*.

$Error = \text{sinyal dengan nilai yang diinginkan} - \text{sinyal dengan nilai sebenarnya yang terukur.}$

Jika keluarannya merupakan nilai yang diinginkan, maka tidak akan muncul sinyal *error*, sehingga tidak ada sinyal yang diumpan balik untuk memulai kontrol. Sinyal *error* hanya akan muncul dan memulai aksi kontrol jika terdapat perbedaan antara nilai yang diinginkan dengan nilai variabel sebenarnya.

b. Elemen kontrol

Elemen kontrol menentukan aksi atau tindakan apa yang akan diambil bila diterima sebuah sinyal *error*. Kontrol yang dilakukan dapat berupa diberikannya sebuah sinyal yang akan menyalakan atau memadamkan sebuah saklar jika terdapat sinyal *error*. Jika *error* yang terjadi kecil, maka hanya sinyal kontrol yang kecil yang dihasilkan. Jika *error*-nya besar, maka dibangkitkan sinyal kontrol besar yang proporsional. Aksi-aksi kontrol lainnya meliputi mode integral di mana sinyal kontrol akan terus-menerus bertambah selama terus terjadi *error*, dan mode derivatif di mana sinyal kontrol proporsional terhadap laju perubahan *error* yang terjadi.

Unit kontrol atau pengontrol sering kali digunakan untuk menyatakan kombinasi atau gabungan antara elemen pembanding, yaitu detektor dan elemen kontrol. Salah satu contoh dari elemen semacam ini adalah penguat diferensial yang mempunyai dua buah masukan, yaitu satu masukan untuk nilai pengaturan dan satu masukan lainnya untuk sinyal umpan balik. Setiap perbedaan yang muncul di antara kedua sinyal masukan ini akan diperkuat untuk menghasilkan sinyal *error*. Apabila

tidak terdapat perbedaan di antara keduanya, maka tidak akan ada sinyal *error* yang dihasilkan.

c. Elemen koreksi

Elemen koreksi atau sering pula disebut sebagai elemen kontrol akhir, menghasilkan suatu perubahan di dalam proses, yang bertujuan untuk mengoreksi atau mengubah kondisi yang dikontrol. Aktuator adalah elemen dari sebuah unit koreksi yang membangkitkan daya untuk menjalankan aksi kontrol.

d. Proses

Proses adalah sistem di mana terdapat sebuah variabel yang dikontrol.

e. Elemen pengukuran

Elemen pengukuran menghasilkan sebuah sinyal yang berhubungan dengan kondisi variabel dari proses yang sedang dikontrol.

f. Alur umpan balik

Umpan balik adalah cara di mana sebuah sinyal yang terkait dengan kondisi sebenarnya yang tercapai, diumpankan kembali untuk memodifikasi sinyal masukan bagi suatu proses. Umpan balik dikatakan negatif apabila sinyal yang diumpankan kembali mengurangi nilai masukan. Umpan balik negatif adalah jenis umpan balik yang diperlukan untuk mengontrol sebuah sistem. Umpan balik positif terjadi apabila yang diumpankan kembali bersifat menambahkan nilai masukan.

g. Alur maju

Alur maju digunakan untuk menyatakan jalur atau lintasan dari sinyal *error* sampai dengan keluaran. Pada Gambar 4, elemen-elemen alur maju ini terdiri dari elemen kontrol, elemen koreksi, dan elemen proses.

Kontrol proses sering kali digunakan untuk menggambarkan kontrol terhadap variabel-variabel, yang terkait dengan sebuah proses demi mempertahankan nilai-nilai variabel tersebut pada suatu nilai tertentu. Regulator adalah istilah yang digunakan bagi sebuah sistem kontrol dengan fungsi untuk menjaga agar keluarannya konstan meskipun muncul gangguan eksternal.

### C. Transformasi Laplace dan Invers Transformasi Laplace

Transformasi Laplace sering digunakan dalam sistem kontrol. Menurut Ogata (2010: 862-863), transformasi Laplace dari  $f(t)$  didefinisikan sebagai berikut:

$$\mathcal{L}[f(t)] = F(s) = \int_0^{\infty} e^{-st} dt [f(t)] = \int_0^{\infty} f(t) e^{-st} dt, \quad (1)$$

dimana

$f(t)$  = fungsi waktu  $t$  sedemikian rupa sehingga  $f(t) = 0$  untuk  $t < 0$

$s$  = variabel kompleks

$\mathcal{L}$  = simbol operator yang mengidentifikasi bahwa besaran yang berada di belakangnya ditransformasikan dengan  $\int_0^{\infty} f(t) e^{-st} dt$

$F(s)$  = transformasi Laplace dari  $f(t)$

Proses sebaliknya untuk menemukan fungsi waktu  $f(t)$  dari transformasi



Laplace  $F(s)$  disebut dengan *invers* transformasi Laplace. Notasi untuk *invers* transformasi Laplace adalah  $\mathcal{L}^{-1}$ , sehingga:

$$\mathcal{L}^{-1}[F(s)] = f(t) = \frac{1}{2\pi j} \int_{c-j\infty}^{c+j\infty} F(s)e^{-st} ds \quad \text{untuk } t>0, \quad (2)$$

dimana  $\mathcal{L}^{-1}$  merupakan simbol *invers* transformasi Laplace,  $c - j\infty$  sampai dengan  $c + j\infty$  merupakan batas integral untuk fungsi  $F(s)$ . Persamaan (2) ini berlaku untuk waktu  $t$  yang selalu positif ( $t>0$ ).

Penyelesaian transformasi Laplace dapat dilakukan dengan tabel transformasi Laplace seperti pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Transformasi Laplace (Ogata, 2010: 863-864).

No.	$f(t)$	$F(s)$
1.	1	$\frac{1}{s}$
2.	$t$	$\frac{1}{s^2}$
3.	$t^n$	$\frac{n}{s^{(n+1)}}$

Transformasi Laplace dalam penelitian ini digunakan untuk menentukan fungsi transfer setiap tahap sistem kontrol suhu pada penelitian ini.

#### **D. Fungsi Transfer dan Diagram Blok**

Dalam sistem kontrol, ada suatu cara untuk memperoleh suatu bentuk relasi yang sederhana antara masukan dan keluaran dalam bentuk yang berbeda. Cara tersebut akan dibahas pada bab ini.

##### **1. Fungsi transfer**

Menurut Ogata (2010: 15) dalam teori kontrol, fungsi transfer

digunakan untuk menyatakan hubungan masukan dan keluaran dari sistem linier parameter konstan. Konsep fungsi transfer ini hanya digunakan pada sistem linier parameter konstan. Fungsi transfer sistem linier parameter konstan didefinisikan sebagai perbandingan dari transformasi Laplace keluaran dan transformasi Laplace masukan dengan syarat semua kondisi awal bernilai nol. Salah satu sistem linier parameter konstan dinyatakan dengan persamaan diferensial linier (persamaan (3)):

$$a_0y^n + a_1y^{n-1} + \dots + a_{n-1}\dot{y} + a_ny = b_0x^m + b_1x^{m-1} + \dots + b_{m-1}\dot{x} + b_mx, \quad (3)$$

dengan  $y$  adalah keluaran sistem dan  $x$  adalah masukan sistem. Fungsi transfer dari sistem ini diperoleh dengan mencari transformasi Laplace dari kedua ruas persamaan (3) dengan asumsi semua keadaan awal bernilai nol.

$$\begin{aligned} \text{Fungsi Transfer } G(s) &= \frac{\mathcal{L}[\text{Keluaran}]}{\mathcal{L}[\text{Masukan}]} \Big|_{\text{keadaan awal nol}} \\ &= \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{b_0s^m + b_1s^{m-1} + \dots + b_{m-1}s + b_m}{a_0s^n + a_1s^{n-1} + \dots + a_{n-1}s + a_n}. \end{aligned} \quad (4)$$

Fungsi transfer dari sistem adalah model matematika yang merupakan metode operasional dari pernyataan persamaan diferensial yang menghubungkan variabel keluaran dengan variabel masukan. Fungsi transfer adalah sifat dari sistem itu sendiri, tidak tergantung dari besaran dan sifat dari masukan atau fungsi penggerak. Fungsi transfer termasuk unit yang diperlukan untuk menghubungkan masukan dengan keluaran namun tidak memberikan informasi struktur fisik dari sistem. Jika fungsi transfer dari sistem diketahui, keluaran dapat ditelaah untuk berbagai macam bentuk masukan. Jika fungsi transfer tidak diketahui, dapat dilakukan percobaan

memberikan masukan dan menelaah keluaran yang ada.

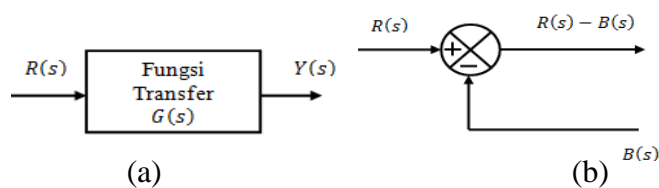
## 2. Diagram blok

Menurut Ogata (2010: 17-19) diagram blok suatu sistem adalah suatu penyajian bergambar dari fungsi yang dilakukan oleh tiap komponen dan aliran sinyalnya.

### a. Blok

Dalam suatu diagram blok, semua variabel sistem saling dihubungkan dengan menggunakan blok fungsional. Blok fungsional atau biasa disebut blok adalah suatu simbol operasi matematika pada sinyal masukan blok yang menghasilkan keluaran. Fungsi transfer dari komponen biasanya ditulis di dalam blok yang dihubungkan dengan anak panah untuk menunjukkan arah aliran sinyal.

Gambar 5 (a) menunjukkan suatu elemen diagram blok. Anak panah yang menuju ke blok menunjukkan masukan dan anak panah yang meninggalkan blok menyatakan keluaran. Anak panah semacam ini dianggap sebagai sinyal.



**Gambar 5.** (a) Elemen diagram blok, (b) Titik penjumlahan (Ogata, 2010: 17-18).

### b. Titik penjumlahan

Mengacu pada Gambar 5 (b), lingkaran dengan tanda silang menunjukkan simbol operasi penjumlahan. Tanda plus atau minus pada

tiap kepala panah menunjukkan apakah sinyal ditambahkan atau dikurangkan. Hal ini penting karena besaran yang dijumlahkan atau dikurangkan harus mempunyai dimensi dan satuan yang sama.

c. Titik cabang

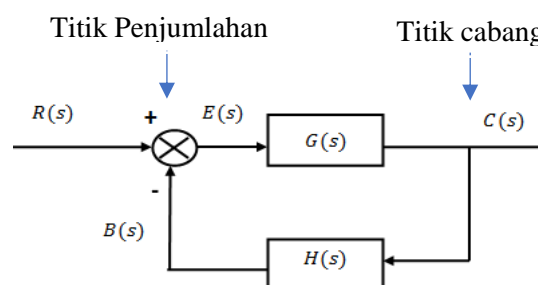
Titik cabang dalam diagram blok adalah titik yang menimbulkan dua sinyal sama yang berperan sebagai *input* blok lain atau titik penjumlahan, seperti ditunjukkan pada Gambar 6.

d. Diagram blok *closed loop system*

Gambar 6 menunjukkan suatu contoh diagram blok *closed loop system*. Keluaran  $C(s)$  diumpan balik ke titik penjumlahan untuk dibandingkan dengan masukan acuan  $R(s)$ . Sifat *closed loop* dari sistem secara jelas ditunjukkan pada Gambar 6. Keluaran blok,  $C(s)$  dalam hal ini, diperoleh dengan mengalikan fungsi transfer  $G(s)$  dengan masukan blok  $E(s)$  sebagai berikut :

$$C(s) = G(s)E(s). \quad (5)$$

Setiap sistem kontrol linier dapat dinyatakan dengan suatu diagram blok yang terdiri dari beberapa blok, titik penjumlahan dan titik cabang.



**Gambar 6.** Diagram blok sistem kontrol tertutup (Ogata, 2010: 19).

e. Fungsi transfer lingkaran terbuka dan fungsi transfer umpan- maju

Pada Gambar 6 sinyal umpan balik  $B(s)$  yang masuk ke titik penjumlahan untuk dibandingkan dengan sinyal masukan  $R(s)$  adalah:

$$B(s) = H(s)C(s). \quad (6)$$

Perbandingan antara sinyal umpan balik  $B(s)$  dengan sinyal kesalahan/error  $E(s)$  disebut fungsi transfer lingkaran terbuka. Dengan mensubstitusikan persamaan (5) ke persamaan (6) diperoleh:

$$B(s) = H(s)G(s)E(s). \quad (7)$$

Berdasarkan persamaan (7), fungsi transfer lingkaran terbuka dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\frac{B(s)}{E(s)} = G(s)H(s). \quad (8)$$

Rasio keluaran  $C(s)$  terhadap sinyal kesalahan yang muncul  $E(s)$  disebut fungsi transfer umpan maju, sehingga fungsi transfer umpan maju:

$$\frac{C(s)}{E(s)} = G(s). \quad (9)$$

## E. Resistansi

Menurut Halliday, et al (2010: 680-681) ketika konduktor berbentuk tabung diberikan medan listrik di kedua ujungnya, akan timbul arus listrik dari potensial tinggi ke potensial rendah. Rasio dari besarnya medan listrik dan kerapatan arus dinamakan resistivitas ( $\rho$ ).

$$\rho = \frac{E}{j} = \frac{V}{\frac{l}{A}}, \quad (10)$$

dimana  $\rho$  adalah resistivitas bahan,  $E$  adalah medan listrik yang diberikan,  $j$  adalah kerapatan arus,  $V$  adalah selisih potensial,  $i$  adalah arus total,  $l$  adalah panjang konduktor dan  $A$  adalah luas penampang konduktor.

Jika besarnya kerapatan arus  $j$  dan medan listrik  $E$  itu homogen di seluruh konduktor, maka arus total didefinisikan sebagai integral dari kerapatan arus terhadap luas

$$i = \int j \cdot ds \quad (11)$$

dan selisih potensial di ujung titik  $a$  dan  $b$  adalah negatif dari integral medan listrik terhadap panjang

$$V_{ab} = - \int_a^b E \cdot dl \quad (12)$$

Resistansi dari bahan tersebut dapat dinyatakan sebagai

$$R = \frac{V_{ab}}{i} = \frac{- \int_a^b E \cdot dl}{\int j \cdot ds}, \quad (13)$$

sehingga besarnya resistansi tersebut adalah

$$R = \frac{E l}{j A} = \rho \frac{l}{A}. \quad (14)$$

Satuan dari resistivitas adalah  $\frac{\frac{V}{m}}{\frac{A}{m^2}} = V \frac{m}{A} = \Omega \cdot m$ .

Hampir seluruh resistivitas logam meningkat seiring meningkatnya suhu. Pada jangkauan yang kecil (sampai dengan kurang lebih 100 °C) resistansi sebuah logam dapat dinyatakan oleh persamaan (15):

$$\rho(T) = \rho_0(1 + \alpha[T - T_0]), \quad (15)$$

dengan  $\rho(T)$  adalah resistivitas pada suhu  $T$ ,  $\rho_0$  adalah resistivitas pada suhu acuan,  $\alpha$  adalah koefisien suhu resistivitas yang besarnya berbeda untuk tiap bahan,  $T$  adalah suhu pada kondisi tertentu,  $T_0$  adalah suhu acuan ( $20^\circ\text{C}$ ) (Young and Freedman, 2008:852).

Resistivitas setiap bahan berbeda dari bahan lainnya. Berikut adalah tabel resistivitas logam (Halliday, et.al,1978: 679):

**Tabel 2.** Resistivitas logam dan koefisien suhu.

No.	Jenis Logam	resistivitas pada suhu $20^\circ\text{C}$ ( $10^{-8} \Omega. \text{m}$ )	koefisien suhu resistivitas tiap $^\circ\text{C}$ ( $\times 10^{-5}$ )
1	Perak	1,6	380
2	Tembaga	1,7	390
3	Alumunium	2,8	390
4	Nikelin	6,8	600
5	Besi	10	500

Resistansi logam dalam penelitian ini digunakan untuk menentukan kemurnian nikelin yang digunakan serta memprediksi resistansi ketika nikelin dialiri listrik.

#### **F. Sensor PT-100**

Menurut Park and Mackay (2003: 19-20) *Resistance Temperature Detectors* (RTD) adalah sensor suhu yang terbuat dari logam murni atau sedikit tidak murni yang resistansinya meningkat seiring meningkatnya suhu. RTD relatif linier dalam rentang suhu yang lebar, dibandingkan dengan alat ukur suhu lain seperti termokopel dan termistor yang hanya menunjukkan kerja pada rentang kurva suhu yang kecil. Salah satu bahan yang sering digunakan sebagai

RTD adalah platinum. Dalam pemasarannya platinum sering disebut dengan sensor PT-100.

Perubahan resistansi PT-100 dan RTD lainnya linier akibat perubahan suhu. Persamaan yang menjelaskan linieritas dari RTD dapat dilihat pada persamaan (16)

$$R_T = R_0(1 + \alpha \Delta T). \quad (16)$$

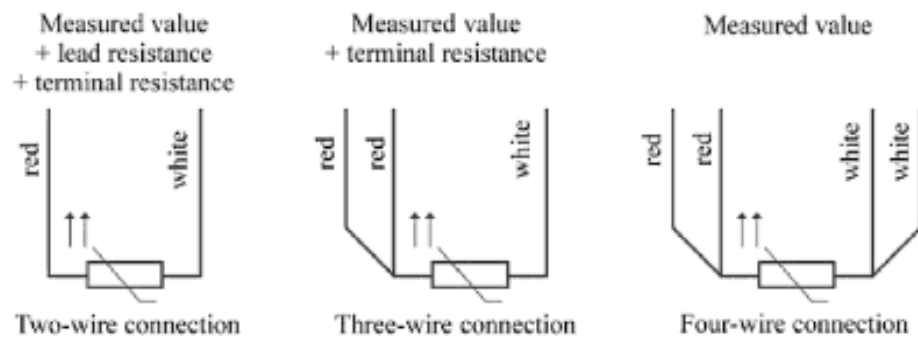
dimana  $R_T$  adalah resistansi RTD pada suhu  $T$ ,  $R_0$  adalah resistansi RTD pada suhu  $0^\circ\text{C}$ ,  $\alpha$  adalah koefisien resistansi RTD,  $\Delta T$  adalah perubahan suhu dari keadaan awal  $T = 0^\circ\text{C}$ .

Menurut Kress Rogers et.al (2000: 291) PT-100 terdiri dari 3 jenis antara lain:

1. Sensor PT-100 keramik terdiri dari sebuah spiral platina yang berada dalam serbuk halus keramik dalam tabung aluminium murni. Dua ujung kawat platina digunakan untuk menghubungkan ke kabel.
2. Sensor PT-100 kaca terdiri dari pita platina yang sangat tipis yang berada di sekitar kaca. Karena desain yang terlapis kaca ini, maka sensor ini memiliki keuntungan dari getaran tinggi.
3. Sensor PT-100 film terdiri dari lapisan tipis platina di atas film, yang dihapus sesuai pola dengan menggunakan laser untuk membuat resistansi nominal  $100 \Omega$  pada  $0^\circ\text{C}$ . Ujung platina yang tidak dihapus dihubungkan pada kabel.

Untuk menghubungkan kabel ke PT-100 ada beberapa cara yang digunakan seperti yang terlihat pada Gambar 7 :





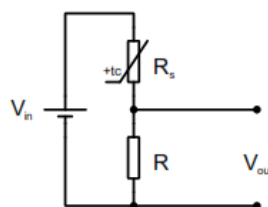
**Gambar 7.** Kabel pada sensor PT-100 (Kress Rogers et.al, 2000: 291).

PT-100 mempunyai linearitas tinggi, repeatabilitas yang baik, stabilitas jangka panjang yang tinggi, dapat menghasilkan tingkat akurasi  $\pm 0,5\%$  atau lebih baik, jangkauan pengukuran antara  $-200^{\circ}\text{C}$  sampai  $+850^{\circ}\text{C}$ , dapat digunakan dalam berbagai macam kondisi lingkungan tanpa memperburuk sistem kerjanya, tetapi lebih mahal dibandingkan logam lainnya. Meskipun demikian, detektor ini banyak sekali digunakan (Bolton, 2006: 35).

Sensor PT-100 yang digunakan dalam penelitian ini adalah sensor PT-100 keramik. Sensor ini digunakan sebagai detektor suhu pada bahan malam. Ketika suhu pada bahan malam berubah, resistansi sensor PT-100 ini juga berubah.

### G. Konverter Resistansi ke Tegangan

Suatu tegangan konstan diberikan kepada sensor dan resistansi lain dalam hubungan seri adalah pembagi tegangan. Pembagi tegangan merupakan salah satu contoh rangkaian yang mengkonversi resistansi ke tegangan.



**Gambar 8.** Rangkaian Pembagi Tegangan.

Tegangan keluaran berubah seiring berubahnya resistansi  $R$  maupun resistansi  $R_s$ . Besarnya tegangan keluaran dari rangkaian pembagi tegangan pada Gambar 8 adalah

$$V_{out} = \frac{R}{R + R_s} V_{in} \quad (17)$$

$V_{out}$  adalah tegangan keluaran rangkaian,  $V_{in}$  adalah tegangan total rangkaian,  $R$  adalah nilai resistansi di antara terminal keluaran,  $R_s$  resistansi sensor pada keadaan tertentu (Bolton, 2006:16).

Prinsip pembagi tegangan ini merupakan cara konversi resistansi ke tegangan yang paling mudah. Dalam penelitian ini prinsip pembagi tegangan digunakan sebagai konversi resistansi PT-100 dan resistansi potensiometer ke tegangan. Dengan menggunakan prinsip ini perubahan suhu yang menyebabkan perubahan resistansi dapat dikonversikan ke tegangan sebagai tegangan masukan dan perubahan sudut yang menyebabkan perubahan resistansi dapat dikonversikan ke tegangan sebagai tegangan referensi.

## H. Keramik

Kata keramik berasal dari bahasa Yunani, yaitu “*kramikos*” yang berarti bahan yang terbakar sehingga menggambarkan bahwa material ini dibakar agar memperoleh sifat fisis yang diinginkan. Keramik merupakan senyawa antara unsur logam dan non-logam, yang memiliki ikatan kovalen atau ionik. Beberapa material yang termasuk dalam klasifikasi keramik adalah kaca, semen, dan keramik dari tanah liat (lempung). Material keramik umumnya isolator panas dan listrik, tahan terhadap suhu tinggi, lama menyimpan panas, keras namun getas (Bondan T. Sofyan, 2010: 5).

Proses pengeringan dapat menjadikan keramik dari tanah liat mampat dan mengerut serta semakin kuat karena air yang tersisa dibagi bersama serta menuju massa yang koheren. Agar keramik kering dari air ( $H_2O$ ), keramik perlu dipanaskan hingga  $100\text{ }^{\circ}C$ . Agar keramik kering dari air yang teradsorpsi kimia (bentuk ion  $H_3O^+$  /  $OH^-$ ), keramik perlu dipanaskan hingga  $1000\text{ }^{\circ}C$ . Agar keramik kering dari air pada kisi (gugus hidroksida), keramik perlu dipanaskan hingga suhu  $600\text{ }^{\circ}C$  (Anton J. Hartomo, 1994: 27).

Keramik dalam penelitian ini digunakan sebagai tungku kompor batik listrik. Tungku terbuat dari keramik karena sifat keramik yang tahan terhadap suhu tinggi. Selain itu, sifat lama menyimpan panas menjadikan suhu malam yang berada di atas wajan yang menempel pada tungku ini lebih stabil.

## I. Kalorimeter

Bila kalor ditambahkan pada suatu zat, maka suhu zat tersebut akan meningkat. Jumlah kalor  $Q$  yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu suatu zat adalah sebanding dengan perubahan suhu dan massa zat itu:

$$Q = C \Delta T = mc \Delta T \quad (18)$$

dengan  $C$  adalah kapasitas kalor zat, yang didefinisikan sebagai kalor yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu suatu zat sebesar satu derajat. Kalor jenis  $c$  adalah kapasitas kalor per satuan massa:

$$c = \frac{C}{m} \quad (19)$$

Kalor jenis air ( $1\text{ kkal/kg K}$ ) jauh lebih besar dari pada kalor jenis zat lain, sehingga kapasitas kalornya juga sangat besar. Air adalah bahan yang baik dalam menyerap kalor sehingga merupakan pendingin yang baik.

Jika air ditempatkan dalam suatu sistem dan seluruh sistem terisolasi dari sekitarnya, maka kalor yang keluar dari benda sama dengan kalor yang masuk ke air dan wadahnya. Prosedur ini dinamakan kalorimetri, dan wadah air yang terisolasi dinamakan kalorimeter (Tipler, 2008: 592-595).

Kalorimeter pada penelitian ini digunakan untuk mengukur energi listrik yang diubah menjadi kalor. Dengan menempatkan nikelin pada sebuah kalorimeter energi listrik yang diubah menjadi kalor dapat diukur. Variasi panjang nikelin menentukan presentasi energi yang diubah menjadi kalor. Presentasi tertinggi digunakan untuk memilih panjang nikelin yang efisien. Selain itu kalorimeter dapat digunakan untuk menentukan kalor pada keramik ketika suhunya diketahui.

## **J. Perpindahan Kalor**

Perpindahan kalor adalah ilmu untuk meramalkan perpindahan energi yang terjadi karena adanya perbedaan suhu di antara benda atau material. Ilmu perpindahan kalor dapat membantu kita untuk meramalkan suhu zat padat atau cair sebagai fungsi waktu. Jika pada suatu benda terdapat perbedaan suhu, maka akan terjadi perpindahan energi dari bagian bersuhu tinggi ke bagian bersuhu rendah (Holman, 2010: 1).

Konduksi merupakan mekanisme perpindahan kalor dalam media padat. Besarnya laju perpindahan kalor itu sebanding dengan gradien suhu dengan suatu konstanta konduktivitas termal dan luas penampang:

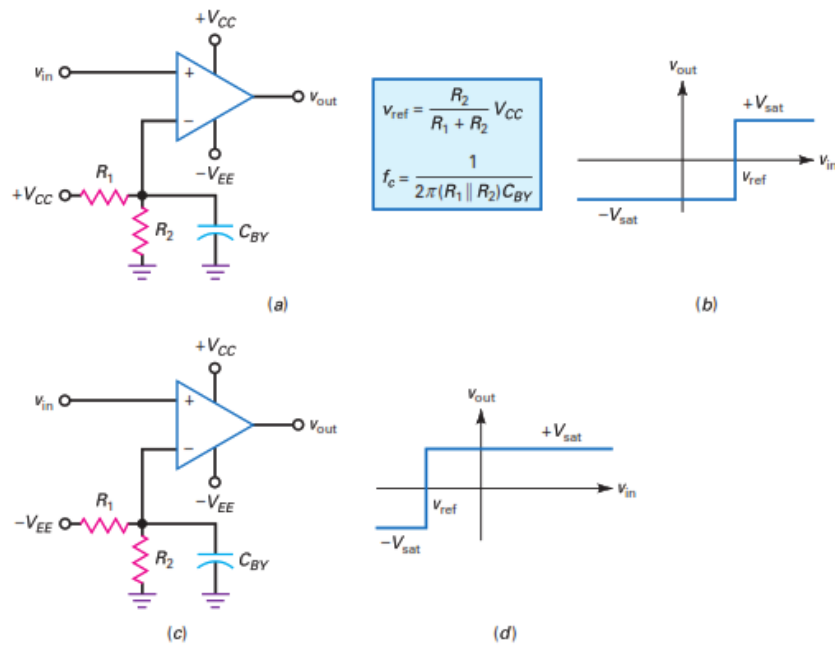
$$q = -KA dT/dx \quad (20)$$

dimana  $q$  adalah laju perpindahan kalor per detik,  $K$  adalah konduktivitas thermal benda tersebut,  $A$  adalah luas penampang bahan tersebut dan  $dT/dx$  adalah gradien suhu ke arah perpindahan kalor. Tanda minus dalam persamaan (20) tersebut merupakan syarat untuk memenuhi hukum kedua termodinamika yaitu kalor mengalir dari suhu tinggi ke suhu rendah (Kreith, 2011: 9).

Konduktivitas termal dalam penelitian ini digunakan untuk menghitung kalor yang berhasil dilewatkan dari pemanas nikelin sampai permukaan bahan keramik dan dari permukaan bahan keramik sampai ke permukaan wajan yang digunakan. Dengan diketahui konduktivitas termal dari keramik dan bahan wajan, maka suhu bahan malam dapat diprediksi.

#### **K. *Operational Amplifier* sebagai Komparator**

*Operational amplifier* (Op-Amp) tidak hanya digunakan untuk rangkaian yang memiliki hubungan masukan dan keluaran yang linier, seperti penguat tegangan, sumber arus dan *filter*. Op-Amp juga dapat dimanfaatkan untuk rangkaian yang memiliki hubungan masukan dan keluaran tidak linier seperti komparator, pembentuk gelombang, dan jalur dioda aktif. Keluaran dari rangkaian Op-Amp yang tidak linier memiliki perbedaan bentuk dari sinyal masukan karena Op-Amp dalam keadaan saturasi selama setengah siklus, sehingga harus dilakukan analisis dengan dua metode untuk melihat siklus penuh (Malvino, 2010:250).



**Gambar 9** (a) Rangkaian Op-Amp batas positif, (b) keluaran Op-Amp batas positif, (c) rangkaian Op-Amp batas negatif, (d) keluaran Op-Amp batas negatif (Malvino, 2010:250).

Gambar 9 menunjukkan respon keluaran terhadap masukan. Tegangan pembanding dalam rangkaian ini adalah  $V_{ref}$  yang berasal dari titik percabangan pembagi tegangan. Tegangan yang dibandingkan adalah  $V_{in}$ . Bila  $V_{in}$  lebih besar dari  $V_{ref}$ , keluaran dari komparator masuk ke saturasi positif. Bila  $V_{in}$  kurang dari  $V_{ref}$ , keluarannya masuk ke saturasi negatif.

Komparator pada Gambar 9(a) sering disebut detektor batas karena keluaran positif menunjukkan bahwa tegangan masukan melebihi batas tertentu. Dengan nilai  $R_1$  dan  $R_2$  yang berbeda, kita dapat mengatur tegangan referensi (tegangan batas) antara 0 volt sampai dengan  $V_{CC}$  dengan menggunakan persamaan pada pembagi tegangan. Untuk memilih batas negatif dapat dilakukan dengan menghubungkan  $-V_{EE}$  menjadi sumber tegangan ke pembagi tegangan, seperti ditunjukkan pada Gambar 9(c). Dengan demikian tegangan

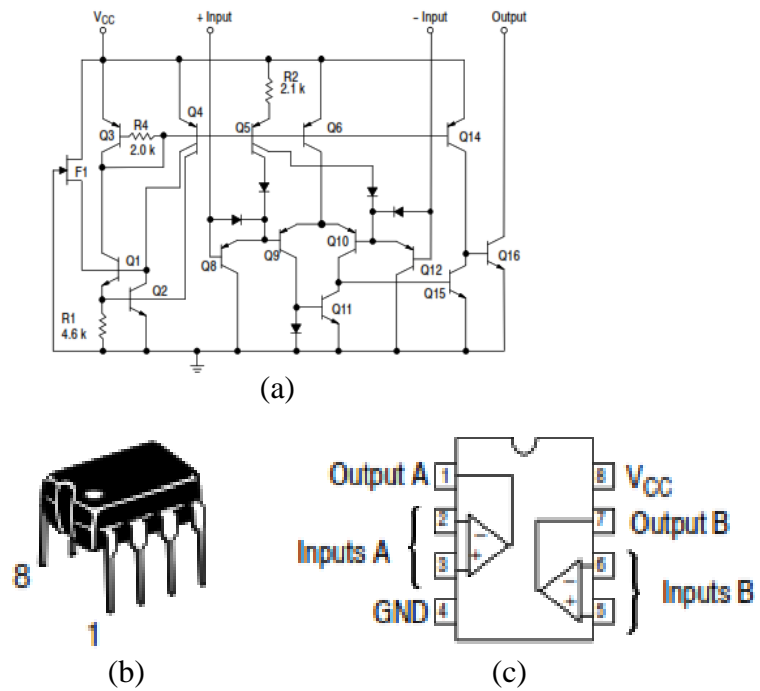
referensi negatif diterapkan pada masukan pembalik. Bila  $V_{in}$  lebih besar dari pada  $V_{ref}$ , tegangan masukan diferensial positif dan keluarannya *high*, seperti yang ditunjukkan di Gambar 9 (d). Ketika tegangan input lebih kecil dari tegangan referensi, maka keluarannya *low*.

Salah satu IC komparator yang memiliki dua gerbang adalah IC LM393.

Komparator ini memiliki:

1. Batas tegangan sumber DC ( $V_{CC}$ ) antara 2 V sampai dengan 36 V.
2. Arus yang dibutuhkan yaitu 0,4 mA dan tidak tergantung pada tegangan yang diberikan.
3. Arus bias *offset* sekitar 25 nA.
4. Arus *offset* masukan sekitar 5 nA.
5. Tegangan *offset* maksimum 5 mV.
6. Tegangan keluaran maksimum adalah 36 V.

Tegangan keluaran *compatible* dengan DTL, ECL, TTL, MOS, serta CMOS *Logic Levels*. ESD *clamps* pada masukan meningkatkan kemampuan perangkat tanpa mempengaruhi kinerjanya. Suhu maksimum agar IC bekerja baik adalah 150°C. Diagram skematik LM393 ditunjukkan pada Gambar 10(a). Bentuk produk yang beredar memiliki 8 kaki dengan pin *conector* seperti yang terlihat pada Gambar 10(c) (<https://www.onsemi.com>).



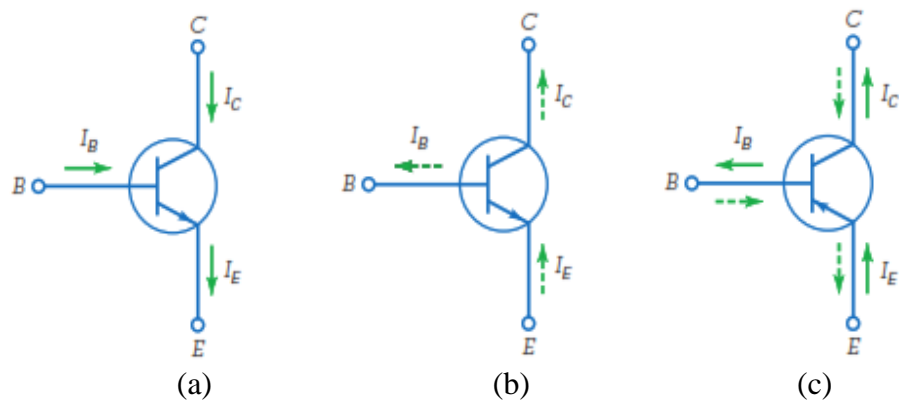
**Gambar 10** (a) Diagram skematik LM393, (b) bentuk produk dari LM393, (c) *pin connector* pada LM393 (<https://www.onsemi.com>).

IC LM393 merupakan Op-Amp yang digunakan sebagai komparator dalam penelitian ini. LM393 bekerja untuk membandingkan nilai tegangan referensi dan tegangan masukan kemudian mengirimkan sinyal ke saklar. Sinyal akan bernilai *high* ketika tegangan masukan lebih kecil dari pada tegangan referensi sehingga menghidupkan saklar. Sinyal akan bernilai *low* ketika tegangan masukan lebih besar dari pada tegangan referensi sehingga mematikan saklar.

## L. Transistor

Menurut Malvino (2015: 193-226) aliran arus pada transistor NPN dapat digambarkan seperti Gambar 11.





**Gambar 11** (a) Aliran konvensional, (b) aliran elektron, (c) arus PNP (Malvino, 2015: 193).

Hubungan arus yang terjadi pada transistor adalah arus emiter merupakan penjumlahan dari arus kolektor dan arus basis,

$$I_E = I_C + I_B. \quad (21)$$

Besarnya arus pada kolektor dan arus pada emitor tidak berbeda jauh

$$I_C \cong I_E.$$

Hal ini disebabkan karena arus basis jauh lebih kecil dari pada arus pada kolektor,

$$I_B \ll I_C.$$

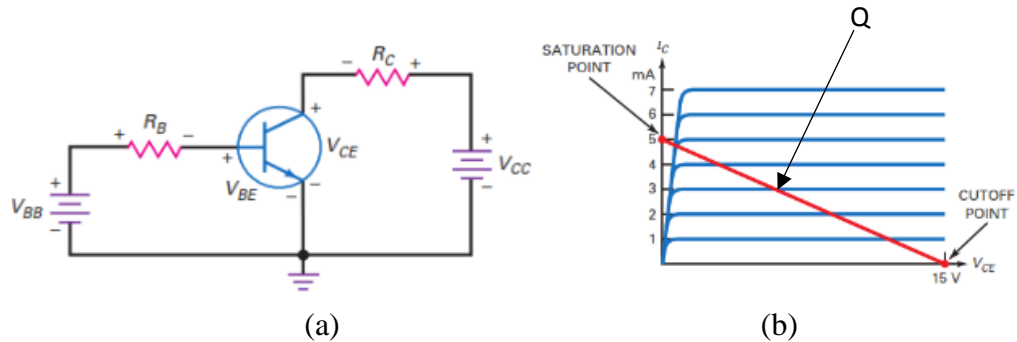
$\alpha_{DC}$  didefinisikan sebagai rasio arus yang melalui kolektor terhadap arus yang melalui emitor

$$\alpha_{DC} = \frac{I_C}{I_E}, \quad (22)$$

sedangkan  $\beta_{DC}$  didefinisikan sebagai rasio arus yang melalui kolektor terhadap arus yang melalui basis,

$$\beta_{DC} = \frac{I_C}{I_B}. \quad (23)$$

$\beta_{DC}$  biasa disebut dengan penguatan arus karena arus sangat kecil pada basis dan sangat besar pada kolektor.



**Gambar 12** (a) Rangkaian transistor PNP, (b) garis beban transistor (Malvino, 2015: 224).

Ketika resistansi basis sangat kecil, arus kolektor sangat besar, dan tegangan kolektor emitor bernilai mendekati nol, maka transistor berada dalam kondisi saturasi. Kondisi ini memiliki garis beban yang memotong kurva arus kolektor ( $I_C$ ) yaitu  $I_{C(sat)}$ . Dapat dilihat pada Gambar 12(b), bahwa titik saturasi berada pada garis beban paling atas. Besarnya arus kolektor saturasi adalah sebagai berikut:

$$I_{C(sat)} = \frac{V_{CC}}{R_C}$$

Titik di mana garis beban memotong kurva  $I_B = 0$  dikenal sebagai titik *cut-off* (titik sumbat). Pada titik ini arus basis nol dan arus kolektor sangat kecil sehingga dapat diabaikan. Besarnya tegangan kolektor-emitor dapat didekati dengan besarnya tegangan sumber,

$$V_{CE} \cong V_{CC}$$

Kondisi garis beban ketika tidak berada pada titik saturasi ataupun titik *cut-off* dinamakan titik Q (*Quiescent point*). Persamaan arus pada titik Q dapat dihitung menggunakan hukum Ohm

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B}, \quad (24)$$

sedangkan arus pada kolektor dapat dihitung dengan

$$I_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_C}. \quad (25)$$

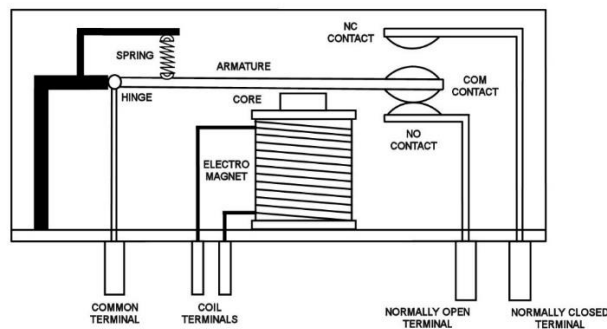
Kondisi di mana arus basis hanya cukup untuk mengoperasikan transistor pada ujung atas dari garis beban disebut *soft saturation*. *Soft saturation* memiliki kelemahan adanya perubahan saturasi atau *cut-off* dalam kondisi tertentu. Kondisi di mana arus basis cukup untuk membuat transistor dalam kondisi saturasi pada semua kondisi disebut dengan *hard saturation*. *Hard saturation* mempunyai arus basis minimal sekitar 1/10 harga saturasi dari arus kolektor (harga  $\beta_{DC} \geq 10$ ), ini menyebabkan *hard saturation* bekerja pada semua kondisi kerja.

Dengan adanya titik saturasi dan titik *cut-off* tersebut, transistor dapat difungsikan sebagai saklar. Transistor dapat dioperasikan pada salah satu dari saturasi atau titik *cut-off*, tetapi tidak pada garis beban. Jika suatu transistor berada dalam suatu titik saturasi, transistor tersebut seperti sebuah saklar yang tertutup dari kolektor ke emitor. Jika transistor *cut-off*, transistor seperti sebuah saklar yang terbuka.

Transistor dalam penelitian ini adalah saklar yang akan mengatur relay. Ketika sinyal dari komparator bernilai *high* maka transistor akan saturasi sehingga relay teraliri arus. Ketika sinyal dari komparator bernilai *low* maka transistor akan *cut-off* sehingga relay tidak teraliri arus.

## M.Relay

Bishop (2006: 67) menyatakan relay memiliki sebuah kumparan tegangan rendah yang dililitkan pada sebuah inti. Terdapat sebuah armatur besi yang akan tertarik menuju inti apabila arus mengalir melewati kumparan. *Armatur* ini terpasang pada sebuah tuas berpegas. Ketika *armatur* tertarik, posisi kontak berubah dari kontak normal tertutup ke kontak normal terbuka.



**Gambar 13.** Skema relay SPDT (<http://www.glolab.com>).

Saat ini relay yang beredar dalam masyarakat tertutup rapat, sehingga gangguan secara fisik dari luar dapat berkurang. Relay yang digunakan dalam penelitian ini adalah relay dengan kontak SPDT (*Single Pole Double Throw*). Tegangan maksimum yang bisa dilewatkan pada relay adalah 250 V dan sedangkan arus maksimumnya adalah 10 A.

Dengan menambahkan dioda secara panjar mundur, maka arus memiliki jalan untuk terus mengalir melalui kumparan sampai energi yang tersimpan habis. Dioda juga menjepit tegangan di koil menjadi sekitar 0,7 V yang melindungi elektronik. Energi yang tersimpan hilang secara cepat dalam dioda ( $E = V i t$ ) sehingga arus berhenti mengalir dan relay pada kondisi kontak normal tertutup. Dioda harus bisa menangani arus koil untuk waktu yang

singkat dan beralih relatif cepat. Resistor atau dioda zener dapat ditempatkan secara seri dengan dioda untuk menggunakan energi yang tersimpan lebih cepat. Hal ini meningkatkan amplitudo lonjakan voltase di atas 0,7 V namun energinya lebih cepat naik (yaitu tegangan *spike* tidak akan bertahan lama). Akan tetapi ini menjadi masalah kecil ketika relay digunakan dalam waktu 1 ms atau 100 ms untuk membuat kontak normal tertutup (<http://www.physics.unlv.edu>).

Relay dalam penelitian ini digunakan sebagai saklar listrik PLN pada pemanas nikelin. Ketika tegangan input yang merupakan konversi suhu bahan lebih kecil dari pada tegangan referensi, maka kontak normal relay tertutup dan ketika tegangan input yang merupakan konversi suhu bahan lebih besar dari pada tegangan referensi, maka kontak normal relay terbuka.

#### **N. *Low Pass Filter***

Menurut Hobbs (2007: 1-4), kapasitor adalah komponen rangkaian yang berfungsi menyimpan muatan listrik di antara dua konduktor yang dipisahkan oleh udara atau bahan dielektrik. Kemampuan untuk menyimpan muatan sebanding dengan tegangan yang diberikan pada saat pengisian kapasitor:

$$Q = C V, \quad (26)$$

dimana  $C$  adalah konstanta kapasitansi. Adanya bahan dielektrik menyebabkan arus DC tidak dapat dilewatkan sehingga kapasitor berfungsi sebagai saklar terbuka. Akan tetapi adanya perubahan tegangan terhadap waktu akan menyebabkan muatan bervariasi seperti persamaan berikut:

$$q(t) = C v(t), \quad (27)$$

dengan tegangan sebagai fungsi waktu adalah

$$v(t) = Ae^{j\omega t}. \quad (28)$$

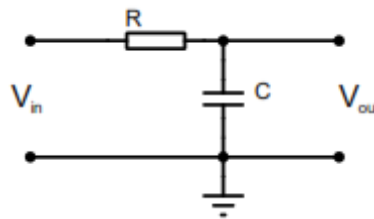
Ketika muatan berubah, persamaan arus diberikan dalam persamaan berikut:

$$i(t) = \frac{dq(t)}{dt} = \frac{C dv(t)}{dt} = j\omega CAe^{j\omega t} = j\omega Cv(t), \quad (29)$$

sehingga impedansi kapasitor tersebut adalah

$$Z_c = \frac{v(t)}{i(t)} = \frac{1}{j\omega C}. \quad (30)$$

Rangkaian resistor dan kapasitor merupakan komponen pasif yang dapat digunakan untuk menghilangkan sinyal yang diinginkan. Komponen pasif ini hanya meloloskan frekuensi yang spesifik dari masukan ke keluarannya. Persamaan yang mengatur tegangan dan arus untuk rangkaian resistif dengan sumber tegangan dapat diselesaikan dengan persamaan hukum Kirchoff.



**Gambar 14.** Rangkaian *low pass filter* sederhana (Hobbs, 2007: 3).

Gambar 14 merupakan rangkaian resistor kapasitor sederhana yang penyelesaian tegangannya dapat dilakukan dengan persamaan:

$$V_{out} = \frac{Z_C}{Z_R + Z_C} V_{in}$$

$$V_{out} = \frac{1/j\omega C}{R + 1/j\omega C} V_{in} = \frac{1}{j\omega C(R + \frac{1}{j\omega C})} V_{in}$$

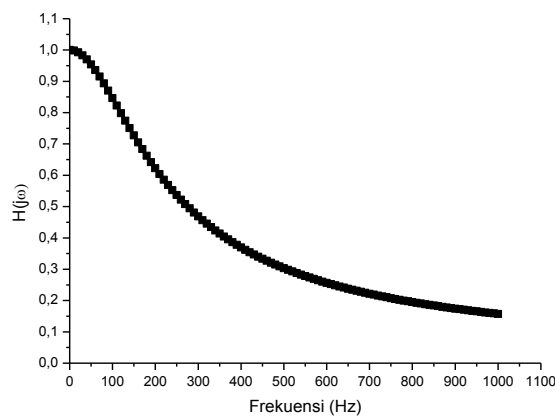
$$V_{out} = \frac{1}{1 + j\omega RC} V_{in}. \quad (31)$$

Rasio tegangan keluaran terhadap tegangan masukan pada *low pass filter* ini adalah:

$$H(j\omega) = \left| \frac{V_{out}}{V_{in}} \right| = \sqrt{\frac{1}{1 + j\omega RC} \cdot \frac{1}{1 - j\omega RC}}$$

$$H(j\omega) = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega RC)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + (2\pi f RC)^2}}. \quad (32)$$

Hubungan  $H(j\omega)$  terhadap frekuensi untuk  $R = 1 \Omega$  dan  $C = 1000 \mu\text{F}$  disajikan dalam Gambar 15 berikut:



**Gambar 15.** Hubungan  $H(j\omega)$  terhadap frekuensi untuk  $R = 1 \Omega$  dan  $C = 1000 \mu\text{F}$ .

Dari Gambar 15 tersebut dapat dilihat bahwa keluaran frekuensi rendah akan mendekati tegangan masukannya, sedangkan keluaran frekuensi tinggi akan relatif kecil dibandingkan dengan tegangan masukannya.

*Low pass filter* dalam penelitian ini digunakan sebagai rangkaian yang meloloskan frekuensi rendah pada rangkaian adaptor. Semakin sedikit dan kecil frekuensi keluaran adaptor, semakin baik kualitas adaptor yang digunakan.

Tegangan DC dari adaptor ini digunakan sebagai sumber tegangan di rangkaian sistem kontrol.



## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **A. Waktu dan Tempat Penelitian**

Penelitian ini dilaksanakan dari bulan Juli 2017 sampai dengan bulan Januari 2018. Penelitian dilaksanakan pertama di Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi, Jurusan Pendidikan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Yogyakarta, kedua di rumah peneliti yang beralamat di Dusun Karangkulon RT 01, Desa Wukirsari, Kecamatan Imogiri, Kabupaten Bantul, D.I. Yogyakarta dan ketiga di sentra pengrajin keramik Kecamatan Kasongan, Kabupaten Bantul, D.I. Yogyakarta.

#### **B. Alat Dan Bahan Penelitian**

1. Tungku berbahan keramik
2. Komponen kontrol suhu
  - a. Sensor suhu PT-100
  - b. Nikelin diameter 0,15 mm
  - c. Nikelin diameter 0,2 mm
  - d. Nikelin diameter 0,25 mm
  - e. Nikelin diameter 0,4 mm
  - f. Termometer raksa
  - g. Tungku keramik
  - h. Resin + katalis
  - i. Wajan
  - j. Resistor
  - k. Potensio biru 5k
  - l. Komparator LM393
  - m. Trafo 1A
  - n. Dioda 1A
  - o. Kapasitor
  - p. Regulator LM7805
  - q. Transistor 2N3055
  - r. Relay 5V

- |                        |                                  |
|------------------------|----------------------------------|
| s. Transistor LM547    | z. <i>Project board</i>          |
| t. LED hijau           | aa. Solder                       |
| u. Multimeter          | bb. Timah                        |
| v. Neraca Ohaus        | cc. Penggaris                    |
| w. Kalorimeter         | dd. <i>Stopwatch</i>             |
| x. Kabel penghubung    | ee. <i>Software OriginPro 8</i>  |
| y. PCB polos + pelarut | ff. <i>Software Spectra Plus</i> |

### 3. Bahan malam (lilin)

- a. Bahan malam klowong
- b. Bahan malam tembok
- c. Bahan malam songkal

## C. Teknik Pengambilan Data

Proses pengambilan data terbagi menjadi dua tahap, yaitu tahap rancang bangun alat dan tahap pengujian alat.

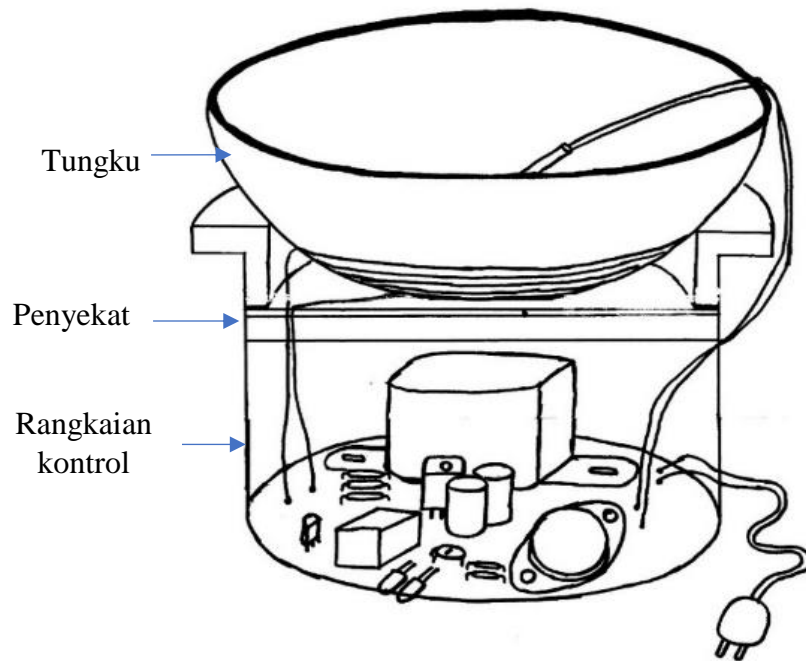
### 1. Tahap Rancang Bangun Alat

Tahap rancang bangun alat merupakan proses yang dilakukan untuk merancang dan membuat tungku batik serta rangkaian sistem kontrol suhu yang digunakan hingga siap difungsikan. Pada tahap ini ada dua proses yang dilakukan, yaitu:

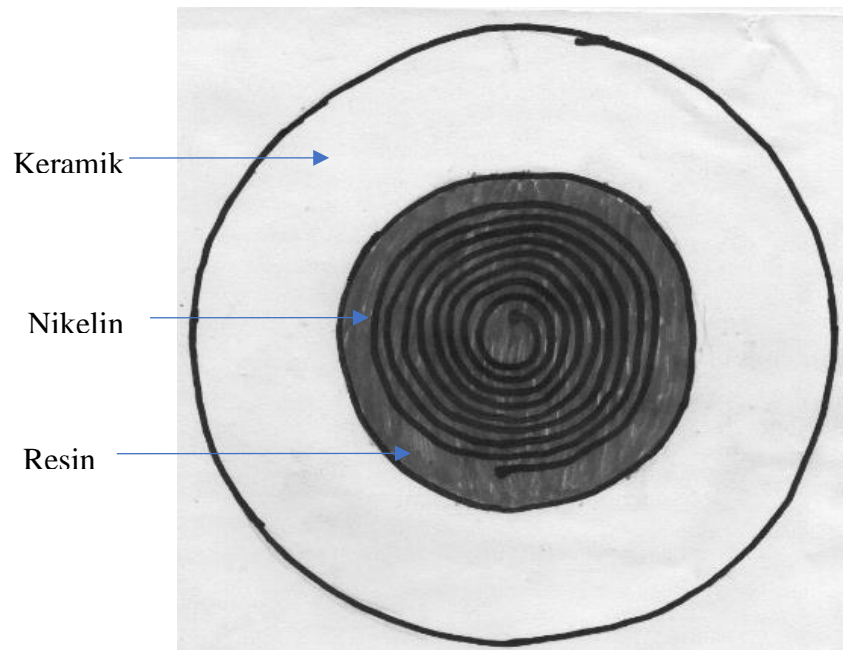
#### a. Perancangan tungku

Tungku dirancang menggunakan keramik berbentuk parabola. Bentuk tungku menyerupai parabola agar permukaan tungku dapat menempel sempurna pada wajan. Skema keseluruhan alat yang

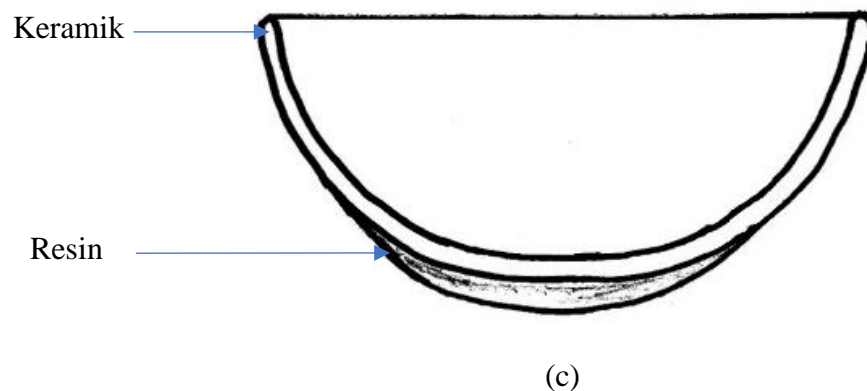
menunjukkan letak tungku dan sistem kontrol dapat dilihat pada Gambar 16 (a). Sedangkan perancangan tungku dapat dilihat pada Gambar 16 (b) dan Gambar 16 (c).



(a)



(b)



**Gambar 16.** (a) Skema keseluruhan kompor batik listrik, (b) Tungku keramik tampak dari bawah, (c) Tungku keramik tampak dari samping.

Tungku keramik memiliki penyangga yang terbuat dari keramik dan diletakkan di atas rangkaian sistem kontrol suhu yang disekat dengan kaca dan sterofom. Penyangga keramik, penyekat kaca dan *sterofom* digunakan agar kalor pada tungku tidak mengalir ke rangkaian sistem kontrol yang berada di bawahnya.

Nikelin sebagai sumber pemanas direkatkan pada bawah tungku keramik dengan menggunakan bahan resin agar tetap melekat pada suhu tinggi. Nikelin direkatkan melingkar dengan jarak antar nikelin adalah 0,2 cm agar tidak terjadi hubungan arus pendek. Nikelin yang digunakan dipilih dari berbagai ukuran diameter (0,15 mm, 0,2 mm, 0,25 mm, 0,4 mm) kemudian ditentukan nikelin dengan diameter 0,15 mm sebagai sumber pemanas pada sistem kontrol suhu ini. Setelah terpilihnya

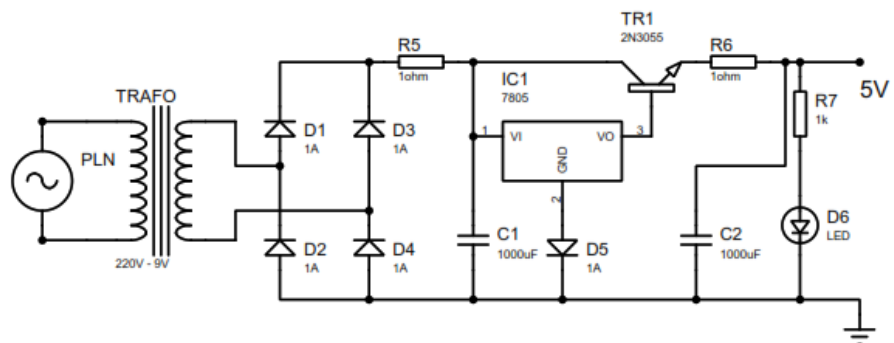
diameter yang sesuai, dilakukan uji panjang nikelin terhadap efisiensi daya yang diubah. Uji ini dilakukan dengan menggunakan kalorimeter untuk mengukur kalor yang dihasilkan dan multimeter untuk mengukur tegangan dan arus yang digunakan. Nikelin dengan panjang yang memiliki prosentase energi per detik terbesar merupakan nikelin yang digunakan pada penelitian ini.

b. Perancangan sistem kontrol

Sistem kontrol yang dirancang merupakan sistem kontrol *loop* tertutup agar saklar dapat *ON-OFF* secara otomatis untuk menyetabilkan suhu. Perancangan ini dilakukan dengan beberapa proses:

- 1) Perancangan adaptor sebagai sumber tegangan DC ( $V_{CC}$ ) sistem kontrol

Perancangan adaptor dilakukan dengan menggunakan rangkaian adaptor seperti pada Gambar 17.



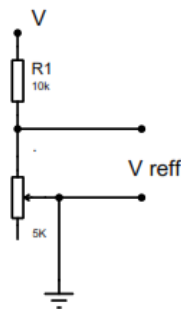
**Gambar 17.** Rangkaian adaptor.

Rangkaian ini menggunakan trafo sebagai *step down* tegangan PLN 220 V AC menjadi 9 V AC. Rangkaian dioda menjadi penyearah gelombang penuh sehingga listrik AC menjadi DC. Kapasitor

digunakan sebagai *filter* agar riak tegangan DC menjadi lebih kecil. Regulator LM7805 digunakan sebagai penyetabil tegangan ke tegangan 5 V DC agar tidak terjadi riak, sedangkan transistor 2N3055 digunakan sebagai penguat arus agar tegangan setelah melewati regulator tidak kekurangan arus.

2) Perancangan rangkaian pembagi tegangan sebagai tegangan referensi ( $V_{ref}$ )

Tegangan referensi digunakan sebagai *setting point* dalam sistem kontrol suhu. Prinsip tegangan referensi ini menggunakan pembagi tegangan, dimana besarnya resistansi pada potensiometer menentukan besarnya tegangan referensi. Skema untuk rangkaian pembagi tegangan pada tegangan referensi dapat dilihat pada Gambar 18:



**Gambar 18.** Skema pembagi tegangan pada tegangan referensi.

Dalam rangkaian ini, besarnya tegangan referensi adalah

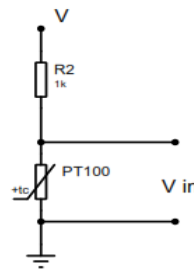
$$V_{ref} = \frac{R_p}{R_1 + R_p} V, \quad (33)$$

dimana  $V_{ref}$  adalah tegangan referensi yang digunakan sebagai *setting point* dalam sistem kontrol,  $R_p$  adalah resistansi potensiometer

yang digunakan untuk mengatur *setting point* agar tegangan referensi setara dengan suhu yang diinginkan,  $R_1$  adalah resistor yang memiliki resistansi tetap dan  $V$  adalah tegangan sumber.

- 3) Perancangan sensor dalam rangkaian pembagi tegangan sebagai tegangan masukan ( $V_{in}$ )

Tegangan masukan digunakan sebagai masukan yang akan dibandingkan dengan tegangan referensi. Tegangan ini berasal dari rangkaian pembagi tegangan yang salah satu resistansinya merupakan sensor PT-100 yang telah dikarakterisasi.



**Gambar 19.** Rangkaian pembagi tegangan sebagai tegangan masukan.

Besarnya tegangan masukan pada Gambar 19 meningkat seiring meningkatnya resistansi dari sensor PT-100. Sedangkan resistansi sensor PT-100 meningkat seiring meningkatnya suhu. Sehingga tegangan masukan akan meningkat ketika suhu meningkat. Nilai tegangan masukan dapat dihitung menggunakan persamaan (34):

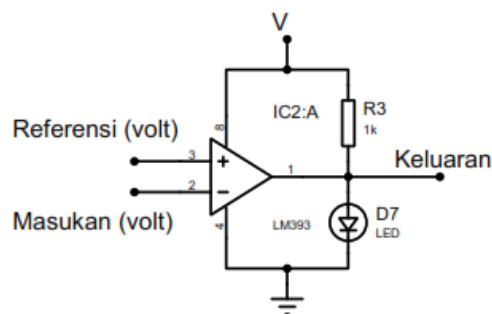
$$V_{in} = \frac{R_S}{R_2 + R_S} V, \quad (34)$$

dimana  $V_{in}$  adalah keluaran dari rangkaian yang nantinya digunakan sebagai tegangan masukan dalam sistem kontrol.  $R_S$  adalah resistansi

sensor PT-100 yang digunakan untuk mengukur suhu malam,  $R_2$  adalah resistor yang memiliki resistansi tetap dan  $V$  adalah tegangan sumber.

4) Perancangan rangkaian komparator sebagai pembanding

Rangkaian komparator merupakan rangkaian pembanding antara tegangan referensi ( $V_{ref}$ ) dan tegangan masukan ( $V_{in}$ ).



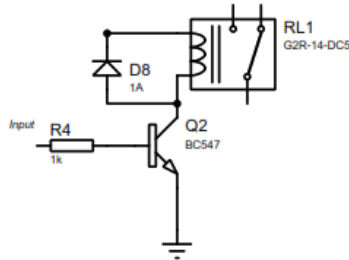
**Gambar 20.** Rangkaian pembanding antara tegangan referensi ( $V_{ref}$ ) dan tegangan masukan ( $V_{in}$ )

Tegangan referensi dihubungkan dengan masukan komparator *non-inverting* atau masukan positif (+), dan tegangan masukan dihubungkan dengan masukan komparator *inverting* atau masukan negatif (-). Apabila tegangan masukan lebih kecil dari pada tegangan referensi, maka komparator akan mengeluarkan sinyal *High* untuk menjadikan saklar *ON* dan LED (D7) menyala. Apabila tegangan masukan lebih besar dari pada tegangan referensi, maka komparator akan mengeluarkan sinyal *Low* untuk menjadikan saklar *OFF* dan LED (D7) tidak menyala.



5) Perancangan saklar transistor dan relay

Rangkaian saklar transistor dan relay adalah rangkaian pengendali arus listrik pada kawat nikelin.



**Gambar 21.** Rangkaian pengendali arus listrik pada kawat nikelin.

Rangkaian ini dirancang agar transistor berada dalam keadaan saturasi ketika adanya sinyal *ON* dari komparator dan berada dalam keadaan *cut-off* ketika adanya sinyal *OFF* dari komparator. Pada saat transistor berada dalam keadaan saturasi, saklar relay tertutup dan nikelin teraliri arus listrik dan ketika dalam keadaan *cut-off*, saklar relay terbuka sehingga nikelin tidak teraliri listrik. Ketika dalam keadaan saturasi, transistor dirancang *hard saturation*, agar saklar lebih stabil.



Gambar 22 menunjukkan bahwa terdapat dua masukan pada komparator yaitu tegangan referensi dan sinyal umpan balik yang merupakan tegangan masukan. Besarnya tegangan masukan dapat berubah seiring dengan perubahan resistansi sensor PT-100 karena adanya perubahan suhu. Dua masukan tegangan pada komparator ini akan dibandingkan dan keluarannya berupa sinyal *error*. Selanjutnya sinyal *error* masuk ke blok saklar yang membuat transistor mencapai titik saturasi dan membuat relay dalam keadaan *ON* atau titik *cut-off* yang membuat relay dalam keadaan *OFF*. Ketika saklar dalam keadaan *ON*, elemen pemanas (kawat nikelin) teraliri listrik dan menghasilkan kalor yang menaikkan suhu malam. Ketika saklar dalam keadaan *OFF*, elemen pemanas (kawat nikelin) tidak teraliri listrik dan tidak menghasilkan kalor.

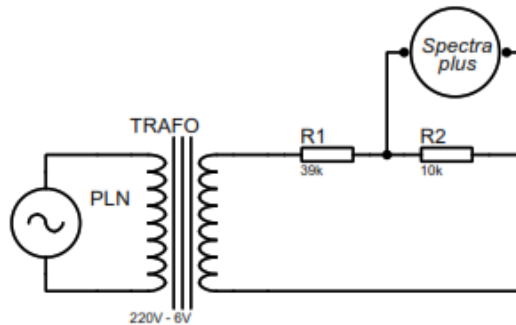
## 2. Tahap Pengujian Alat

Tahap pengujian alat dilakukan untuk menganalisis dan optimalisasi sistem kontrol. Adapun tahap pengujian ini dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

### a. Pengujian tegangan listrik PLN

Pengujian tegangan listrik PLN bertujuan untuk mengukur tegangan listrik PLN dengan menganalisis bentuk gelombang listrik PLN. Analisis dilakukan dengan menggunakan *software* Spectra Plus karena bentuk gelombang listrik PLN tidak sinusoidal ideal. Agar bentuk gelombang dapat terekam menggunakan *software* Spectra Plus, tegangan PLN

diperkecil dengan suatu konstanta dari rangkaian trafo dan pembagi tegangan. Setelah gelombang listrik terekam, dilakukan analisis tegangan RMS.



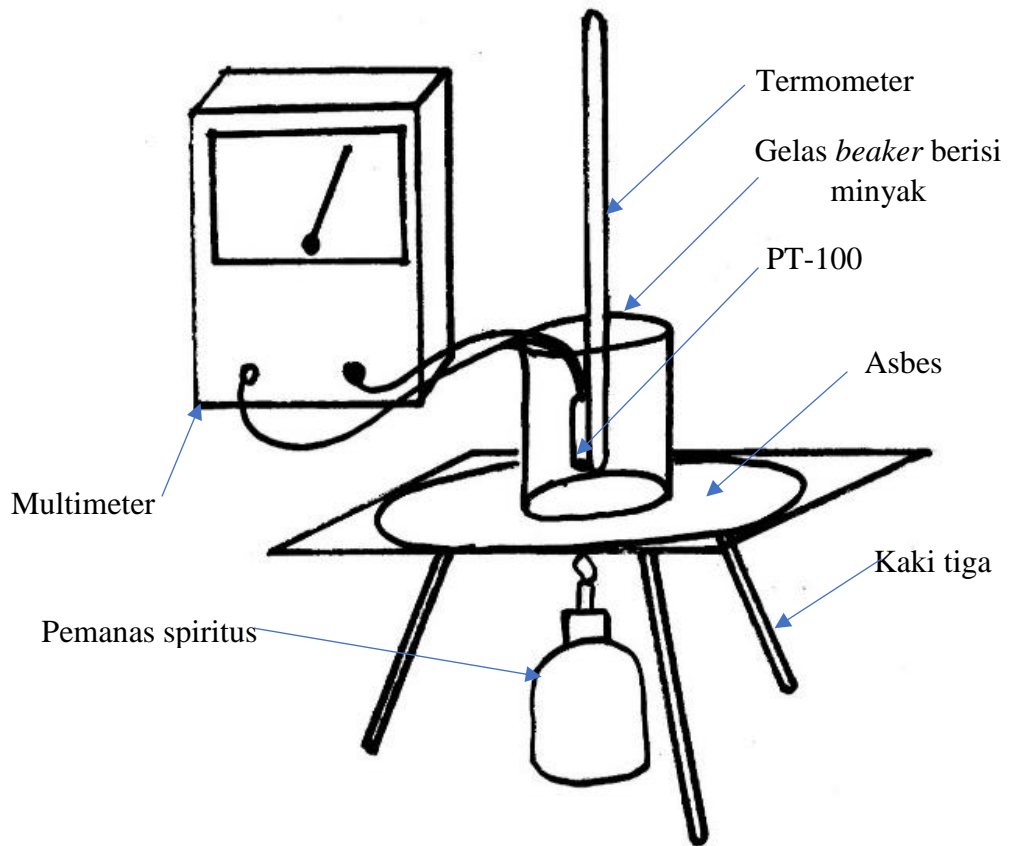
**Gambar 23.** Rangkaian pembagi tegangan PLN.

b. Pengujian Adaptor

Pengujian keluaran adaptor dilakukan untuk mengetahui tegangan listrik DC yang digunakan dalam sistem kontrol. Pengujian ini dilakukan dengan menganalisis setiap keluaran dari komponen dan menguji keluaran adaptor secara keseluruhan. Listrik DC keluaran adaptor ini berperan dalam sistem kontrol karena digunakan sebagai tegangan sumber dalam pembagi tegangan, IC LM393 dan saklar relay.

c. Pengujian sensor

Pengujian sensor dilakukan dengan cara mengukur resistansi sensor terhadap perubahan suhu menggunakan multimeter digital. Suhu yang diukur adalah suhu minyak karena memiliki titik didih yang tinggi sehingga dapat diambil data yang lebih banyak. Pemanasan minyak menggunakan pemanas spiritus seperti yang terlihat pada Gambar 24.



**Gambar 24.** Skema pengujian sensor.

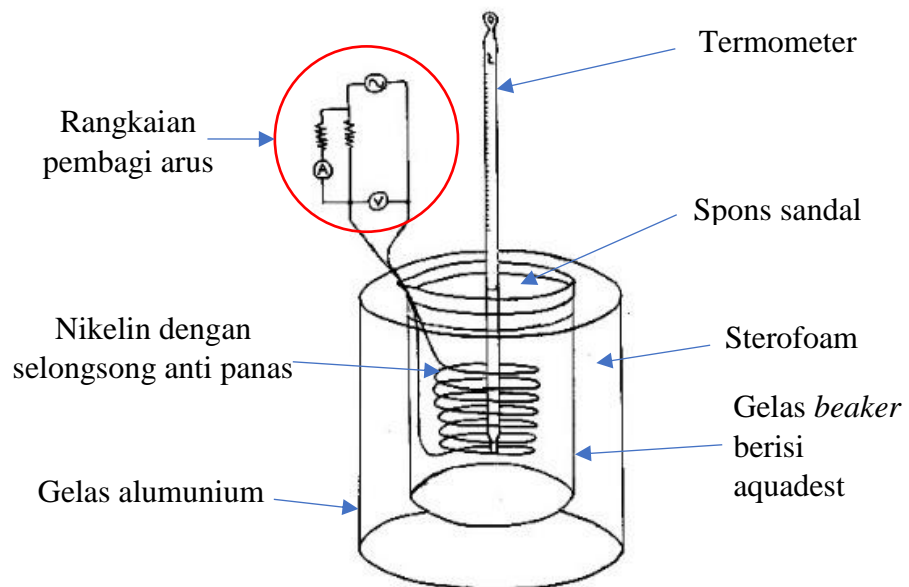
Sedangkan pengukuran suhu dilakukan menggunakan termometer raksa yang memiliki ketelitian  $0,5^{\circ}\text{C}$  dan jangkauan suhu dari  $0^{\circ}\text{C}$  sampai  $300^{\circ}\text{C}$ . Setiap  $5^{\circ}\text{C}$ , resistansi dari sensor PT-100 diukur menggunakan multimeter. Setelah terkumpul data sampai dengan  $150^{\circ}\text{C}$ , data diplot ke dalam bentuk grafik menggunakan *software* OriginPro 8 agar dapat dilihat linieritas dan sensitivitas dari sensor PT-100.

d. Pengujian efisiensi pemanas nikelin

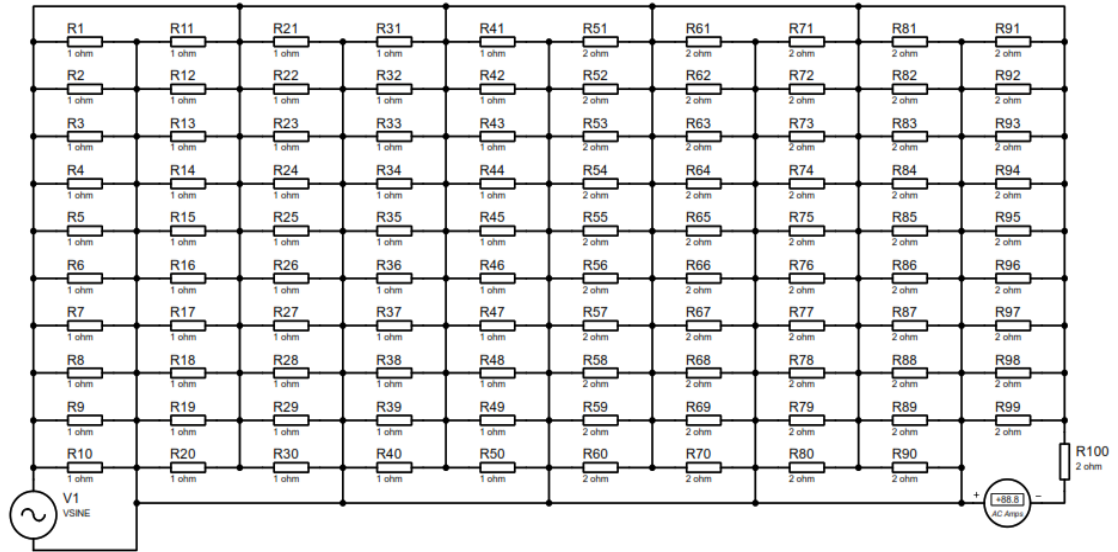
Pengujian efisiensi pemanas nikelin dilakukan agar diketahui nikelin yang paling efisien dari segi ekonomi dan segi energi. Dari segi ekonomi,

nikelin dipilih yang memiliki harga murah. Semakin besar resistansinya semakin murah harganya karena semakin pendek nikelin yang dibutuhkan.

Dari segi energi, nikelin dipilih dengan panjang yang memiliki efisiensi daya terbesar yang dilakukan dengan mengukur daya yang dibutuhkan nikelin dan kalor yang dihasilkan nikelin untuk panjang tertentu. Untuk mengetahui daya yang dibutuhkan nikelin, dilakukan pengukuran tegangan dan arus nikelin. Agar arus bisa diukur, maka dilewatkan rangkaian pembagi arus dengan suatu konstanta agar arus lebih kecil.



(a)



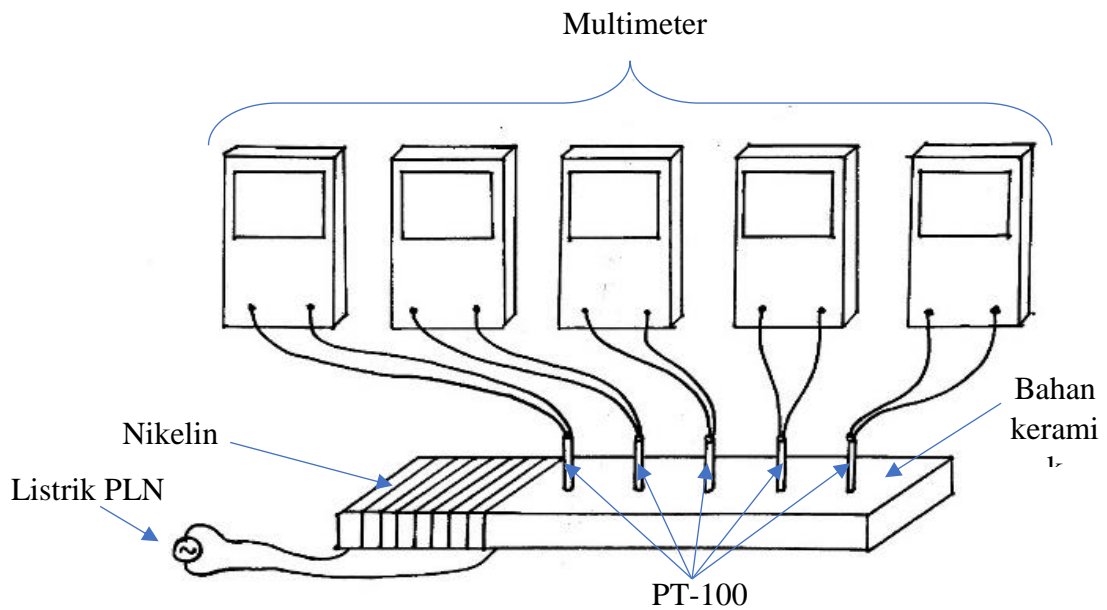
(b)

**Gambar 25.** (a) Skema pengukuran daya nikelin, (b) Skema rangkaian pembagi arus.

Setelah dilakukan pengukuran daya yang dibutuhkan, dilakukan pengukuran kalor yang dihasilkan menggunakan kalorimeter. Kalorimeter ini tersusun dari gelas *beaker* dan dilapisi *sterofoam* dengan ketebalan 2 cm serta ditutup dengan spons dengan ketebalan 1,5 cm dari sandal jepit. Zat cair yang dipanaskan menggunakan nikelin adalah aquadest 150 gram. Dilakukan pengukuran suhu setiap 30 detik agar diketahui kalor yang dihasilkan dari pemanas nikelin. Dengan diketahuinya kalor yang dihasilkan dan daya yang dibutuhkan, maka dapat diketahui efisiensi dari pemanas nikelin dengan berbagai panjang yang berbeda.

e. Pengujian konduktivitas termal keramik

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui konduktivitas termal dari bahan keramik yang akan dijadikan tungku.



**Gambar 26.** Skema uji konduktivitas keramik.

Pengujian ini dilakukan dengan membuat batang keramik dari bahan yang sama dengan tungku keramik. Batang keramik dilubangi setiap 1 cm untuk tempat sensor PT-100, kemudian 0,5 cm sebelum lubang pertama dililitkan pemanas nikelin. Dilakukan pengukuran resistansi PT-100 dari awal nikelin dihubungkan dengan listrik PLN agar diketahui suhu pada titik tersebut setiap 60 detik dengan cara mengambil foto nilai resistansi yang tertera pada multimeter. Kemudian dilakukan analisis data hasil ketika sudah tidak ada lagi perubahan suhu pada salah satu titik (keadaan dimana kalor yang diterima sama dengan kalor yang dilepaskan ke lingkungan).

Untuk mengetahui konduktivitas bahan wajan dilakukan hal yang sama dengan bahan keramik. Ada sedikit perbedaan pada uji konduktivitas termal bahan wajan yaitu nikelin dimasukkan selongsong anti panas agar



nikelin tidak bersentuhan satu sama lain dan agar aliran listrik tidak melalui bahan wajan. Perbedaan lainnya adalah bahan wajan tidak dilubangi tetapi dilipat dan mengapit sensor PT-100.

f. Pengujian sistem kontrol suhu

Untuk mengetahui agar sistem kontrol suhu yang dibuat mampu bekerja dengan baik, maka dilakukan pengujian sistem kontrol melalui pengujian kestabilan suhu bahan malam dan kestabilan saklar relay. Pengujian ini dilakukan dengan merangkai sistem secara keseluruhan. Kemudian menghidupkan sistem serta mencatat suhu bahan malam dan kestabilan *ON-OFF* saklar relay setiap 1 menit.

#### **D. Teknik Analisis Data**

##### **1. Analisis Karakteristik Komponen**

Mendefinisikan karakteristik keluaran terhadap karakteristik masukan dari masing-masing komponen yang digunakan sesuai dasar teori. Analisis ini digunakan agar tepat dalam pemilihan komponen.

##### **2. Analisis Fungsi Transfer**

Mendefinisikan masing-masing masukan dan keluaran komponen sistem untuk merumuskan fungsi transfernya. Fungsi transfer setiap komponen saling dihubungkan sesuai dengan bentuk diagram blok sistem hingga diperoleh fungsi transfer sistem kontrol kompor batik listrik.

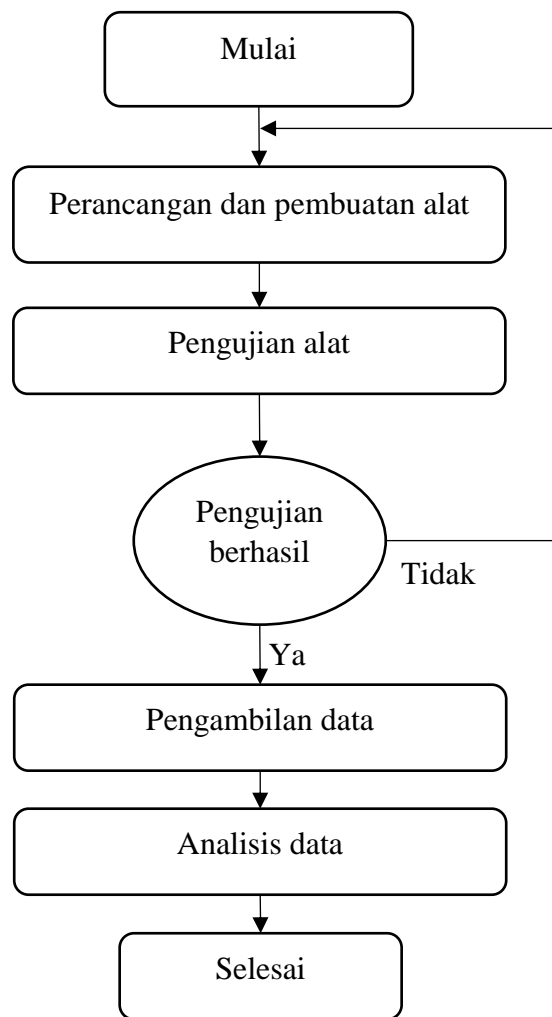
##### **3. Analisis Diagram Blok**

Setelah diketahui fungsi transfer masing-masing komponen sistem kontrol suhu kompor batik listrik secara keseluruhan, maka selanjutnya

adalah menggambar diagram blok sistem sesuai dengan prinsip kerja dan rangkaian sistem kontrol kompor batik listrik.

### E. Diagram Alir Tahapan Penelitian

Secara umum diagram alir tahapan penelitian dapat digambarkan seperti pada Gambar 27.

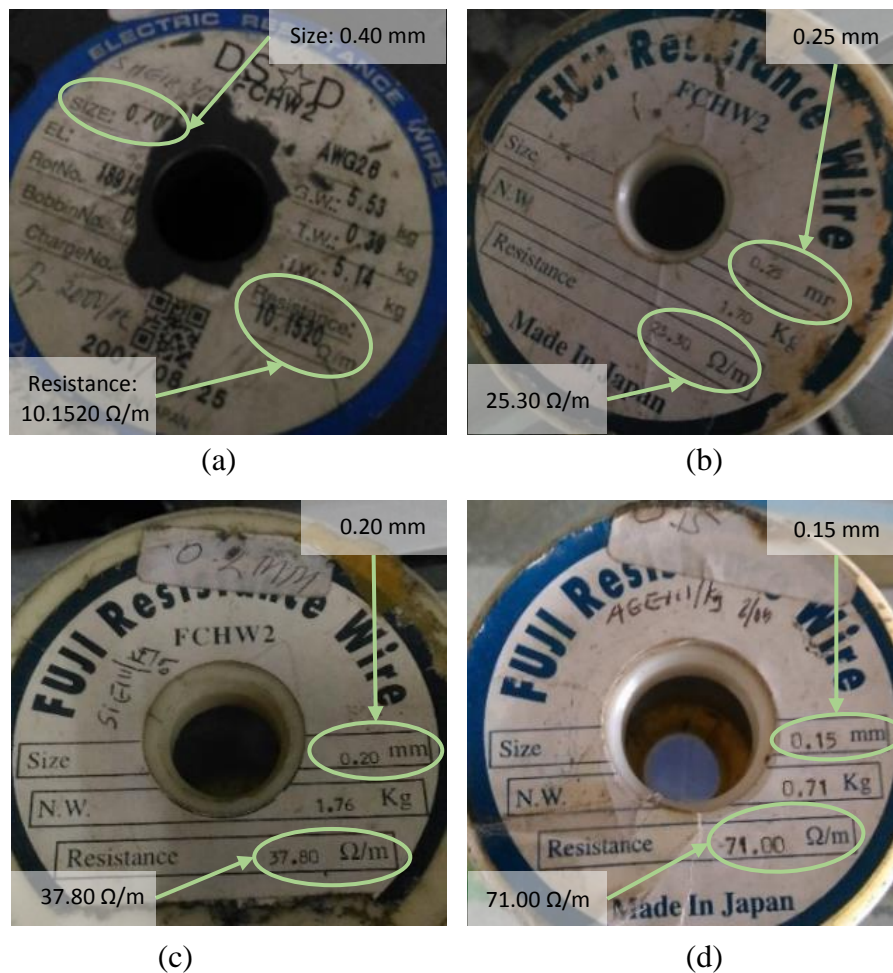


**Gambar 27.** Diagram alir tahapan penelitian.

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Pemilihan Nikelin

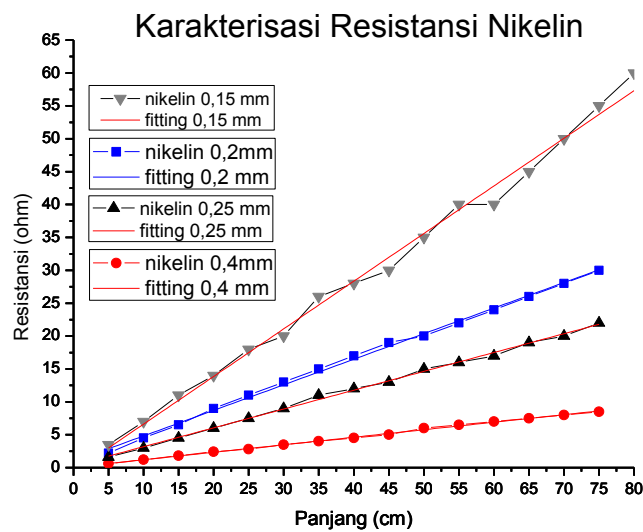
Nikelin yang dipilih adalah nikelin yang memiliki resistansi terbesar diantara nikelin yang beredar di pasaran. Pemilihan resistansi terbesar ini dilakukan untuk menghemat panjang nikelin yang diperlukan dengan daya yang sama ketika dialiri listrik.



**Gambar 28** (a) Spesifikasi nikelin diameter 0,4 mm, (b) spesifikasi nikelin diameter 0,25 mm, (c) spesifikasi nikelin diameter 0,2 mm, (d) spesifikasi nikelin diameter 0,15 mm (dokumentasi peneliti).

Gambar 28 merupakan spesifikasi nikelin yang digunakan yaitu nikelin dengan diameter  $(0,150 \pm 0,005)$  mm , nikelin dengan diameter  $(0,200 \pm 0,005)$  mm, nikelin dengan diameter  $(0,250 \pm 0,005)$  mm dan nikelin dengan diameter  $(0,400 \pm 0,005)$  mm.

Berdasarkan pengukuran didapatkan grafik hubungan resistansi terhadap panjang nikelin dari berbagai ukuran diameter sebagai berikut:



**Gambar 29.** Grafik resistansi terhadap panjang nikelin untuk berbagai ukuran diameter.

Tabel 3. Persamaan pada Gambar 29 untuk nikelin diameter 0,4 mm.

Equation	$y = a + b \cdot x$	
Adj. R-Square	0,99787	
	Value	Standard Error
Intercept	0,04571	0,06413
Slope	0,11436	0,00141

Tabel 4. Persamaan pada Gambar 29 untuk nikelin diameter 0,25 mm.

Equation	$y = a + b \cdot x$	
Adj. R-Square	0,9978	
	Value	Standard Error
Intercept	0,3219	0,1632
Slope	0,28629	0,00359

Tabel 5. Persamaan pada Gambar 29 untuk nikelin diameter 0,2 mm.

Equation	$y = a + b \cdot x$	
Adj. R-Square	0,99778	
	Value	Standard Error
Intercept	0,93429	0,22256
Slope	0,38864	0,0049

Tabel 6. Persamaan pada Gambar 29 untuk nikelin diameter 0,15 mm.

Equation	$y = a + b \cdot x$	
Adj. R-Square	0,99329	
	Value	Standard Error
Intercept	-0,625	0,74301
Slope	0,72426	0,01537

Dari *fitting* linier Gambar 29, diketahui resistansi nikelin berdiameter 0,4 mm adalah  $(0,114 \pm 0,001) \Omega / \text{cm}$ , resistansi nikelin berdiameter 0,25 mm adalah  $(0,286 \pm 0,004) \Omega / \text{cm}$ , resistansi nikelin berdiameter 0,2 mm adalah  $(0,389 \pm 0,005) \Omega / \text{cm}$ , dan resistansi nikelin berdiameter 0,15 mm yaitu  $(0,72 \pm 0,02) \Omega / \text{cm}$ . Sehingga semakin kecil diameter nikelin, semakin besar nilai resistansinya. Hal ini sesuai dengan teori (persamaan (14)) yaitu resistansi berbanding terbalik terhadap luas penampang,

$$R = \rho \frac{l}{A}.$$

Dengan memilih nikelin yang berdiameter 0,15 mm, menggunakan persamaan (14) tersebut dapat diketahui nilai resistansi jenis ( $\rho$ ) nikelin yang digunakan

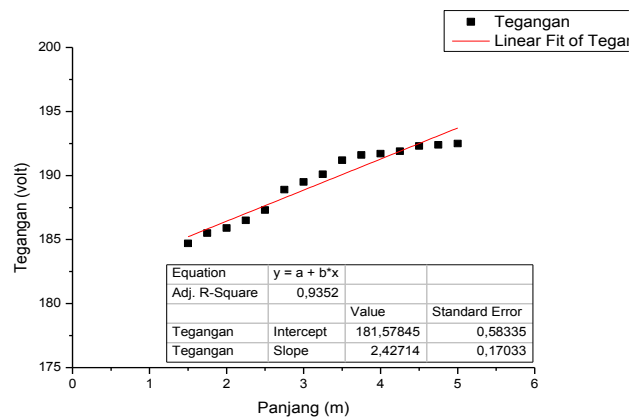
$$\rho = R \frac{A}{l}$$

$$\rho = 72 \frac{\pi (7,5 \cdot 10^{-5})^2}{1}$$

$$\rho = (1,3 \pm 0,2) \cdot 10^{-6} \Omega\text{m.}$$

Resistansi jenis nikelin adalah  $(1,3 \pm 0,2) \cdot 10^{-6} \Omega\text{m}$ , sehingga nikelin yang digunakan bukan nikelin murni, melainkan nikelin yang dicampur dengan bahan lain, karena berdasarkan Tabel 2, nikelin murni memiliki resistansi jenis  $6,8 \cdot 10^{-8} \Omega\text{m}$ .

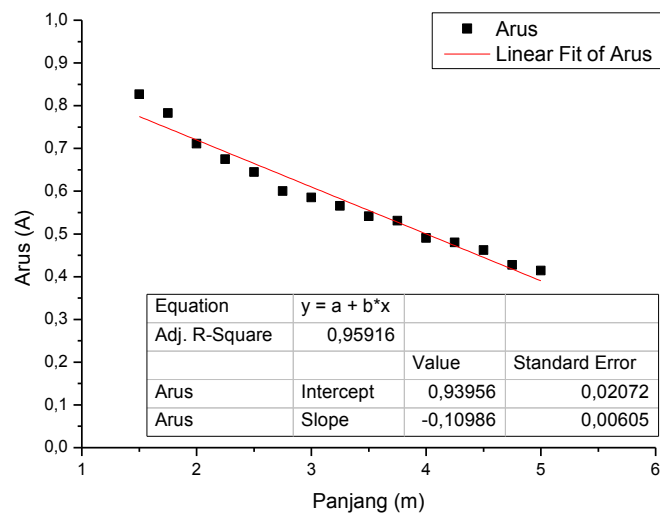
Untuk mengukur energi listrik yang dibutuhkan nikelin ketika teraliri listrik diperlukan data tegangan dan arus yang melewatinya. Walaupun menggunakan energi dari listrik PLN, dengan beban nikelin membuat tegangan listrik PLN yang memiliki daya 450 watt di rumah peneliti menjadi *down* sehingga menjadi kurang dari 220 volt.



**Gambar 30.** Hubungan tegangan PLN terhadap panjang nikelin.

Dari Gambar 30, diketahui bahwa nilai gradien dari hubungan tegangan terhadap panjang adalah  $(2,4 \pm 0,2)$  volt/m. Hal ini disebabkan karena semakin pendek nikelin yang digunakan, semakin kecil pula resistansi nikelinnya. Resistansi nikelin yang semakin kecil sebanding dengan resistansi kabel yang digunakan, sehingga ketika teraliri listrik, kabel yang merupakan serabut tembaga juga akan menimbulkan panas dan tegangan listrik semakin menjauhi nilai 220 volt.

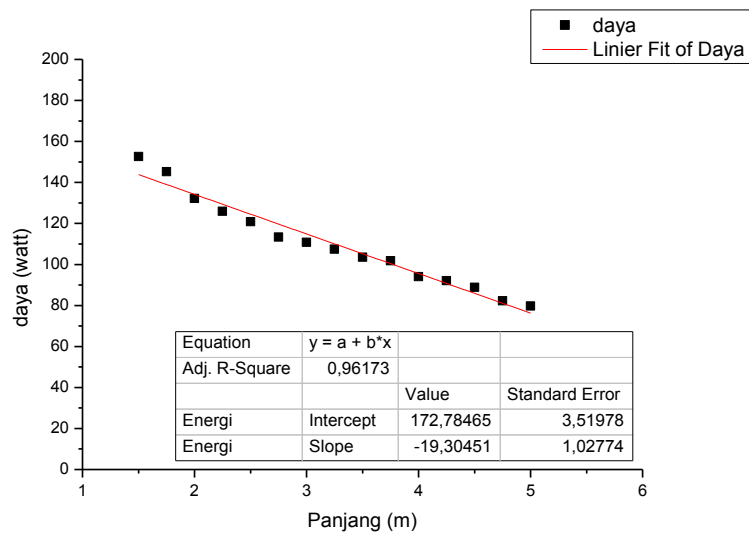
Agar daya yang dibutuhkan dapat diketahui, maka diperlukan data arus yang melewati nikelin. Pengukuran arus dilakukan dengan menggunakan pembagi arus, karena arus terlalu besar dan dapat merusak multimeter. Besarnya konstanta pengali arus yang digunakan adalah 150. Dengan demikian nilai arus yang terbaca adalah  $1/150$  dari nilai arus yang terukur dan besarnya arus dapat dilihat pada Gambar 31.



**Gambar 31.** Hubungan arus terhadap panjang nikelin.

Dari Gambar 31, diketahui bahwa gradien hubungan antara arus terhadap panjang nikelin adalah  $-(0,110 \pm 0,006)$  A/m, sehingga semakin panjang nikelin yang digunakan, arus yang digunakan akan semakin kecil.

Dengan diketahui nilai tegangan dan nilai arus listrik PLN yang digunakan pada nikelin, maka dapat diketahui daya listrik yang dibutuhkan ketika nikelin teraliri arus. Besarnya daya listrik yang dibutuhkan adalah sebagai berikut:



**Gambar 32.** Hubungan antara daya yang dibutuhkan terhadap panjang nikelin.

Hubungan antara daya dan panjang dari nikelin tersebut menghasilkan gradien kemiringan  $(19 \pm 1)$  watt/m, sehingga setiap pertambahan panjang 1 meter, daya yang diperlukan akan turun sebesar  $(19 \pm 1)$  watt.

Resistansi nikelin ketika dialiri listrik berbeda dari resistansi sebelum dialiri listrik PLN. Perbedaan ini diakibatkan suhu nikelin yang meningkat sangat tinggi. Peningkatan resistansi nikelin ini memberikan keuntungan karena daya listrik yang digunakan menjadi kecil. Akan tetapi apabila nikelin yang digunakan terlalu pendek, arus yang melewati nikelin juga meningkat, sehingga



kabel listrik yang digunakan juga akan membuang energi sebagai kalor yang ditunjukkan dengan suhu kabel yang meningkat. Pelepasan energi dalam bentuk kalor dari kabel ini merugikan sehingga perlu digunakan panjang nikelin yang tepat.

Untuk menentukan panjang nikelin yang tepat, maka perlu diketahui energi listrik yang diubah dalam bentuk kalor. Untuk mengetahui kalor yang dihasilkan dapat dilakukan dengan memanaskan air (H<sub>2</sub>O) menggunakan nikelin di dalam suatu kalorimeter. Kalorimeter tersebut tersusun atas lapisan kaca pyrex dengan tebal 3 mm dan sterofom dengan tebal 2 cm serta penutup dengan spons sandal jepit setebal 1,5 cm, sehingga isolasinya cukup baik.

Dengan menggunakan persamaan (18), energi kalor yang dihasilkan dapat dihitung dari persamaan:

$$Q = mc \Delta T$$

Karena energi kalor yang digunakan berasal dari listrik maka persamaan (18) dapat diubah menjadi persamaan berikut:

$$4,18392 k W_{kalor} = 4,18392 k P_{kalor} \Delta t = m c \Delta T$$

$k$  = konstanta energi yang diubah dalam kalor.

$W_{kalor}$  = energi yang diubah dalam kalor (joule)

$P_{kalor}$  = energi yang diubah dalam kalor setiap detik (joule per detik = watt)

$\Delta t$  = waktu yang dibutuhkan (detik)

$m$  = massa aquades (150 g)

$c$  = kalor jenis aquades (1 kal/g°C)

$\Delta T$  = selisih suhu (°C)

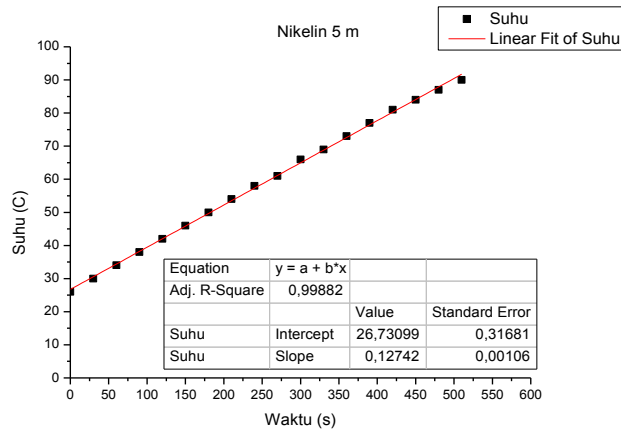
sehingga dapat diketahui hubungan perubahan suhu terhadap perubahan waktu

$$\Delta T = \frac{4,183992 P_{kalor}}{m c} k \Delta t$$

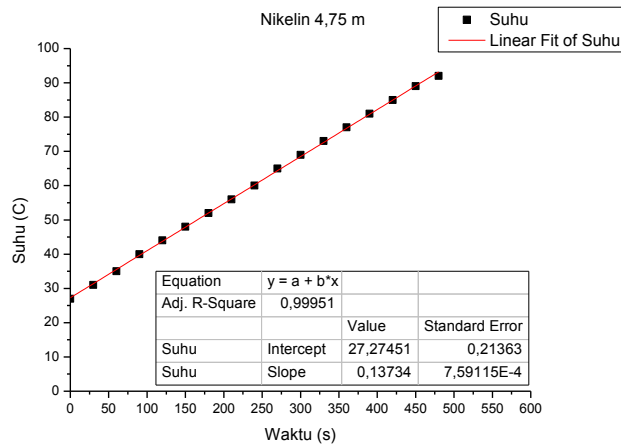
$$Slope = \frac{4,183992 P_{kalor}}{m c} k$$

$$P_{kalor} = \frac{slope m c}{4,18392 k} \quad (35)$$

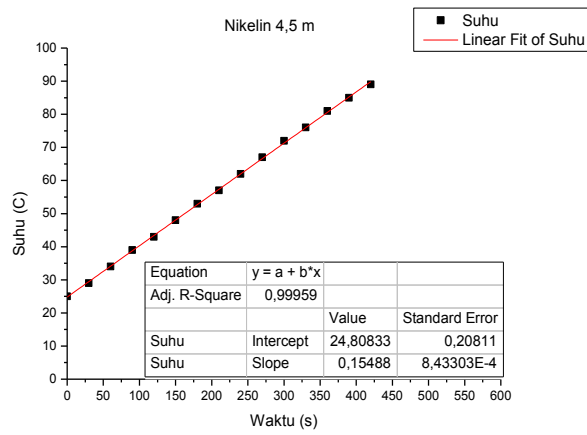
Dari hasil *fitting* data antara perubahan suhu dan perubahan waktu didapatkan data sebagai berikut:



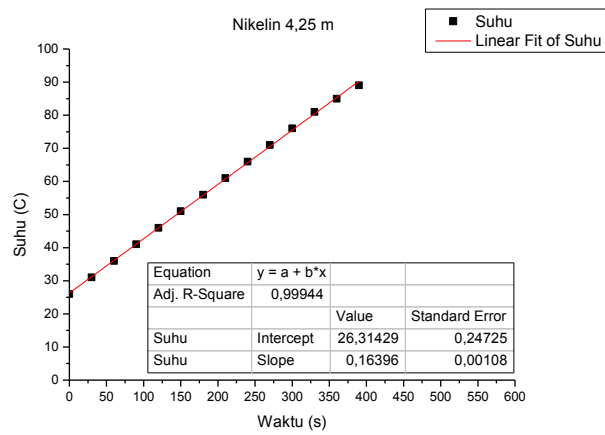
**Gambar 33.** Hubungan suhu terhadap waktu untuk nikelin 5 m.



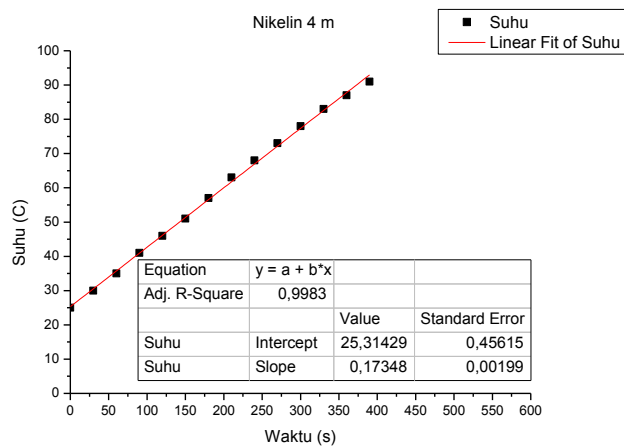
**Gambar 34.** Hubungan suhu terhadap waktu untuk nikelin 4,75 m.



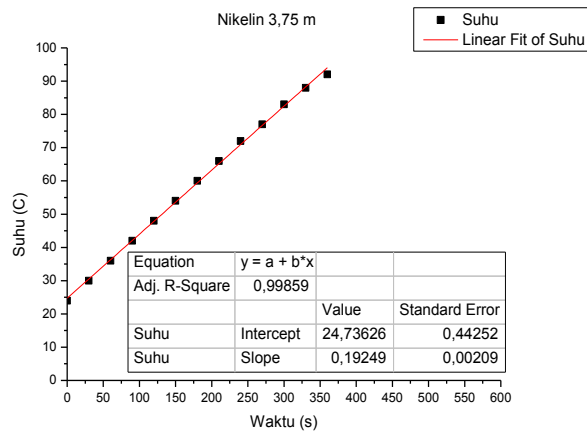
**Gambar 35.** Hubungan suhu terhadap waktu untuk nikelin 4,5 m



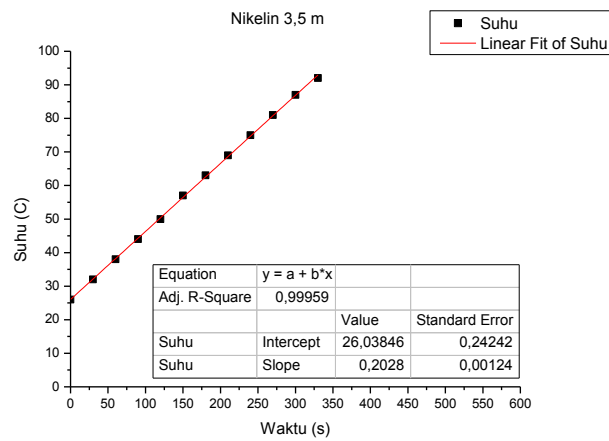
**Gambar 36.** Hubungan suhu terhadap waktu untuk nikelin 4,25 m



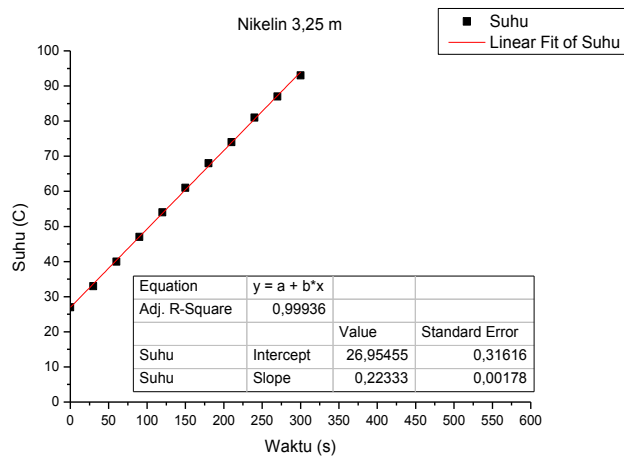
**Gambar 37.** Hubungan suhu terhadap waktu untuk nikelin 4 m



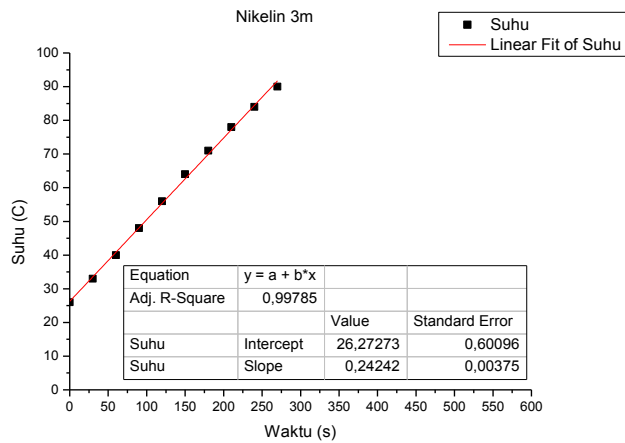
**Gambar 38.** Hubungan suhu terhadap waktu untuk nikelin 3,75 m



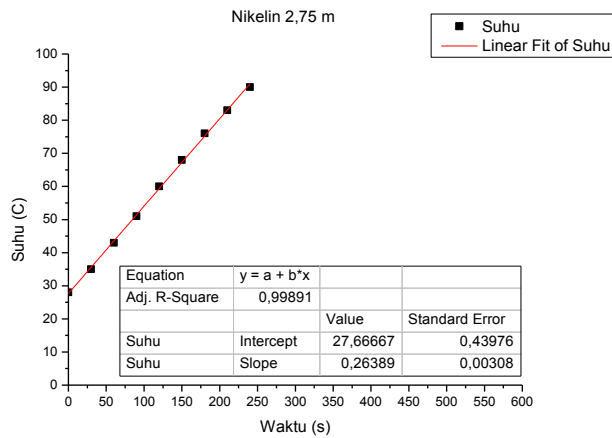
**Gambar 39.** Hubungan suhu terhadap waktu untuk nikelin 3,5 m



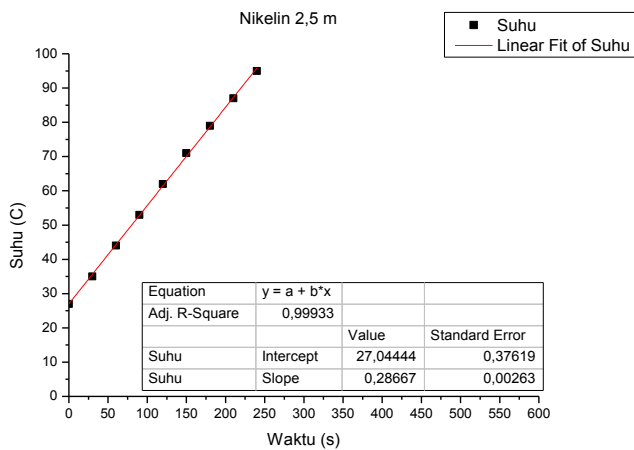
**Gambar 40.** Hubungan suhu terhadap waktu untuk nikelin 3,25 m



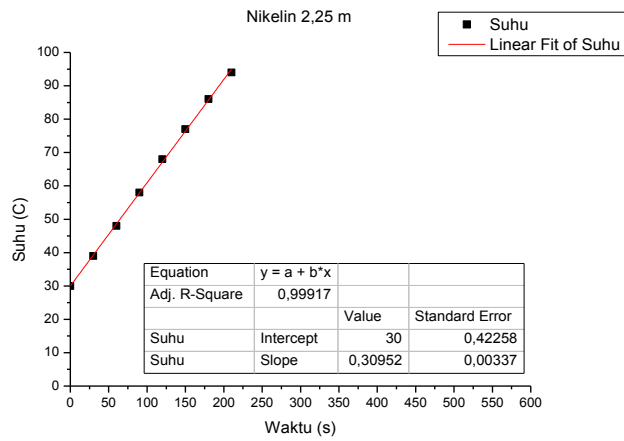
**Gambar 41.** Hubungan suhu terhadap waktu untuk nikelin 3 m



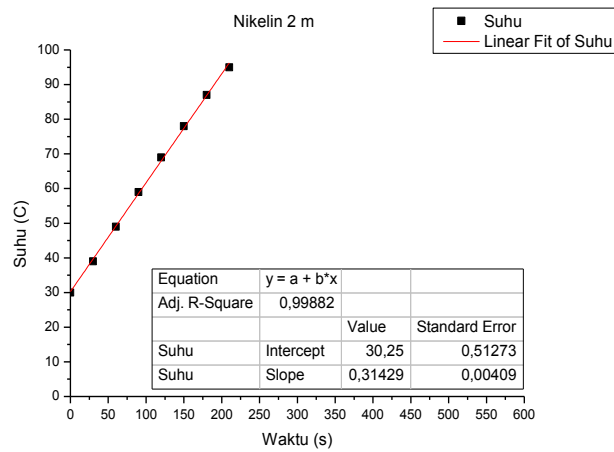
**Gambar 42.** Hubungan suhu terhadap waktu untuk nikelin 2,75 m



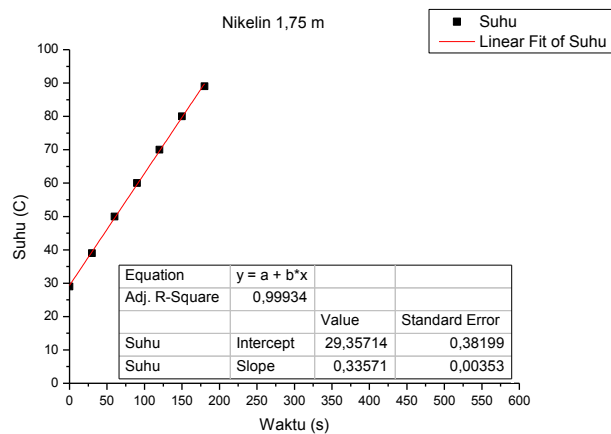
**Gambar 43.** Hubungan suhu terhadap waktu untuk nikelin 2,5 m



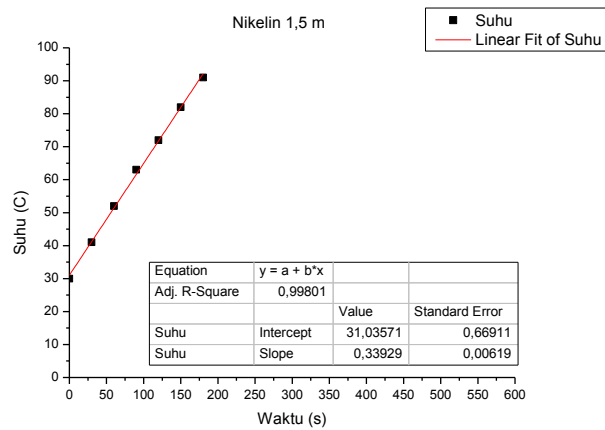
**Gambar 44.** Hubungan suhu terhadap waktu untuk nikelin 2,25 m



**Gambar 45.** Hubungan suhu terhadap waktu untuk nikelin 2 m

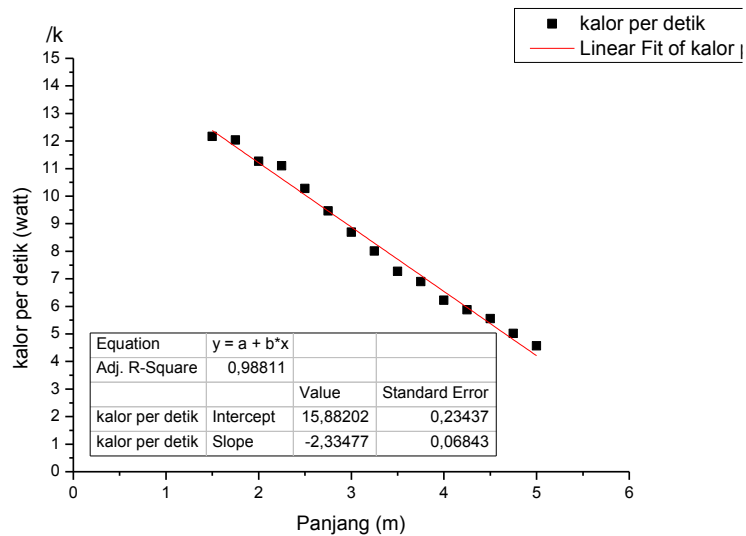


**Gambar 46.** Hubungan suhu terhadap waktu untuk nikelin 1,75 m



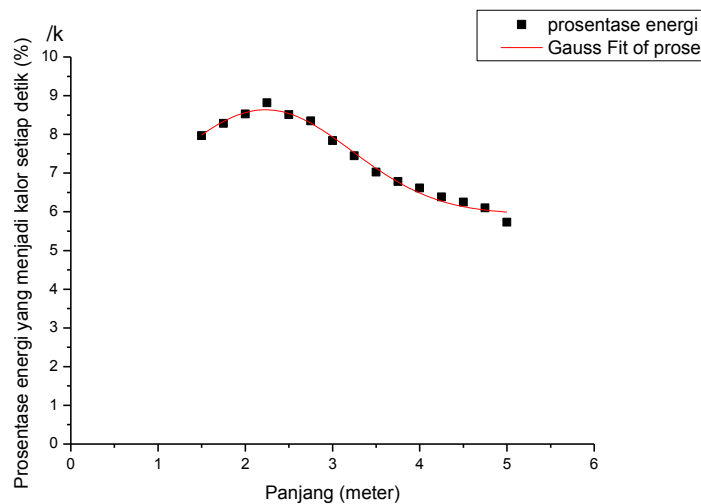
**Gambar 47.** Hubungan suhu terhadap waktu untuk nikelin 1,5 m

Sehingga dengan diketahui *slope* dari masing-masing panjang nikelin tersebut, dapat dilakukan perhitungan energi yang diubah dalam bentuk kalor setiap detik menggunakan persamaan (35). Gambar 48 menunjukkan hubungan panjang nikelin dengan energi yang diubah ke dalam kalor setiap detik.



**Gambar 48.** Energi yang menjadi kalor setiap detik terhadap panjang nikelin.

Dengan demikian prosentase energi yang diubah dalam bentuk kalor setiap detik dapat ditampilkan dalam Gambar 49.



**Gambar 49.** Prosentase energi yang diubah menjadi kalor setiap detik.

Persamaan untuk Gambar 49 dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Persamaan hasil *fitting* Gambar 49.

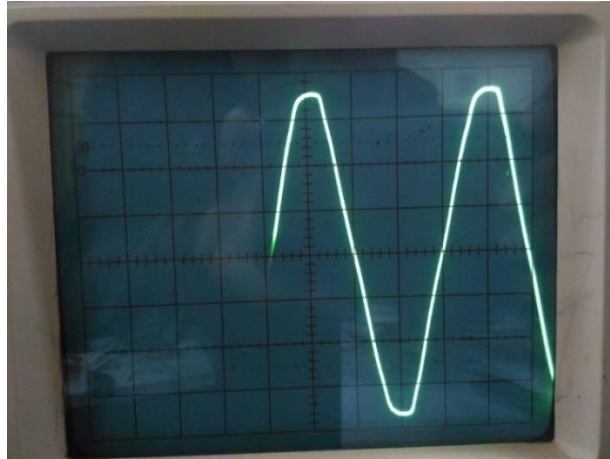
Equation	$y=y_0 + (A/(w*\text{sqrt}(\text{PI}/2)))*\text{exp}(-2*((x-xc)/w)^2)$	
Adj. R-Square	0,98444	
	Value	Standard Error
y0	5,9408	0,10106
Xc	2,23154	0,04083
W	1,97519	0,13071
A	6,67141	0,58915
Sigma	0,9876	
FWHM	2,32561	
Height	2,69493	

Berdasarkan hasil *fitting* tersebut, nilai puncak dari prosentase efisiensi adalah pada panjang  $(2,23 \pm 0,04)$  m. Dari data *fitting* tersebut panjang kawat nikelin yang dipilih untuk menjadi sumber pemanas kompor batik listrik ini adalah 2,23 m. Pada saat panjang kurang dari 2,23 m, energi listrik juga hilang melalui kabel yang ikut memanaskan karena arus yang relatif tinggi, namun pada saat panjang nikelin lebih dari 2,23 m energi listrik pada nikelin yang diubah dalam kalor belum maksimal.



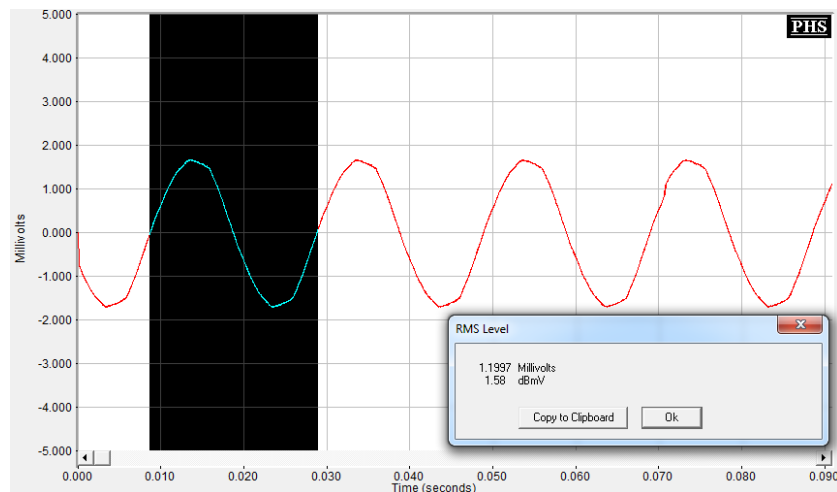
## B. Tegangan AC PLN

Listrik AC PLN memiliki bentuk gelombang yang mendekati sinusoidal seperti pada Gambar 50.



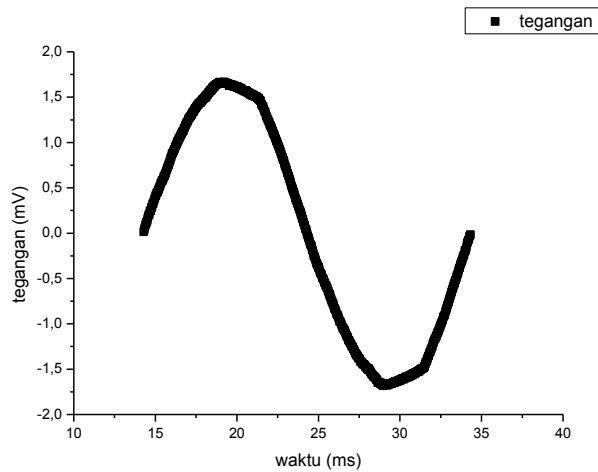
**Gambar 50.** Gelombang listrik PLN.

Untuk melihat lebih detail gelombang listrik PLN ketika diberi beban nikelin 2,23 meter, gelombang listrik PLN tersebut dihubungkan dengan rangkaian trafo dan pembagi tegangan. Tegangan keluaran tersebut dihubungkan dengan laptop dan direkam dengan menggunakan *software* SpectraPlus yang telah dikalibrasi. Hasil rekam sinyal listrik PLN ditunjukkan dalam Gambar 51.



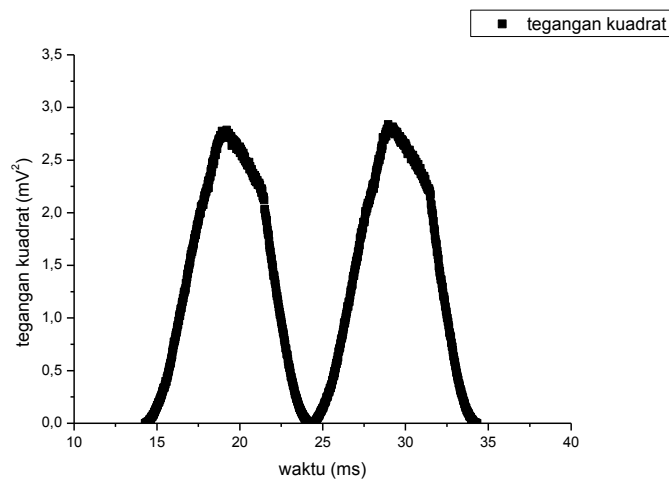
**Gambar 51.** Listrik PLN direkam menggunakan *software* SpectraPlus.

Gambar 51 merupakan tegangan keluaran dari rangkaian pembagi tegangan setelah listrik PLN dihubungkan dengan tegangan sekunder trafo *step down*. *Software* SpectraPlus telah menunjukkan nilai RMS sebesar 1,9997 mV. Untuk mengetahui nilai RMS secara perhitungan, maka diambil satu periode dari gelombang listrik PLN tersebut:



**Gambar 52.** Satu periode gelombang listrik PLN yang terekam.

Data tersebut dikuadratkan dan menjadi dua buah gelombang positif sebagai berikut:



**Gambar 53.** Satu periode gelombang listrik PLN yang dikuadratkan.

Besarnya tegangan RMS (*Root Mean Square*) dari tegangan AC PLN dapat dihitung menggunakan persamaan (36), sehingga:

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T V(t)^2 dt} \quad (36)$$

Jika integral pada persamaan (36) diubah dalam bentuk penjumlahan menjadi:

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{t=0}^{t=T} V(t)^2 \Delta t} \quad (37)$$

Berdasarkan persamaan (37) tersebut, besarnya tegangan RMS listrik PLN yang terbaca oleh *software* SpectraPlus menurut perhitungan adalah 1,994 mV, sehingga besarnya sinyal listrik PLN apabila dikalikan dengan konstanta pembanding pada Tabel 8 adalah sebagai berikut:

Tabel 8. Perbandingan tegangan PLN.

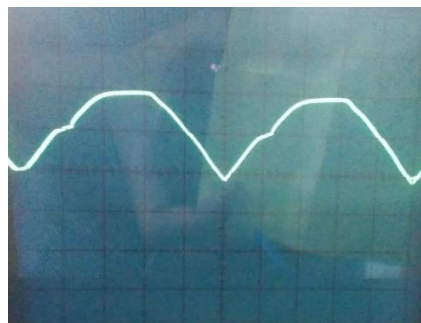
<b>Pembanding Sumber Tegangan</b>	<b>Konstanta Pembanding Terkalibrasi</b>	<b>Besar Nilai Tegangan (volt)</b>
$\frac{\text{PLN}}{\text{Trafo}}$	36,67	$\frac{186,295}{5,08}$
$\frac{\text{Trafo}}{\text{Pembagi Tegangan}}$	101,00	$\frac{5,08}{0,05}$
$\frac{\text{Pembagi Tegangan}}{\text{Spectra Plus}}$	41,67	$\frac{0,05}{0,0012}$

Nilai *tegangan* listrik PLN yang terukur menggunakan persamaan tegangan RMS dan pembagi tegangan adalah 186,3 volt. Nilai tersebut mendekati nilai yang terukur pada multimeter yaitu  $(186,30 \pm 0,05)$  volt. Dengan demikian besarnya tegangan RMS ketika tidak diberi beban nikelin dapat diukur

langsung menggunakan multimeter. Besarnya tegangan RMS ketika tidak terbebani nikelin adalah  $(218,90 \pm 0,05)$  volt. Tegangan yang terukur kurang dari 220 volt karena sumber listrik rumah peneliti hanyalah 450 watt dan terbebani listrik dari peralatan elektronika yang dinyalakan atau tidak benar-benar dimatikan seperti TV, radio, DVD dan *loudspeaker*. Selain itu kabel yang digunakan dalam instalasi listrik di rumah peneliti panjang dan banyak sambungan serta memiliki kualitas yang rendah, sehingga mengakibatkan hambatan peralatan elektronika sebanding dengan kabel yang digunakan.

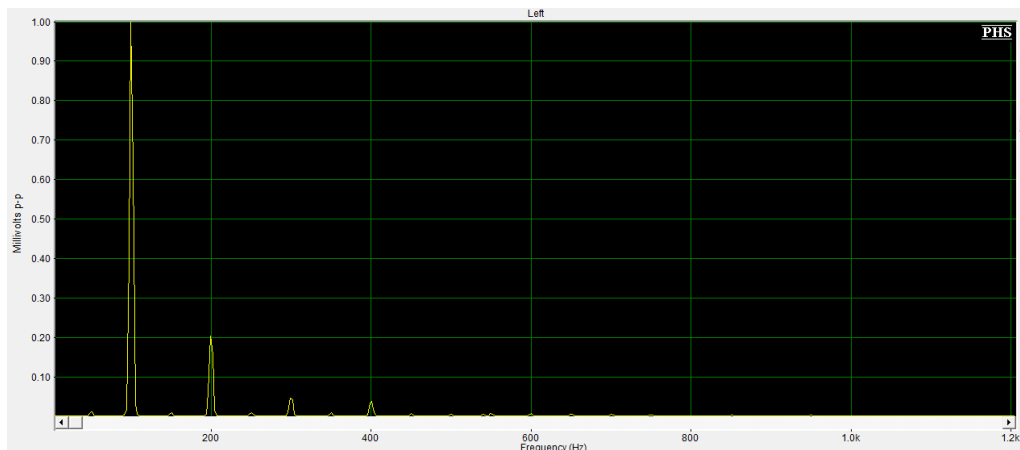
### C. Adaptor

Adaptor merupakan suatu alat konversi listrik AC menjadi listrik DC. Listrik DC yang diperoleh digunakan sebagai sumber tegangan dalam sistem kontrol seperti pembagi tegangan, komparator, transistor dan saklar relay. Trafo yang digunakan untuk membuat adaptor ini adalah trafo dengan arus maksimum 1 A. Dengan masukan listrik PLN 218,90 volt trafo ini memiliki keluaran tegangan sekunder sebesar 8,98 volt AC. Ketika keluaran adaptor dihubungkan dengan dioda penyearah, didapatkan keluaran dioda adalah sebagai berikut:



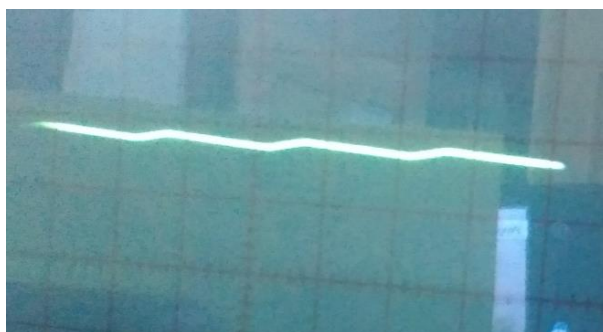
**Gambar 54.** Gelombang penuh setelah jembatan dioda penyearah.

Dari Gambar 54 di atas dapat diamati bahwa keluaran dari rangkaian dioda penyearah sudah menghasilkan gelombang penuh. Dengan menggunakan *software* Spectra Plus, maka spektrum frekuensi dapat diamati pada Gambar 55 berikut:



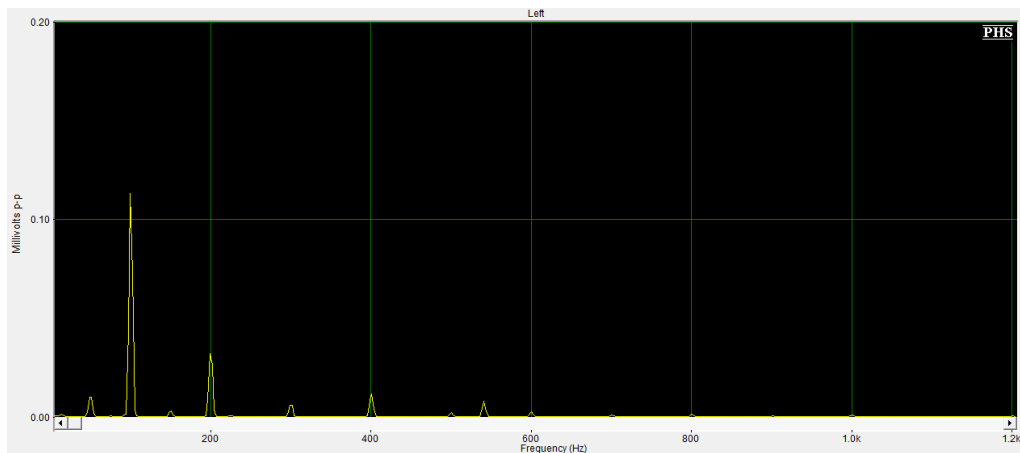
**Gambar 55.** Spektrum frekuensi gelombang penuh.

Spektrum frekuensi gelombang penuh ini tidak hanya memiliki frekuensi tunggal tetapi memiliki banyak frekuensi yang bernilai 51,14 Hz dan kelipatannya. Sehingga keluaran rangkaian dioda penyearah dihubungkan dengan rangkaian *low pass filter*. *Low pass filter* akan menyaring frekuensi tinggi dan meloloskan frekuensi rendah. Keluaran dari *low pass filter* ini adalah tegangan dengan *ripple* seperti Gambar 56 di bawah ini.



**Gambar 56.** Gelombang DC setelah *low pass filter*.

Gambar 56 merupakan gelombang DC yang telah melewati *low pass filter* menggunakan kapasitor 1000  $\mu\text{F}$  dan resistor 1  $\Omega$ . Dengan menggunakan *software* SpectraPlus, diperoleh spektrum frekuensi gelombang DC setelah *low pass filter* seperti pada Gambar 57:

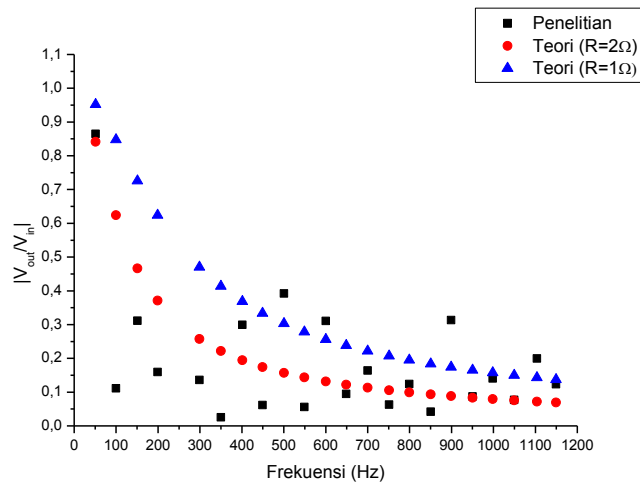


**Gambar 57.** Spektrum frekuensi gelombang penuh setelah *low pass filter*.

Gambar 57 menunjukkan adanya penurunan nilai amplitudo pada semua frekuensi. Penurunan amplitudo ini dapat diprediksi dengan menggunakan analisis secara teori. Pada teori *low pass filter*, rasio amplitudo keluaran terhadap masukan dapat dihitung menggunakan persamaan (38):

$$\left| \frac{V_{filter}}{V_{gel.penuh}} \right| = \frac{1}{\sqrt{1 + (2\pi fRC)^2}} \quad (38)$$

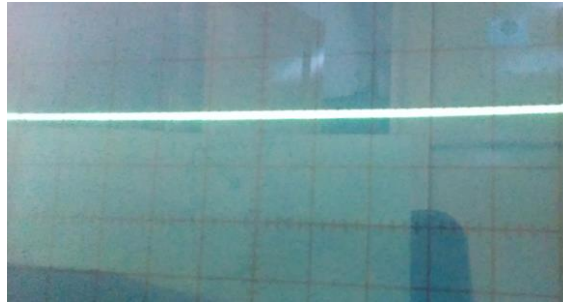
Rasio amplitudo gelombang penuh dan gelombang keluaran dari *low pass filter* secara teori dan penelitian disajikan pada Gambar 58.



**Gambar 58.** Rasio amplitudo tegangan keluaran terhadap tegangan masukan terhadap spektrum frekuensi gelombang penuh.

Dari Gambar 58, dapat diketahui bahwa semakin tinggi frekuensinya, semakin rendah rasio tegangan *filter* per tegangan gelombang penuhnya. Sehingga tegangan yang telah mengalami *low pass filter* lebih baik dibandingkan tegangan penuh sebelum diberikan rangkaian *low pass filter*. Ada perbedaan antara rasio tegangan *filter* per tegangan gelombang penuhnya terhadap frekuensi. Pada penelitian nilai dari rasio-nya tidak menunjukkan pola yang sama dengan teori. Hal ini disebabkan karena suhu meningkat sehingga resistansi resistor juga meningkat.

Untuk membuat tegangan lebih stabil, perlu ditambahkan regulator. Regulator yang digunakan adalah LM7805. Dengan regulator ini, keluaran tegangan DC sebesar 5,32 volt.



**Gambar 59.** Keluaran transistor 2N3055.

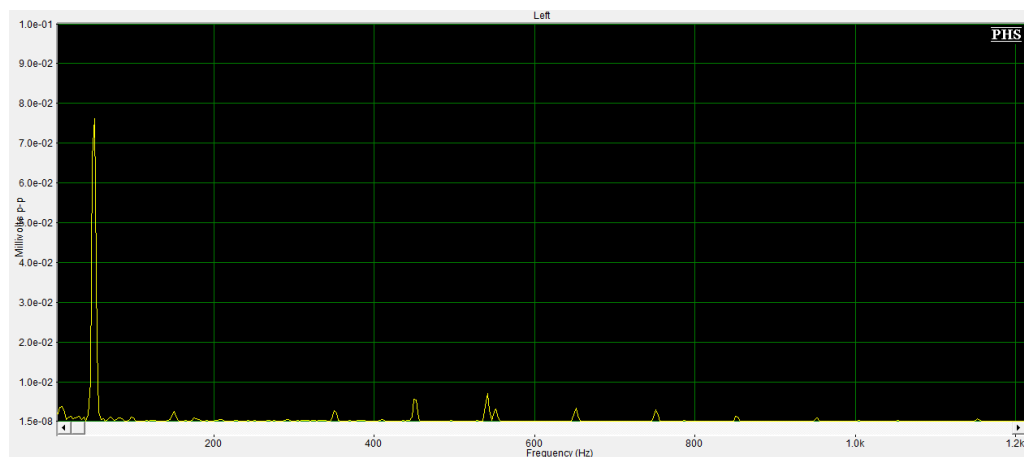
Walaupun sudah mendapatkan tegangan yang stabil, masih ditambahkan transistor 2N3055 agar kebutuhan arus terpenuhi. Akan tetapi tegangan DC berkurang akibat tegangan basis-emitor. Besarnya tegangan DC setelah melewati transistor ini adalah

$$V = V_{stab} - V_{BE}$$

$$V = 5,32 - 0,67$$

$$V = 4,65 \text{ volt.}$$

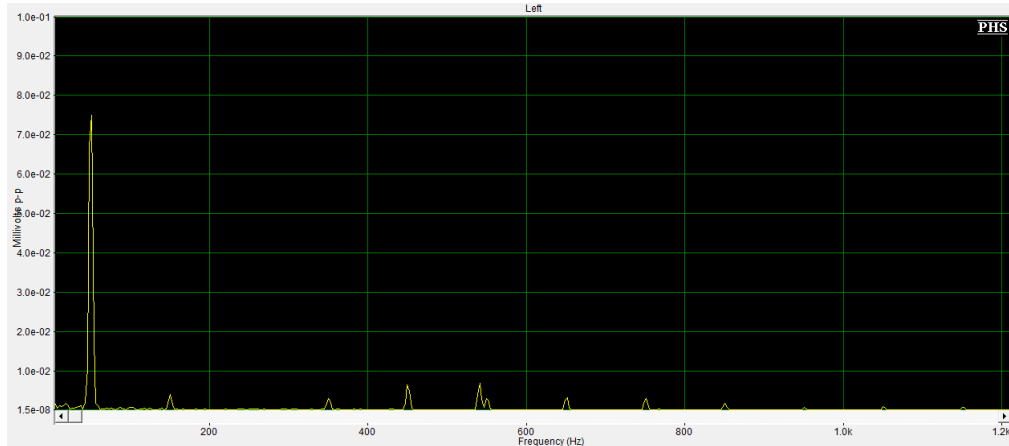
Listrik DC yang keluar dari adaptor ini adalah 4,64 volt. Tegangan yang keluar ternyata masih menimbulkan sedikit *ripple* setelah direkam menggunakan *software* SpectraPlus. Frekuensi pada *ripple* ini ditunjukkan pada Gambar 60:



**Gambar 60.** Spektrum frekuensi tegangan adaptor sebelum melewati *low pass filter*.

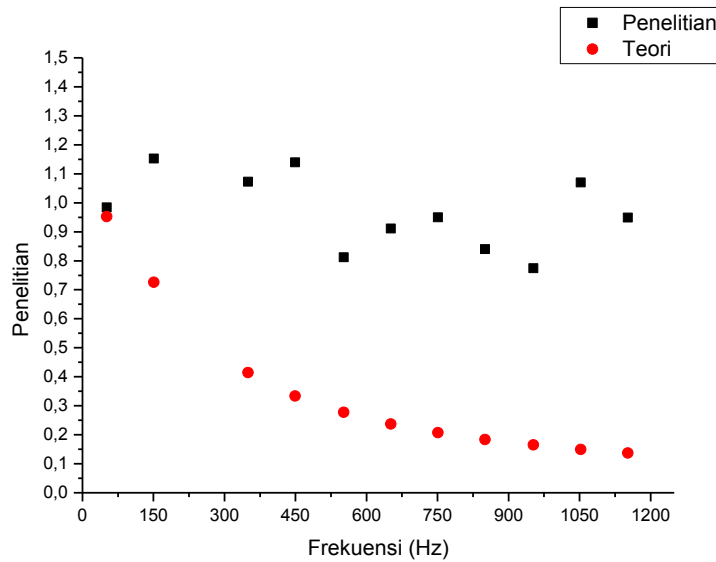


Agar keluaran memiliki frekuensi rendah dan menghilangkan frekuensi tinggi, maka perlu diberikan rangkaian *low pass filter* yang kedua. Spektrum frekuensi tegangan adaptor disajikan pada Gambar 61:



**Gambar 61.** Spektrum frekuensi tegangan adaptor setelah melewati *low pass filter*.

Rasio tegangan adaptor setelah dan sebelum melewati *low pass filter* disajikan pada Gambar 62.

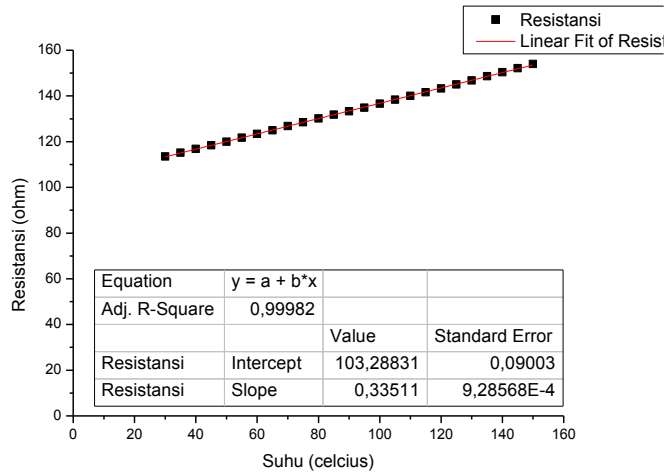


**Gambar 62.** Rasio tegangan adaptor antara setelah dan sebelum *low pass filter* secara teori dan penelitian.

Gambar 62 menunjukkan bahwa tidak ada frekuensi dari tegangan adaptor yang di-filter setelah melalui rangkaian. Hal ini disebabkan karena spektrum frekuensi tersebut sudah sangat kecil sehingga keluaran adaptor ini sudah baik. Tegangan adaptor setelah *low pass filter* ini adalah 4,64 volt karena terdapat hambatan  $1 \Omega$  yang menggunakan tegangan sebesar 0,010 volt. Tegangan dengan nilai 4,64 volt cukup untuk mengoperasikan sistem kontrol suhu yang dibuat.

#### D. Sensor Suhu PT-100

Sensor suhu PT-100 berfungsi untuk mengkonversi suhu menjadi resistansi. Resistansi PT-100 meningkat seiring meningkatnya suhu. Berdasarkan percobaan, didapatkan hubungan resistansi terhadap suhu sebagai berikut:



**Gambar 63.** Resistansi terhadap suhu sensor PT-100.

Dari Gambar 63 dapat diketahui bahwa kenaikan resistansi PT-100 linier terhadap kenaikan suhu. Dengan menggunakan *fitting linier*, besarnya resistansi setiap kenaikan suhu  $1^{\circ}\text{C}$  sensor PT-100 adalah  $(0,3351 \pm 0,0009) \Omega/^{\circ}\text{C}$ .

Masukan sensor PT-100 berupa perubahan suhu terhadap waktu. Asumsi paling mudah untuk menjelaskan perubahan suhu terhadap waktu adalah secara linier dengan persamaan (39).

$$T(t) = T_0 + x_1 \cdot t \quad (39)$$

Transformasi Laplace persamaan (39) adalah

$$\begin{aligned} \mathcal{L}[T(t)] &= \mathcal{L}[T_0 + x_1 \cdot t] \\ T(s) &= \frac{T_0}{s} + \frac{x_1}{s^2} \end{aligned} \quad (40)$$

Keluaran sensor suhu PT-100 berupa perubahan resistansi akibat perubahan suhu dengan persamaan (41).

$$R_{PT-100} = R_0 + x_2 \cdot T(t) \quad (41)$$

Substitusi persamaan (39) ke persamaan (41) menghasilkan persamaan (42).

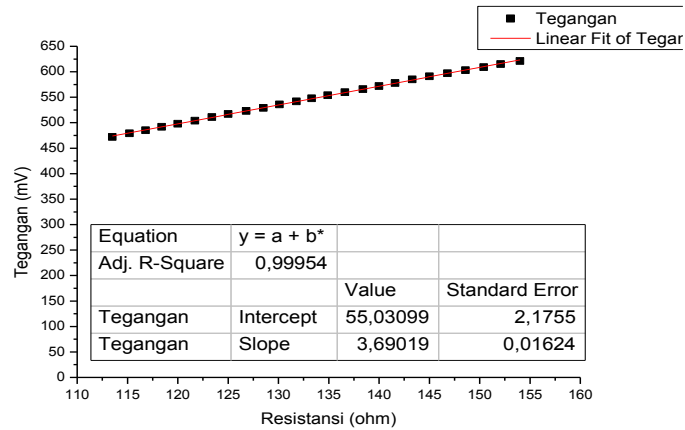
$$\begin{aligned} R_{PT-100}(t) &= R_0 + x_2 \cdot (T_0 + x_1 \cdot t) \\ R_{PT-100}(t) &= R_0 + x_2 \cdot T_0 + x_1 \cdot x_2 \cdot t \end{aligned} \quad (42)$$

Transformasi Laplace untuk persamaan (42) adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \mathcal{L}[R_{PT-100}(t)] &= \mathcal{L}[R_0 + x_2 \cdot T_0 + x_1 \cdot x_2 \cdot t] \\ R_{PT-100}(s) &= \frac{R_0 + x_2 \cdot T_0}{s} + \frac{x_1 \cdot x_2}{s^2} \end{aligned} \quad (43)$$

Resistansi dari PT-100 harus dikonversikan dalam bentuk tegangan agar perubahan suhu dapat terbaca oleh komparator LM393. Konversi dalam bentuk tegangan ini dapat dengan menggunakan rangkaian pembagi tegangan. Besarnya tegangan sumber ( $V$ ) adalah tegangan adaptor yaitu ( $4,640 \pm 0,005$ ) volt,  $R$  adalah  $1 \text{ k}\Omega$  dan  $R_{PT-100}$  adalah resistansi sensor PT-100. Dengan menggunakan

persamaan pembagi tegangan, nilai tegangan masukan berubah seiring dengan kenaikan resistansi sensor PT-100 sebagai berikut:



**Gambar 64.** Perubahan tegangan akibat perubahan resistansi PT-100.

Dari Gambar 64 diketahui bahwa kenaikan tegangan rangkaian konversi resistansi PT-100 linier terhadap kenaikan resistansi, karena *range* yang diambil sebenarnya cukup sempit. Dengan menggunakan *fitting linier*, besarnya perubahan tegangan setiap kenaikan resistansi 1  $\Omega$  dari sensor PT-100 adalah  $(3,69 \pm 0,02)$  mV/ $\Omega$ . Dengan menggabungkan hasil *fitting* dari Gambar 63 dan Gambar 64, maka perubahan tegangan terhadap kenaikan suhu 1 $^{\circ}$ C adalah

$$x_2 \cdot x_3 = (0,3351 \Omega/^{\circ}\text{C}) \cdot (3,69 \text{ mV}/\Omega) = 1,24 \text{ mV}/^{\circ}\text{C},$$

dimana  $x_2$  adalah *slope* pada Gambar 63 dan  $x_3$  adalah *slope* pada Gambar 64.

Persamaan untuk grafik pada Gambar 64 tersebut adalah

$$V_{in} = V_0 + x_3 \cdot R_{PT-100} \quad (44)$$

Substitusi persamaan (42) ke persamaan (44) adalah sebagai berikut:

$$V_{in} = V_0 + x_3 \cdot (R_0 + x_2 \cdot T_0 + x_1 \cdot x_2 \cdot t)$$

$$V_{in} = V_0 + x_3 \cdot R_0 + x_2 \cdot x_3 \cdot T_0 + x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot t \quad (45)$$

Transformasi Laplace untuk persamaan (45) adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\mathcal{L}[V_{in}] &= \mathcal{L}[V_0 + x_3 \cdot R_0 + x_2 \cdot x_3 \cdot T_0 + x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot t] \\ V_{in}(s) &= \frac{V_0 + x_3 \cdot R_0 + x_2 \cdot x_3 \cdot T_0}{s} + \frac{x_1 \cdot x_2 \cdot x_3}{s^2}\end{aligned}\quad (46)$$

sehingga kesatuan sensor suhu dan pembagi tegangan ini memiliki fungsi transfer sebagai berikut:

$$G_1(s) = \frac{V_{in}(s)}{T(s)} = \frac{\frac{V_0 + x_3 \cdot R_0 + x_2 \cdot x_3 \cdot T_0}{s} + \frac{x_1 \cdot x_2 \cdot x_3}{s^2}}{\frac{T_0}{s} + \frac{x_1}{s^2}}.\quad (47)$$

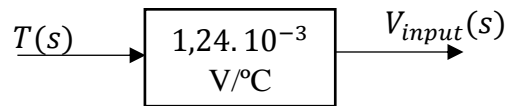
Dengan syarat  $V_0 = 0$ ,  $R_0 = 0$  dan  $T_0 = 0$  maka  $G_1(s)$  menjadi:

$$G_1(s) = \frac{V_{in}(s)}{T(s)} = \frac{\frac{x_1 \cdot x_2 \cdot x_3}{s^2}}{\frac{x_1}{s^2}} = x_2 \cdot x_3\quad (48)$$

dimana  $x_2$  adalah  $0,3351 \text{ } \Omega/^{\circ}\text{C}$  dan  $x_3$  adalah  $3,69 \text{ mV}/\Omega$  sehingga

$$G_1(s) = 1,24 \frac{\text{mV}}{^{\circ}\text{C}} = 1,24 \cdot 10^{-3} \frac{\text{V}}{^{\circ}\text{C}}$$

Penggambaran diagram blok tegangan masukan terhadap suhu adalah:



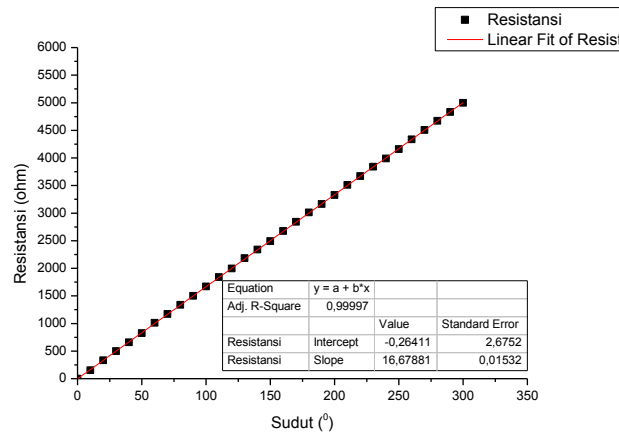
**Gambar 65.** Diagram blok tegangan masukan.

## E. Tegangan Referensi

Tegangan referensi digunakan sebagai tegangan pembanding yang setara dengan suhu  $65^{\circ}\text{C}$ . Pada rangkaian pembagi tegangan yang digunakan sebagai tegangan referensi besarnya tegangan sumber ( $V$ ) adalah  $4,64 \text{ volt}$ ,  $R$  adalah  $1 \text{ k}\Omega$  dan  $R_p$  adalah resistansi potensiometer. Dengan menggunakan rangkaian pembagi tegangan, sudut potensiometer dapat diatur agar keluaran rangkaian ini

menghasilkan tegangan sebesar  $(0,520 \pm 0,005)$  volt. Nilai ini setara dengan tegangan masukan ketika suhu mencapai  $65^{\circ}\text{C}$ .

Hubungan antara perubahan sudut dengan resistansi dapat dilihat pada grafik berikut:



**Gambar 66.** Hubungan sudut dengan resistansi potensiometer.

Dari Gambar 66 dapat diketahui bahwa kenaikan resistansi potensiometer linier terhadap kenaikan sudut. Dengan menggunakan *fitting linier*, besarnya perubahan resistansi setiap kenaikan sudut  $1^{\circ}$  dari potensiometer adalah  $(16,68 \pm 0,02) \Omega/^{\circ}$ . Persamaan untuk grafik pada Gambar 66 adalah

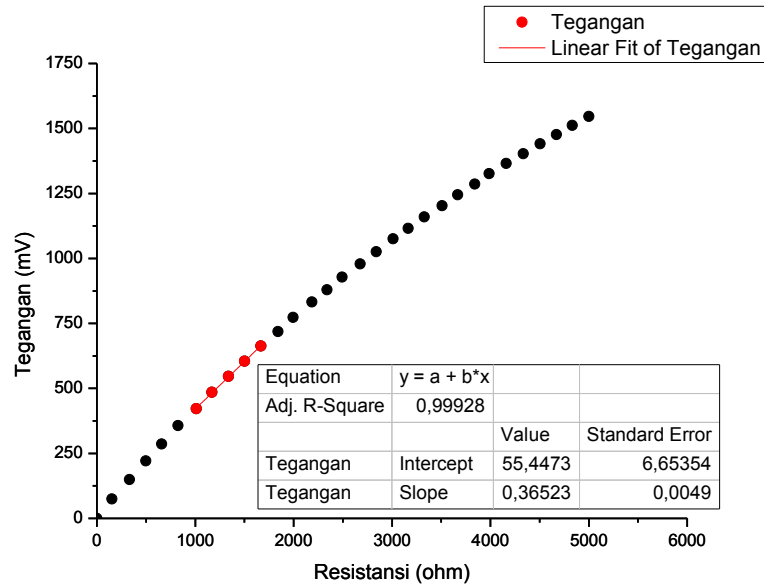
$$R_p(\theta) = R_0 + x_4 \cdot \theta(t) \quad (49)$$

Transformasi Laplace untuk persamaan (49) adalah

$$\mathcal{L}[R_p(\theta)] = \mathcal{L}[R_0 + x_4 \cdot \theta(t)]$$

$$R_p(s) = \frac{R_0}{s} + x_4 \cdot \phi(s) \quad (50)$$

Agar dapat dibandingkan menggunakan komparator LM393, maka resistansi potensiometer perlu dikonversikan menjadi tegangan dengan menggunakan rangkaian pembagi tegangan. Hubungan tegangan terhadap resistansi potensiometer dapat dilihat pada Gambar 67.



**Gambar 67.** Hubungan tegangan terhadap resistansi,

Pada Gambar 67, tidak semua jangkauan grafik di-*fitting linier* karena pada sistem kontrol ini fungsi yang diperlukan hanya dibutuhkan pada jangkauan yang sempit. Dengan menggunakan *fitting linier*, besarnya perubahan tegangan setiap kenaikan resistansi 1  $\Omega$  rangkaian pembagi tegangan adalah  $(365 \pm 5) \times 10^{-3} \text{ mV}/\Omega$ . Dengan menggabungkan hasil *fitting* dari Gambar 66 dan Gambar 67, maka perubahan tegangan terhadap kenaikan suhu  $1^\circ\text{C}$  adalah

$$x_4 \cdot x_5 = 16,68 \Omega/^\circ \cdot 365 \times 10^{-3} \text{ mV}/\Omega = 6,088 \text{ mV}/^\circ$$

dimana  $x_4$  adalah *slope* pada Gambar 66 dan  $x_5$  adalah *slope* pada Gambar 67.

Persamaan tegangan referensi adalah sebagai berikut:

$$V_{ref} = V_0 + x_5 \cdot R_p \quad (51)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (49) ke persamaan (51) didapatkan persamaan (52):

$$V_{ref}(\theta) = V_0 + x_5 \cdot (R_0 + x_4 \cdot \theta(t))$$

$$V_{ref}(\theta) = V_0 + x_5 \cdot R_0 + x_4 \cdot x_5 \cdot \theta(t) \quad (52)$$

Transformasi Laplace untuk persamaan (52) adalah sebagai berikut:

$$\mathcal{L}[V_{ref}(\theta)] = \mathcal{L}[V_0 + x_5 \cdot R_0 + x_4 \cdot x_5 \cdot \theta(t)]$$

$$V_{ref}(s) = \frac{V_0 + x_5 \cdot R_0}{s} + x_4 \cdot x_5 \cdot \phi(s) \quad (53)$$

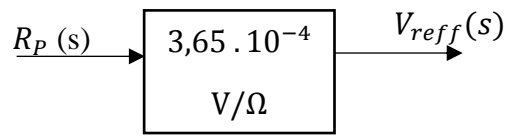
Fungsi transfer untuk tegangan referensi adalah

$$G_2(s) = \frac{V_{ref}(s)}{R_p(s)} = \frac{\frac{V_0 + x_5 \cdot R_0}{s} + x_4 \cdot x_5 \cdot \phi(s)}{\frac{R_0}{s} + x_4 \cdot \phi(s)} \quad (54)$$

Dengan syarat  $V_0 = 0$  dan  $R_0 = 0$  maka  $G_2(s)$  menjadi:

$$G_2(s) = \frac{V_{ref}(s)}{R_p(s)} = x_5 = \frac{3,65 \cdot 10^{-1} \text{mV}}{\Omega} = 3,65 \cdot 10^{-4} \text{ V}/\Omega \quad (55)$$

Sehingga penggambaran diagram blok tegangan referensi adalah sebagai berikut:



**Gambar 68.** Diagram blok tegangan referensi.

## F. Komparator

Komparator berfungsi membandingkan tegangan masukan dengan tegangan referensi. Besarnya nilai kesalahan ( $error=e$ ) pada titik penjumlahan ini adalah sebagai berikut:

$$e = V_{ref} - V_{in} \quad (56)$$

Sehingga transformasi Laplace untuk nilai  $error$  adalah

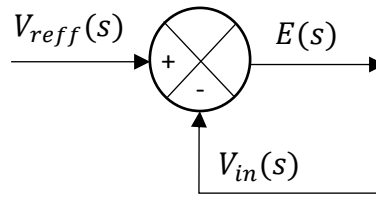
$$\mathcal{L}[e] = \mathcal{L}[V_{ref} - V_{in}]$$

$$E(s) = x_4 \cdot x_5 \cdot \theta(s) - \frac{x_1 \cdot x_2 \cdot x_3}{s^2} = \frac{x_4 \cdot x_5 \cdot \theta(s) \cdot s^2 - x_1 \cdot x_2 \cdot x_3}{s^2}$$

$$E(s) = \frac{6,088 \cdot \theta(s) \cdot s^2 - 1,262 x_1}{s^2} \quad (57)$$



Diagram blok titik pencabangan ini adalah



**Gambar 69.** Blok pencabangan sistem kontrol.

Nilai tegangan keluaran  $V_o$  akan berubah seiring berubahnya nilai *error* melewati batas tegangan 0 volt.

$$V_o(t) = \begin{cases} 184,10 \text{ mV} & , \text{jika } error > 0 \text{ V} \\ 1,885 \text{ V} & , \text{jika } error \leq 0 \text{ V} \end{cases} \quad (58)$$

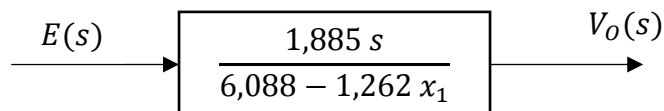
Nilai 184,10 mV belum cukup untuk membuat transistor saturasi, sedangkan nilai 1,885 V cukup untuk menjadikan transistor menjadi *hard saturation* dan menyalakan LED indikator. Transformasi Laplace untuk persamaan pada komparator ketika pada kondisi *hard saturation* adalah

$$\begin{aligned} \mathcal{L}[V_o(t)] &= \mathcal{L}[1,885] \\ V_o(s) &= \frac{1,885}{s} \end{aligned} \quad (59)$$

Fungsi transfer untuk titik penjumlahan adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} G_3(s) &= \frac{V_o(s)}{E(s)} = \frac{1,885}{s \left( \frac{6,088 - 1,262 x_1}{s^2} \right)} \\ G_3(s) &= \frac{1,885 s}{6,088 - 1,262 x_1} \end{aligned} \quad (60)$$

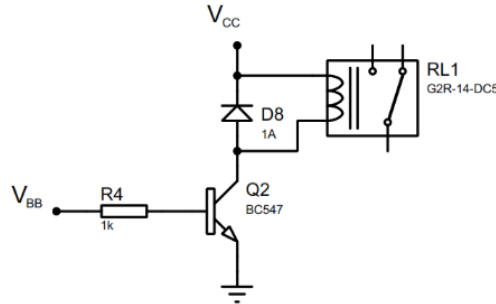
Diagram blok untuk fungsi transfer titik penjumlahan tersebut adalah:



**Gambar 70.** Diagram blok titik penjumlahan.

## G. Saklar Transistor dan Relay

Skema saklar relay yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 71.



**Gambar 71.** Rangkaian saklar transistor dan relay.

Agar transistor dapat menghantarkan arus listrik, maka basis harus diberikan tegangan  $V_{BB}$ , yang merupakan keluaran tegangan komparator. Transistor akan bekerja pada keadaan saturasi apabila ada arus yang cukup dari basis. Berdasarkan pengukuran yang telah dilakukan, diperoleh data yang ditampilkan dalam Tabel 9.

Tabel 9. Data hasil pengujian karakteristik transistor.

No.	Kondisi	Saklar	$R_B=R4$ ( $\Omega$ )	$R_{Relay}$ ( $\Omega$ )	$V_{CC}$ (volt)	$V_{CE}$ (volt)	$V_{BB}$ (volt)	$V_{BE}$ (volt)
1	Saturasi	<i>ON</i>	1000	70	4,64	0,167	1,885	0,798
2	<i>Cut-off</i>	<i>OFF</i>	1000	70	4,64	4,64	0,184	0,184

Transistor bersaturasi (*ON*) ketika  $V_{BE} = 0,798$  V. Transistor akan berada dalam keadaan *cut-off* apabila  $V_{BE} = 0,184$  V. Untuk membuat transistor bersaturasi, dibutuhkan arus basis  $i_B$ . Berdasarkan pada Gambar 71, besarnya nilai  $V_{BE}$  adalah

$$V_{BE} = V_{BB} - i_B R_B \quad (61)$$

Dengan mengetahui nilai dari  $V_{BE}$ ,  $V_O = V_{BB}$  dan  $R_B$ , maka nilai  $i_B$  dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$i_B = \frac{V_O - V_{BE}}{R_B}$$

$$i_B = 1,087 \text{ mA}$$

Transformasi Laplace  $i_B$  adalah

$$\mathcal{L}[i_B(t)] = \mathcal{L}\left[\frac{V_O(t) - V_{BE}(t)}{R_B}\right]$$

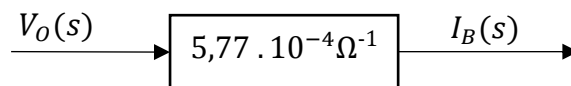
$$I_B(s) = \frac{(V_O(s) - V_{BE}(s))}{R_B} \quad (62)$$

Fungsi transfer untuk saklar transistor adalah

$$G_4(s) = \frac{I_B(s)}{V_O(s)} = \frac{(V_O(s) - V_{BE}(s))}{R_B \cdot V_O(s)} \quad (63)$$

$$G_4(s) = \frac{(1,885 - 0,798) \text{ V}}{1000 \Omega \cdot 1,885 \text{ V}} = 5,77 \cdot 10^{-4} \Omega^{-1}$$

Diagram blok untuk saklar transistor adalah sebagai berikut:



**Gambar 72.** Diagram blok saklar transistor.

Berdasarkan Gambar 71 untuk mengaktifkan saklar relay maka arus harus mengalir dari kolektor ke emitor, sehingga arus relay sama dengan arus kolektor.

Berdasarkan pada Gambar 71, besarnya nilai  $V_{CE}$  adalah:

$$V_{CE} = V_{CC} - i_C R_{relay} \quad (64)$$

Besar arus yang mengalir dari kolektor ke emitor dapat dihitung apabila diketahui nilai  $V_{CC}$ ,  $V_{CE}$ , dan  $R_{Relay}$  dengan menggunakan:

$$i_c = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_{relay}}$$

$$i_c = 63,9 \text{ mA}$$

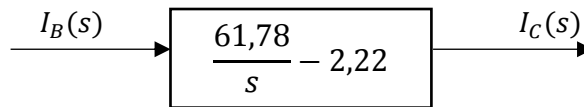
Nilai arus 63,9 mA cukup untuk menggerakkan saklar relay dari kondisi non kontak menjadi kontak. Hal ini disebabkan karena relay yang digunakan memiliki kondisi *OFF* ke *ON* ketika mendapat arus 63,9 mA dan memiliki kondisi *ON* ke *OFF* ketika arus sudah berkurang menjadi 11,43 mA. Transformasi Laplace untuk  $i_c$  adalah

$$\begin{aligned} \mathcal{L}[i_c(t)] &= \mathcal{L}\left[\frac{V_{CC} - V_{CE}(t)}{R_{relay}}\right] \\ I_C(s) &= \frac{\left(\frac{V_{CC}}{s} - V_{CE}(s)\right)}{R_{relay}} \end{aligned} \quad (65)$$

Fungsi transfer untuk relay ini adalah

$$\begin{aligned} G_5(s) &= \frac{I_C(s)}{I_B(s)} = \frac{R_B \cdot \left(\frac{V_{CC}}{s} - V_{CE}(s)\right)}{R_{relay} \cdot (V_O(s) - V_{BE}(s))} \\ G_5(s) &= \frac{61,78}{s} - 2,22 \end{aligned} \quad (66)$$

Sehingga diagram blok untuk saklar relay adalah



**Gambar 73.** Diagram blok saklar relay.

Dengan persamaan (23) besarnya nilai  $\beta_{DC}$  dapat dihitung.

$$\beta_{DC} = \frac{I_C}{I_B} = \frac{63,9}{1,087} = 58,79 \quad (67)$$

Nilai  $\beta_{DC} \geq 10$ , sehingga kondisi saklar berada pada kondisi *hard saturation*.

Dengan demikian, saklar pada sistem kontrol ini dapat dikatakan stabil.

## H. Pemanas Nikelin

Arus listrik yang melewati nikelin dikendalikan oleh relay. Pada saat relay teraliri arus ( $i_C = 63,9 \text{ mA}$ ) akibat transistor saturasi, relay dalam kondisi kontak (*ON*) dan pada saat relay tidak teraliri arus ( $i_C = 0 \text{ mA}$ ) akibat transistor *cut-off*, relay dalam kondisi tidak kontak (*OFF*). Tegangan RMS nikelin dengan panjang 2,23 m dalam kondisi *ON* adalah 186,294 volt, sedangkan tegangan RMS nikelin dengan panjang 2,23 m dalam kondisi *OFF* adalah 0 volt. Dengan demikian pernyataan tersebut dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$V_{RMS}(t) = \begin{cases} 0 \text{ volt} & , \text{ jika saklar } relay \text{ OFF} \\ 186,3 \text{ volt} & , \text{ jika saklar } relay \text{ ON} \end{cases} \quad (68)$$

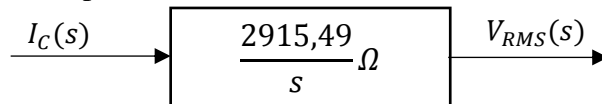
Transformasi Laplace untuk  $V_{RMS}$  adalah

$$\begin{aligned} \mathcal{L}[V_{RMS}(t)] &= \mathcal{L}[186,3] \\ V_{RMS}(s) &= \frac{186,3}{s} \end{aligned} \quad (69)$$

Sehingga fungsi transfer untuk pemanas nikelin adalah

$$\begin{aligned} G_6 &= \frac{V_{RMS}(s)}{i_C(s)} = \frac{R_{relay} \cdot 186,3}{s(V_{CC}(s) - V_{CE}(s))} \\ G_6 &= \frac{2915,49}{s} \Omega \end{aligned} \quad (70)$$

Diagram blok untuk pemanas nikelin adalah



**Gambar 74.** Diagram blok pemanas nikelin.

Dengan diketahui tegangan dan arus yang mengalir pada nikelin 2,23 m, maka daya yang diperlukan dapat dihitung sebagai berikut:

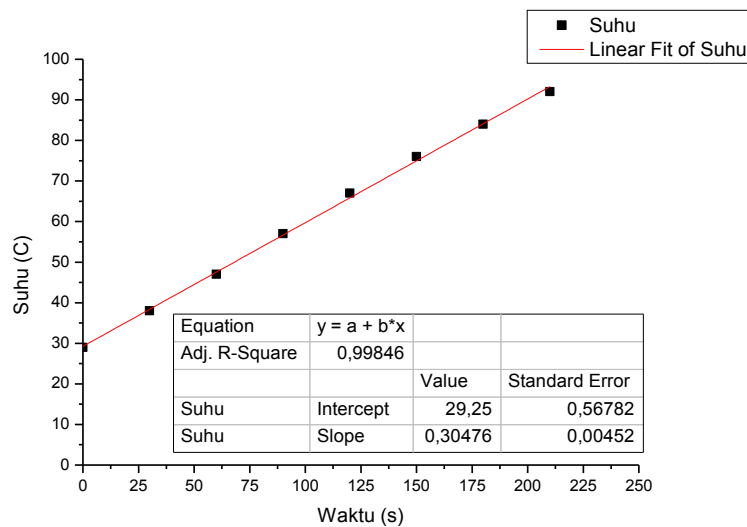
$$P_{nikel} = V_{RMS} \cdot i_{nikel}$$

$$P_{nikel} = 186,3 \text{ volt} \cdot 0,6735 \text{ A}$$

$$= 125,4 \text{ watt}$$

Berdasarkan perhitungan tersebut, daya yang digunakan untuk pemanas nikelin adalah 125,4 watt.

Kalor yang diubah menjadi energi listrik per detik dapat dihitung apabila regresi suhu terhadap waktu dapat diketahui seperti pada Gambar 75 berikut:



**Gambar 75.** Hubungan suhu terhadap waktu untuk nikelin 2,23 m.

Dengan menggunakan persamaan (35) maka nilai energi yang diubah dalam kalor setiap detik adalah

$$P_{kalor} = \frac{\text{slope } m \cdot c}{4,18392 \text{ k}}$$

$$P_{kalor} = \frac{0,30476 \cdot 150 \cdot 1}{4,18392 \text{ k}} = \frac{10,93}{k} \text{ watt} \quad (71)$$

Transformasi Laplace untuk energi yang diubah menjadi kalor setiap detik adalah

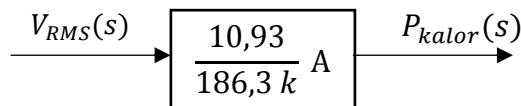
$$\mathcal{L}[P_{kalor}] = \mathcal{L}\left[\frac{10,93}{k}\right]$$

$$P_{kalor}(s) = \frac{10,93}{k \cdot s} \quad (72)$$

Sehingga fungsi transfer energi yang diubah menjadi kalor setiap detik adalah

$$G_7 = \frac{P_{kalor}(s)}{V_{RMS}(s)} = \frac{10,93}{186,3 k} A \quad (73)$$

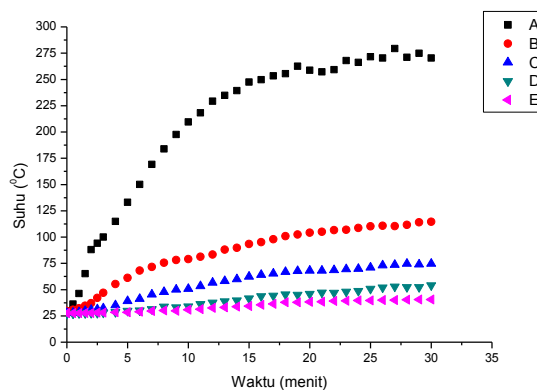
Maka diagram blok untuk energi yang diubah menjadi kalor setiap detik adalah



**Gambar 76.** Diagram blok energi yang diubah dalam kalor setiap detik.

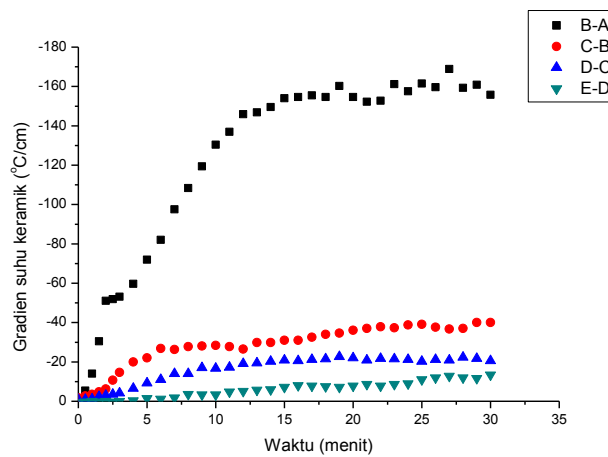
### I. Konduktivitas Termal pada Keramik

Uji konduktivitas termal dilakukan untuk mengetahui kalor yang sampai pada bahan malam. Dilakukan pengukuran perubahan suhu pada keramik ketika diberikan pemanas nikelin pada salah satu ujung keramik. Pengukuran suhu dilakukan menggunakan 5 buah sensor PT-100 yang diletakkan dalam balok keramik yang telah dilubangi setiap 1 cm setelah 0,5 cm dari sumber pemanas. Data hasil pengukuran ditampilkan dalam grafik berikut:



**Gambar 77.** Hubungan suhu keramik terhadap waktu.

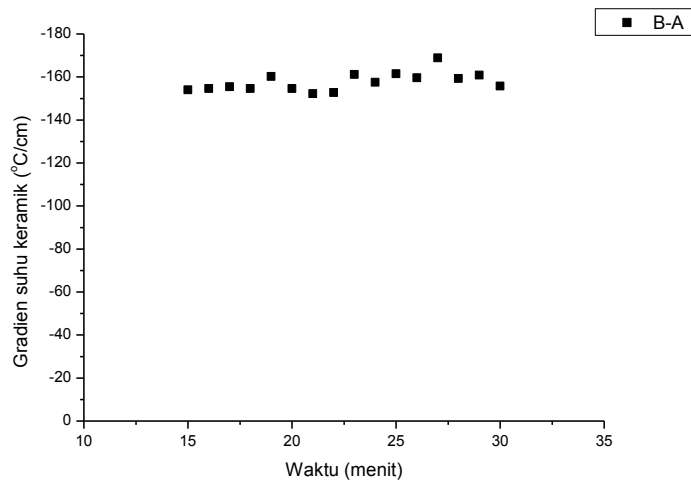
Gambar 77 menunjukkan terjadinya perubahan suhu pada tiap titik dalam balok keramik setiap 1 cm. Kalor merambat dari titik A ke titik E dengan titik A adalah titik terdekat dengan sumber pemanas dan titik E adalah titik terjauh dari sumber pemanas. Setelah mengetahui pola distribusi suhu keramik dilakukan perhitungan gradien suhu keramik. Hasil perhitungan gradien tersebut kemudian dirata-rata untuk mengetahui nilai gradien suhu keramik terhadap waktu.



**Gambar 78.** Hubungan gradien suhu keramik terhadap waktu.

Keramik bukanlah bahan yang memiliki konduktivitas tinggi sehingga kalor hanya mengalir pada titik-titik terdekat sumber pemanas. Ketebalan tungku keramik yang digunakan adalah 0,8 cm. Karena ketebalan tungku keramik tersebut berada di antara titik A dan titik B yang mulai stabil pada menit ke-15, maka rata-rata hanya dilakukan pada gradien B-A dari menit ke 15 sampai menit ke 30 seperti pada Gambar 79.





**Gambar 79.** Hubungan gradien suhu keramik B-A terhadap waktu dari menit ke 15 sampai dengan menit ke 30.

Nilai konduktivitas keramik dapat dihitung dengan merata-rata grafik di Gambar 79 yang nilainya adalah  $(-159 \pm 5) \text{ }^{\circ}\text{C/cm}$ . Dengan diketahui energi yang diubah menjadi kalor per detik adalah  $\frac{10,93}{k}$  watt (dengan anggapan semua kalor merambat melalui bahan keramik) dan luas penampang keramik yang diuji adalah  $4,42 \text{ cm}^2$ , maka konduktivitas keramik dapat dihitung dengan persamaan (20):

$$q = -KA \frac{dT}{dx}$$

$$P_{kalor} = -K_k A_k \left( \frac{dT}{dx} \right)_k$$

$$K_k = -\frac{P_{kalor}}{A_k} \cdot \frac{1}{\left( \frac{dT}{dx} \right)_k} \quad (74)$$

$$K_k = -\frac{\frac{10,93}{k}}{4,42} \cdot \left( \frac{1}{-159} \right)$$

$$K_k = \frac{0,0156}{k} \text{ W/cm}^{\circ}\text{C}$$

dimana:

$P_{kolor}$  = daya listrik atau energi setiap detik (watt).

$K_k$  = konduktivitas termal bahan keramik.

$A_k$  = luas permukaan bahan keramik yang diujikan.

$\left(\frac{dT}{dx}\right)_k$  = gradien suhu bahan keramik.

Perhitungan nilai gradien suhu B-A adalah  $\frac{0,0156}{k}$  W/cm<sup>0</sup>C. Nilai ini menunjukkan setiap kenaikan suhu sebesar 1<sup>0</sup>C, maka kalor yang mengalir pada jarak 1 cm dengan luas penampang 1 cm<sup>2</sup> sebesar  $\frac{0,0156}{k}$  watt. Energi setiap detik pada bahan keramik ini mengakibatkan adanya perbedaan suhu pada permukaan atas keramik dan permukaan bawah keramik yang dapat dicari dengan menggunakan persamaan (75):

$$\Delta T_k = -\frac{P_{kolor}}{K_k \cdot A_{terliliti}} \cdot \Delta x_k$$

dengan  $\Delta T_k = T_k - T_{nikel}$ , sehingga besarnya suhu permukaan atas adalah :

$$T_k = T_{nikel} + \left( -\frac{P_{kolor}}{K_k \cdot A_{terliliti}} \cdot \Delta x_k \right) \quad (75)$$

$$T_k = T_{nikel} + \left( -\frac{\frac{10,93}{k}}{\frac{0,0156}{k} \cdot 206,20} \cdot 0,8 \right) = T_{nikel} - 2,72 \text{ } ^\circ\text{C}$$

dengan  $\Delta x_k$  adalah ketebalan keramik yang digunakan sebagai tungku batik. Dari perhitungan menggunakan persamaan (75) tersebut didapatkan bahwa suhu permukaan atas adalah  $T_{nikel} - 2,72 \text{ } ^\circ\text{C}$ . Transformasi Laplace untuk persamaan (75) adalah:

$$\mathcal{L}[T_k(t)] = \mathcal{L}\left[T_{nikel}(t) + \left(-\frac{P_{kolor}}{K_k \cdot A_{terliliti}} \cdot \Delta x_k\right)\right]$$

$$T_k(s) = T_{nikel}(s) - \frac{P_{kolor}(s)}{K_k \cdot A_{terliliti}} \cdot \Delta x_k \quad (76)$$

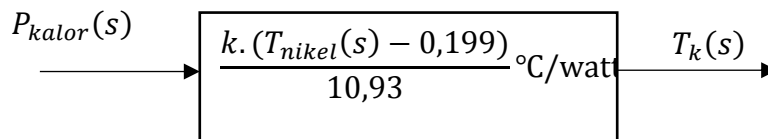
Fungsi transfer konduktivitas keramik tersebut adalah:

$$G_8 = \frac{T_k(s)}{P_{kolor}(s)} = \frac{T_{nikel}(s) - \frac{P_{kolor}(s)}{K_k \cdot A_{terliliti}} \cdot \Delta x_k}{P_{kolor}(s)} \quad (77)$$

$$G_8 = \frac{T_{nikel}(s) - \frac{\frac{10,93}{k} \text{ watt}}{0,0156 \cdot \frac{\text{watt}}{k} \cdot \frac{\text{cm}^0\text{C}}{\text{cm}^2} \cdot 206,2 \text{ cm}^2} \cdot 0,8 \text{ cm}}{\frac{10,93}{k} \text{ watt}}$$

$$G_8 = \frac{k \cdot (T_{nikel}(s) - 0,199)}{10,93} \text{ } ^\circ\text{C/watt}$$

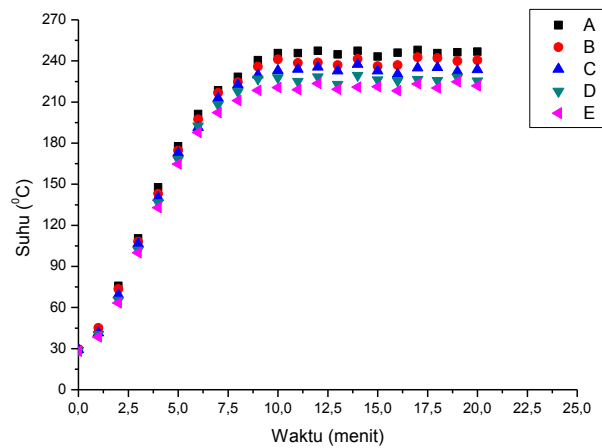
Diagram blok konduktivitas keramik tersebut adalah:



**Gambar 80.** Diagram blok konduktivitas keramik.

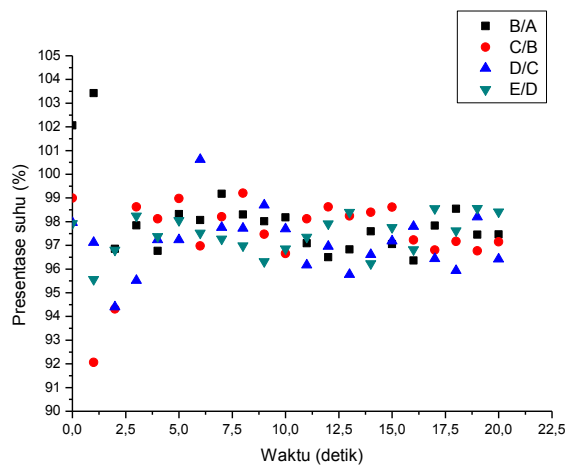
## J. Prosentase Suhu yang Dilewatkan Bahan Wajan

Untuk memanaskan bahan malam, bahan malam perlu ditempatkan pada wajan. Sehingga presentase suhu yang dilewatkan bahan wajan perlu diperhitungkan untuk mengetahui suhu yang berada di permukaan atas bahan wajan. Data hasil pengukuran suhu tiap titik bahan wajan yang berjarak 1cm setelah 1cm dari sumber pemanas terhadap waktu ditampilkan dalam grafik berikut:



**Gambar 81.** Hubungan suhu bahan wajan terhadap waktu.

Gambar 81 menunjukkan terjadinya perubahan suhu pada tiap titik sensor PT-100 yang dilapisi selongsong panas dan terapat oleh bahan wajan. Titik sensor PT-100 tersebut berjarak 1 cm setelah 1 cm pertama dari sumber pemanas. Terdapat perbedaan suhu antara titik A sampai dengan titik E dengan titik A adalah titik terdekat dengan sumber pemanas dan titik E adalah titik terjauh dari sumber pemanas. Presentase suhu yang dilewatkan melalui bahan wajan dapat diketahui dengan membandingkan suhu antar titik terdekatnya:



**Gambar 82.** Presentase suhu baham wajan terhadap waktu.

Presentase suhu terhadap waktu pada Gambar 82, mulai stabil pada menit ke-9, sehingga proses rata-rata prosentase suhu hanya dilakukan pada menit ke-9 hingga menit ke 20. Besarnya nilai rata-rata tersebut adalah 97,39 %.

Persamaan untuk suhu di permukaan atas bahan wajan terhadap suhu di permukaan atas bahan keramik adalah

$$T_w = k_2 \cdot T_k \quad (78)$$

$$T_w = \frac{97,39}{100} \cdot (T_{nikel} - 2,72 \text{ } ^\circ\text{C})$$

$$T_w = \frac{97,39T_{nikel}}{100} - 2,65 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Sehingga transformasi Laplace untuk suhu di permukaan atas bahan wajan terhadap suhu di permukaan atas bahan keramik adalah

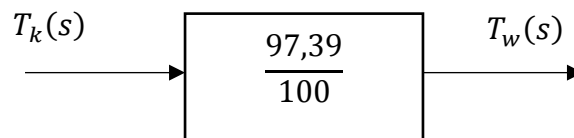
$$\mathcal{L}[T_w] = \mathcal{L}\left[\frac{97,39}{100} \cdot T_k\right]$$

$$T_w(s) = \frac{97,39}{100} \cdot T_k(s) \quad (79)$$

Dengan demikian fungsi transfer untuk suhu di permukaan atas bahan wajan terhadap suhu di permukaan atas bahan keramik adalah

$$G_9 = \frac{T_w(s)}{T_k(s)} = \frac{97,39}{100} \quad (80)$$

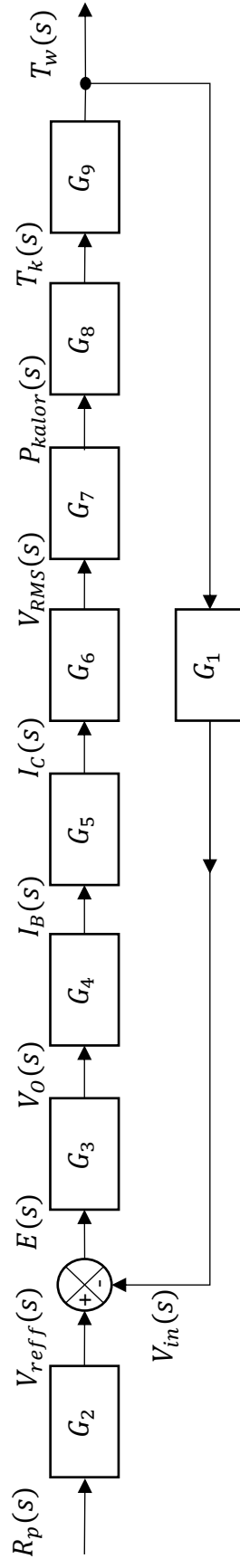
Diagram blok perubahan suhu di permukaan atas bahan wajan adalah



**Gambar 83.** Diagram blok perubahan suhu di permukaan atas bahan wajan.

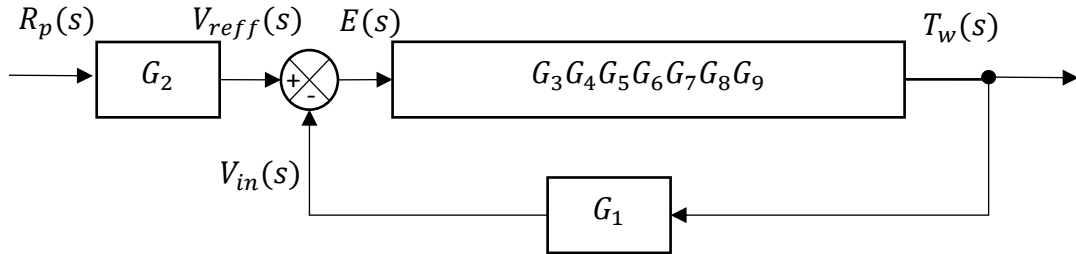
### K. Diagram Blok Sistem Kontrol Suhu

Diagram blok sistem kontrol suhu ini tersusun dari diagram blok masing-masing komponen. Diagram blok sistem kontrol suhu dapat dilihat pada Gambar 84.

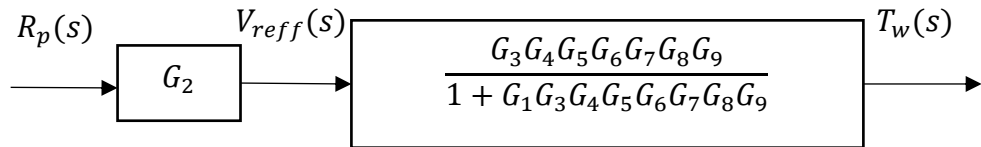


**Gambar 84.** Diagram blok sistem kontrol suhu kompor batik listrik.

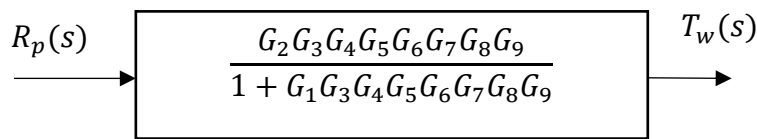
Dengan menggunakan aturan penyederhanaan diagram blok, diagram blok pada Gambar 84 dapat disederhanakan untuk mempermudah analisis:



**Gambar 85.** Diagram blok rangkaian hasil penyederhanaan I.



**Gambar 86.** Diagram blok rangkaian hasil penyederhanaan II.



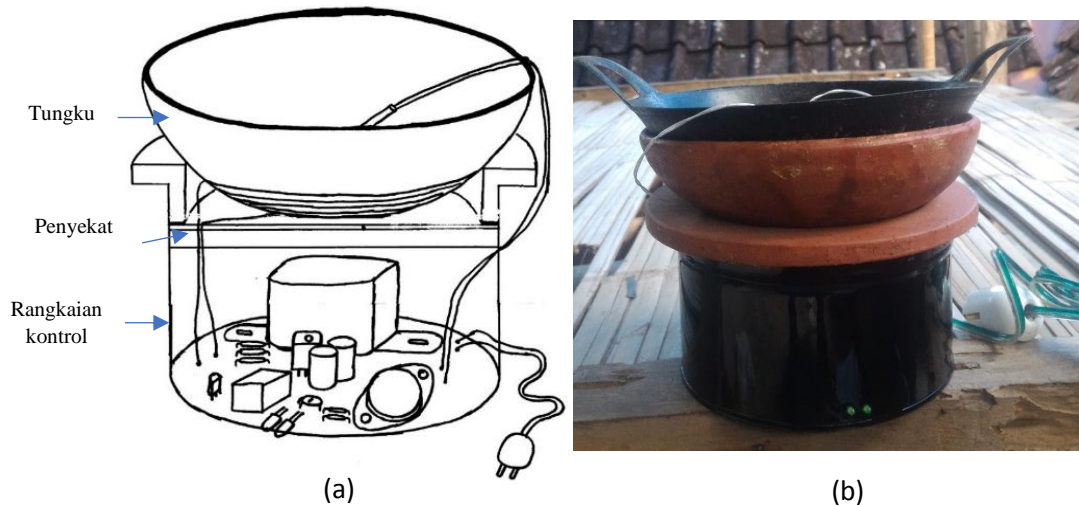
**Gambar 87.** Diagram blok rangkaian hasil penyederhanaan III.

Sehingga fungsi transfer dari rangkaian keseluruhan adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \frac{T_w(s)}{R_p(s)} &= \\ &= \frac{\left(3,65 \cdot 10^{-4} \frac{\text{V}}{\Omega}\right) \cdot \left(\frac{1,885 \text{ s}}{6,088 - 1,262 x_1}\right) \cdot \left(\frac{5,73 \cdot 10^{-4}}{\Omega}\right) \cdot \left(\frac{61,78}{\text{s}} - 2,22\right) \cdot \left(\frac{2915,49}{\text{s}} \Omega\right) \cdot \left(\frac{10,93}{186,3 \text{ k}} \text{ A}\right) \cdot \left(\frac{k \cdot (T_{\text{nikel}}(s) - 0,199)}{10,93} \frac{\text{°C}}{\text{watt}}\right) \cdot \left(\frac{97,39}{100}\right)}{1 + \left(1,24 \cdot 10^{-3} \frac{\text{V}}{\text{°C}}\right) \cdot \left(\frac{1,885 \text{ s}}{6,088 - 1,262 x_1}\right) \cdot \left(\frac{5,73 \cdot 10^{-4}}{\Omega}\right) \cdot \left(\frac{61,78}{\text{s}} - 2,22\right) \cdot \left(\frac{2915,49}{\text{s}} \Omega\right) \cdot \left(\frac{10,93}{186,3 \text{ k}} \text{ A}\right) \cdot \left(\frac{k \cdot (T_{\text{nikel}}(s) - 0,199)}{10,93} \frac{\text{°C}}{\text{watt}}\right) \cdot \left(\frac{97,39}{100}\right)} \\ &= \frac{3,65 \cdot 10^{-4} X \text{ °C}}{1 + 2,24 \cdot 10^{-3} X \Omega} \\ \text{dengan } X &= \frac{\frac{1,017 T_{\text{nikel}}(s) - 0,202}{\text{s}} + 0,007}{(6,088 - 1,262 x_1)} \end{aligned}$$

## L. Hasil Rancang Bangun Kompor Batik Listrik

Rancang bangun kompor batik listrik yang dilakukan adalah dengan menempatkan tungku keramik diatas rangkaian sistem kontrol suhu dan disekat dengan kaca + *sterof foam*. Hasil rancang dan bangun kompor batik listrik ini disajikan pada Gambar 88.



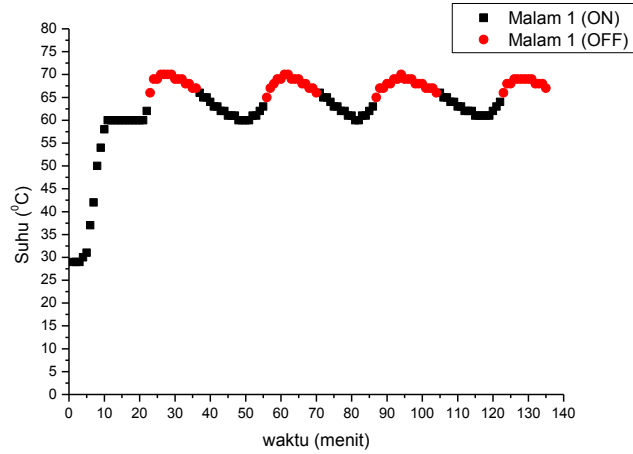
**Gambar 88.** (a) Rancangan kompor batik listrik (b) bangun kompor batik listrik

## M. Uji Sistem Kontrol Suhu

Pengujian keseluruhan sistem dilakukan dengan menempatkan termometer dan sensor PT-100 yang terhubung dengan sistem kontrol pada 3 jenis bahan malam serta melihat kondisi saklar (*ON-OFF*) sistem kontrol. Bahan malam klowong adalah bahan malam 1, bahan malam tembok adalah bahan malam 2 dan bahan malam songkal adalah bahan malam 3. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah sistem kontrol suhu pada kompor batik listrik dapat mengendalikan suhu pada rentang yang telah ditentukan, yaitu suhu antara  $(60 - 70)^{\circ}\text{C}$  dengan tiga jenis bahan malam.

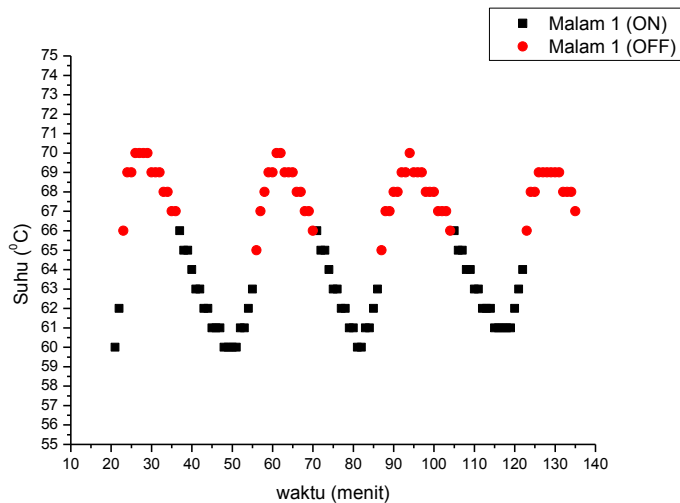


Berdasarkan percobaan, kestabilan suhu dan saklar sistem kontrol pada bahan malam 1 dapat dilihat pada Gambar 89.



**Gambar 89.** Kestabilan suhu dan saklar sistem kontrol untuk bahan malam 1.

Dapat dilihat dari Gambar 89 bahwa bahan malam 1 leleh pada suhu 60°C. Untuk melihat kestabilan suhu setelah meleleh, maka perlu dilakukan pemotongan grafik setelah menit ke 20 hingga menit ke 135.



**Gambar 90.** Kestabilan suhu dan saklar sistem kontrol untuk bahan malam 1 pada menit ke 21 sampai dengan menit ke 135.

Dari Gambar 90 dapat dilihat bahwa untuk bahan malam 1 sistem kontrol memiliki kondisi saklar *ON* ketika suhu mulai turun melewati suhu 65°C dan *OFF* ketika suhu mulai naik melebihi suhu 66 °C. Posisi perubahan saklar *ON* menuju *OFF* dan *OFF* menuju *ON* rata-rata berada pada suhu 65 °C sampai dengan 66 °C. Kestabilan suhu untuk malam batik ini berada pada suhu 60 °C sampai dengan 70 °C. Untuk menaikkan suhu perlu waktu lebih sedikit dibanding berkurangnya suhu.

Energi yang digunakan terbagi menjadi dua kondisi yaitu kondisi *ON* dan kondisi *OFF*. Energi yang digunakan pada kondisi *ON* ketika bahan malam 1 siap digunakan sampai dengan menit ke 135 adalah:

$$\begin{aligned}
 E_{ON\ 1} &= P_{ON} \cdot t \\
 &= 196,3 \text{ volt} \cdot 0,684 \text{ A} \cdot 3300 \text{ detik} \\
 &= 127,429 \text{ watt} \cdot 3300 \text{ detik} \\
 &= (421 \pm 6)10^3 \text{ joule.}
 \end{aligned}$$

Sedangkan energi yang digunakan pada kondisi *OFF* ketika bahan malam 1 siap digunakan sampai dengan menit ke 135 adalah:

$$\begin{aligned}
 E_{OFF\ 1} &= P_{OFF} \cdot t \\
 &= 218,9 \text{ volt} \cdot 5,28 \cdot 10^{-3} \text{ A} \cdot 3600 \text{ detik} \\
 &= 1,16 \text{ watt} \cdot 3600 \text{ detik} \\
 &= (5616 \pm 50) \text{ joule.}
 \end{aligned}$$

Sehingga energi total yang digunakan ketika bahan malam 1 siap digunakan sampai dengan menit ke 135 adalah:

$$E_{tot\ 1} = E_{ON\ 1} + E_{OFF\ 1}$$

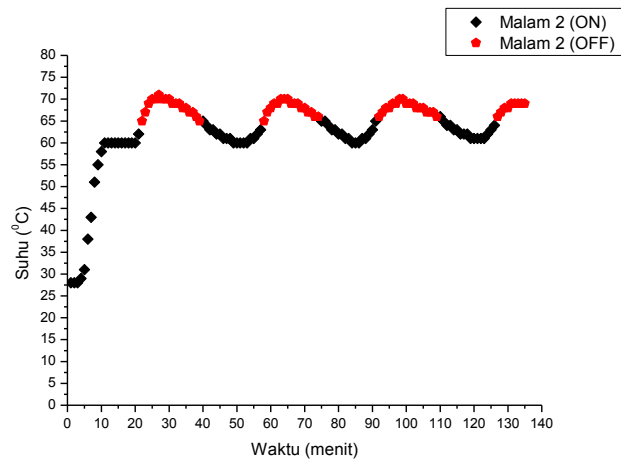
$$E_{tot 1} = (426 \pm 5)10^3 \text{joule.}$$

Sehingga daya rata-rata yang dibutuhkan ketika bahan malam 1 siap digunakan sampai dengan menit ke 135 adalah

$$\frac{E_{tot 1}}{t_{malam1}} = \frac{(426 \pm 5)10^3 \text{joule}}{6900 \text{ detik}} = 62 \text{ watt.}$$

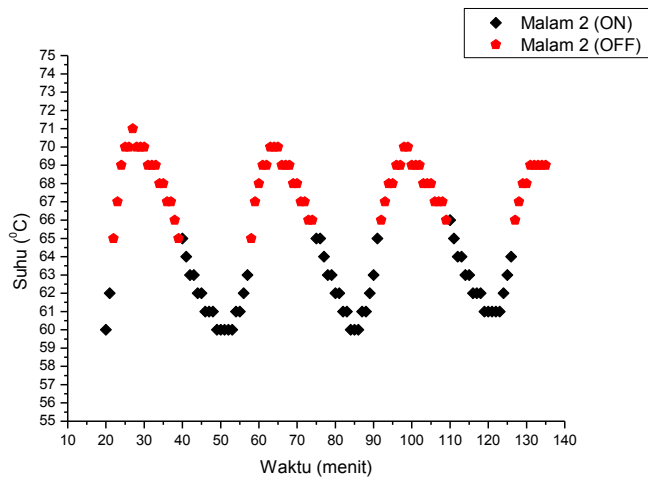
Daya rata-rata yang digunakan ketika bahan malam 2 siap digunakan sampai dengan ke 135 adalah 62 watt.

Berdasarkan percobaan untuk bahan malam jenis kedua, kestabilan suhu dan saklar terhadap waktu dapat dilihat pada Gambar 91.



**Gambar 91.** Kestabilan suhu dan saklar sistem kontrol untuk bahan malam 2.

Dapat dilihat bahwa bahan malam 2 juga leleh pada suhu 60°C. Untuk melihat kestabilan suhu setelah meleleh, maka perlu dilakukan pemotongan grafik setelah menit ke 19.



**Gambar 92.** Kestabilan suhu dan saklar sistem kontrol untuk bahan malam 2 pada menit ke 20 sampai dengan menit ke 135.

Dari Gambar 92 dapat dilihat bahwa untuk bahan malam 2 sistem kontrol memiliki kondisi saklar *ON* ketika suhu mulai turun dan *OFF* ketika suhu mulai naik. Posisi perubahan saklar *ON* menuju *OFF* dan *OFF* menuju *ON* rata-rata berada pada suhu 65<sup>0</sup>C sampai dengan 66<sup>0</sup>C. Kestabilan suhu untuk bahan malam 2 berada pada suhu antara 60<sup>0</sup>C sampai dengan 71<sup>0</sup>C.

Energi yang digunakan pada kondisi *ON* ketika bahan malam 2 siap digunakan sampai dengan menit ke 135 adalah:

$$\begin{aligned}
 E_{ON\ 2} &= P_{ON} \cdot t \\
 &= 196,3 \text{ volt} \cdot 0,684 \text{ A} \cdot 3240 \text{ detik} \\
 &= 127,429 \text{ watt} \cdot 3240 \text{ detik} \\
 &= (413 \pm 5)10^3 \text{ joule.}
 \end{aligned}$$

Sedangkan energi yang digunakan pada kondisi *OFF* ketika bahan malam 2 siap digunakan sampai dengan menit ke 135 adalah:

$$\begin{aligned}
 E_{OFF\ 2} &= P_{OFF} \cdot t \\
 &= 218,9 \text{ volt} \cdot 5,28 \cdot 10^{-3} \text{ A} \cdot 3720 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

$$= 1,16 \text{ watt} \cdot 3720 \text{ detik}$$

$$= 4315 \pm 51 \text{ joule.}$$

Sehingga energi total yang digunakan ketika bahan malam 2 siap digunakan sampai dengan menit ke 135 adalah:

$$E_{tot 2} = E_{ON 2} + E_{OFF 2}$$

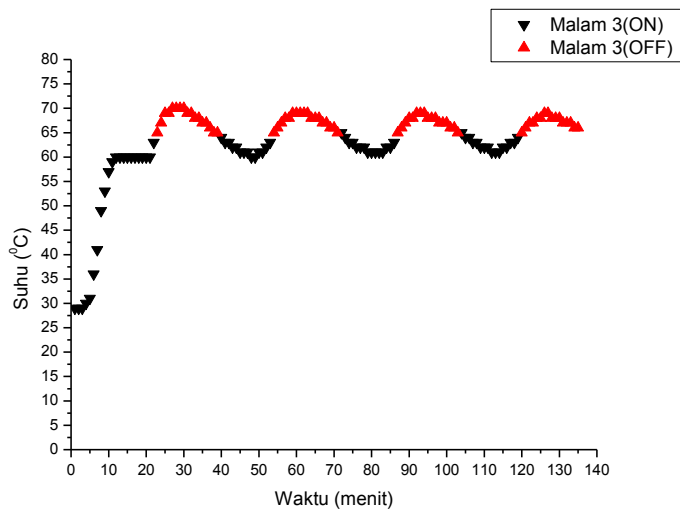
$$E_{tot 2} = (417 \pm 5)10^3 \text{ joule.}$$

Sehingga daya rata-rata yang dibutuhkan ketika bahan malam 2 siap digunakan sampai dengan menit ke 135 adalah

$$\frac{E_{tot 2}}{t_{malam 2}} = \frac{(417 \pm 5)10^3 \text{ joule}}{6960 \text{ detik}} = 60 \text{ watt.}$$

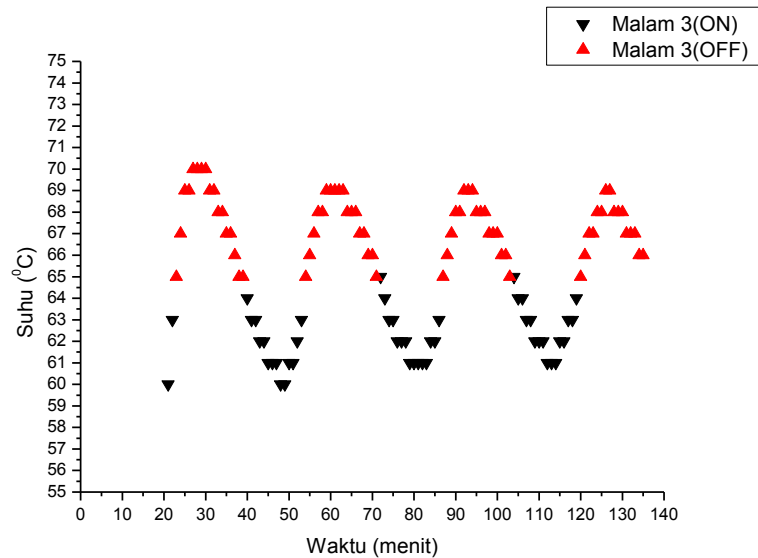
Daya rata-rata yang digunakan ketika bahan malam 2 siap digunakan sampai dengan ke 135 adalah 60 watt.

Berdasarkan percobaan untuk bahan malam jenis ketiga, kestabilan suhu dan saklar terhadap waktu dapat dilihat pada Gambar 93.



**Gambar 93.** Kestabilan suhu dan saklar sistem kontrol untuk bahan malam 3.

Dapat dilihat bahwa bahan malam 3 juga leleh pada suhu 60°C. Untuk melihat kestabilan suhu setelah meleleh, maka perlu dilakukan pemotongan grafik setelah menit ke 20.



**Gambar 94.** Kestabilan suhu dan saklar sistem kontrol untuk bahan malam 3. pada menit ke 20 sampai dengan menit ke 135.

Dari Gambar 94 dapat dilihat bahwa kestabilan untuk bahan malam 3 memiliki kondisi saklar *ON* ketika suhu mulai turun dan *OFF* ketika suhu mulai naik. Posisi perubahan saklar *ON* menuju *OFF* dan *OFF* menuju *ON* rata-rata berada pada suhu 65 sampai dengan 66. Kestabilan suhu untuk malam batik ini berada di range antara 60°C sampai dengan 70°C.

Energi yang digunakan pada kondisi *ON* ketika bahan malam 1 siap digunakan sampai dengan menit ke 135 adalah:

$$\begin{aligned}
 E_{ON\ 3} &= P_{ON} \cdot t \\
 &= 196,3 \text{ volt} \cdot 0,684 \text{ A} \cdot 3060 \text{ detik} \\
 &= 127,429 \text{ watt} \cdot 3060 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

$$= (390 \pm 5)10^3 \text{ joule.}$$

Sedangkan energi yang digunakan pada kondisi *OFF* ketika bahan malam 3 siap digunakan sampai dengan menit ke 135 adalah:

$$\begin{aligned} E_{OFF\ 3} &= P_{OFF} \cdot t \\ &= 218,9 \text{ volt} \cdot 5,28 \cdot 10^{-3} \text{ A} \cdot 3900 \text{ detik} \\ &= 1,16 \text{ watt} \cdot 3900 \text{ detik} \\ &= 4524 \pm 52 \text{ joule.} \end{aligned}$$

Sehingga energi total yang digunakan ketika bahan malam 1 siap digunakan sampai dengan menit ke 135 adalah:

$$\begin{aligned} E_{tot\ 3} &= E_{ON\ 3} + E_{OFF\ 3} \\ E_{tot\ 3} &= (395 \pm 5)10^3 \text{ joule.} \end{aligned}$$

Sehingga daya rata-rata yang dibutuhkan ketika bahan malam 1 siap digunakan sampai dengan menit ke 135 adalah

$$\frac{E_{tot\ 3}}{t_{malam\ 3}} = \frac{(395 \pm 5)10^3 \text{ joule}}{6960 \text{ detik}} = 57 \text{ watt.}$$

Daya rata-rata yang digunakan ketika bahan malam 3 siap digunakan sampai dengan ke 135 adalah 57 watt.

Rata-rata daya yang digunakan kompor batik listrik adalah

$$P_{rata-rata} = \frac{(62+60+57) \text{ watt}}{3} = 59 \text{ watt.}$$

Daya yang digunakan akan semakin kecil ketika penggunaan kompor batik listrik semakin lama. Semakin lama penggunaan kompor batik listrik, waktu *ON* akan semakin singkat sedangkan waktu *OFF* akan semakin lama. Semakin lama penggunaan kompor batik listrik, semakin rata kalor yang menyebar pada tungku keramik.

## BAB V PENUTUP

### A. Kesimpulan

1. Telah dirancang sistem kontrol suhu kompor batik listrik dengan diameter pemanas nikelin ( $0,150 \pm 0,005$ ) mm dan panjang ( $2,230 \pm 0,005$ ) m yang berhasil mengontrol suhu bahan malam klowong antara  $60^\circ\text{C}$  -  $70^\circ\text{C}$ , bahan malam tembok antara  $60^\circ\text{C}$  -  $71^\circ\text{C}$  dan bahan malam songkal antara  $60^\circ\text{C}$  -  $70^\circ\text{C}$ .

2. Fungsi transfer pada rancang bangun kompor batik listrik ini adalah

$$\frac{T_w(s)}{R_p(s)} = \frac{3,65 \cdot 10^{-4} X \text{ }^\circ\text{C}}{1 + 2,24 \cdot 10^{-3} X \Omega} \text{ dengan } X = \frac{1,017 T_{\text{nikel}}(s) - 0,202}{s} + 0,007$$

$(6,088 - 1,262 x_1)$

3. Daya yang diperlukan kompor batik listrik ini adalah 59 watt dan akan berkurang ketika semakin lama digunakan.

### B. Saran

1. Dilakukan pengukuran suhu pada setiap bagian bahan malam saat uji keseluruhan sistem, sehingga diperoleh data yang lebih akurat.
2. Dilakukan penelitian lebih lanjut dengan menggunakan rangkaian adaptor lebih sederhana sehingga daya yang terbuang pada adaptor dapat diminimalisir.
3. Dilakukan penelitian lebih lanjut dengan keramik lebih tipis sehingga pemanasan bahan malam dapat lebih cepat.
4. Dilakukan penelitian lebih lanjut dengan desain lebih tertutup sehingga kalor yang terbuang ke lingkungan lebih sedikit.



## DAFTAR PUSTAKA

- Batik giriloyo. - . *Kompas*. Diunduh tanggal 20 Januari 2018 di <https://batikgiriloyo.com/kompas/>
- Bishop, Owen. 2006. *Electronic – A First Course*. Burlington: Newnes
- Bolton, Wiliam. 2006. *Control System*. Burlington: Elseiver
- Glolab. 2015. *Relay-The Electromechanical Amplifier*. Diunduh tanggal 09 April 2017 di <http://www.glolab.com/relays/relays.html>.
- Halliday, David, Resnick, Robert and Walker, Jearl. 1978. *Physics*. New York: John Wiley & Sons.Inc.
- Halliday, David, Resnick, Robert and Walker, Jearl. 2010. *Fundamental of Physics 9th Edition*. New York: John Wiley & Sons.Inc.
- Hartomo, Anton J. 1994. *Mengenal Keramik Modern*. Yogyakarta: Andi Offset.
- Hobbs. 2007. *Unit 2: Resistor / Capacitor-Filters*. Diunduh tanggal 03 Januari 2018 di <http://mini.physics.sunysb.edu/~xudu/files/skUnit2.pdf>
- Hoge, Elisabeth dan Horn, Jane. 1986. *Ceramics*. Semarang: Dahara Prize.
- Holman, Jack P. 2010. *Heat Transfer Tenth Edition*. New York: Mc Graw Hill Education
- Hugh D. Young and Roger A. Freedman. 2008. *University Physics 12th Edition*. San Francisco: Pearson Addison Wesley.
- Kreith, Frank. 2011. *Principles of Heat Transfer Seventh Edition*. Boca Raton: CRC Press LCC.
- Kress Rogers, Erika and J.B. Brimelow, Christopher. 2000. *Instrumentation and Sensors for The Food Industry*. Washington: CRC Press.
- Kudiya, Komarudin. 2011. *Batik-Eksistensi untuk Tradisi*. Jakarta: Dian Rakyat.
- Malvino, Albert and Bates, David. 2016. *Elektronik Principles*. New York: Mc Graw Hill Education
- Musman, Asti dan B. Arini Ambar. 2011. *BATIK-Warisan Adiluhung Nusantara*. Yogyakarta: Andi Offset.
- Ogata, Katsuhito. 2010. *Modern Control Engineering Fifth Edition*. New Jersey: Pearson Education.

- On Semiconductor. 2018. *Low Offset Voltage dual Comparator*. Diunduh pada 2 Februari 2018 di <http://www.onsemi.com/pub/Collateral/LM393-D.PDF>
- Park, John and Mackay, Steve. 2003. *Practical Data Acquisition for Instrumentation and Control Systems*. Burlington: Newnes
- Sofyan, Bondan T. 2010. *Pengantar Material Teknik*. Jakarta: Salemba Teknik.
- Tipler, Paul A. 2008. *Physics For Scientist and Engineering Six th Edition*. New York: W. H. Freeman and Company
- University of Nevada, Las Vegas. - . *Relay Basics*. Diunduh pada 15 April 2017 di <http://ww.physics.unlv.edu/~bill/PHYS483/relay.pdf>
- Wulandari, Ari. 2011. *Batik Nusantara – Makna Filosofi, Cara Pembuatan dan Industri Batik*. Yogyakarta: Andi Offset.

## LAMPIRAN

**Lampiran 1. Data Listrik PLN**

No	Waktu (ms)	Tegangan (volt)
	14,2177	-0,0305
	14,2404	-0,0122
	14,2630	-0,0061
1	14,2857	0,0122
2	14,3084	0,0244
3	14,3311	0,0427
4	14,3537	0,0580
5	14,3764	0,0702
6	14,3991	0,0916
7	14,4218	0,1007
8	14,4444	0,1221
9	14,4671	0,1190
10	14,4898	0,1221
11	14,5125	0,1404
12	14,5351	0,1587
13	14,5578	0,1831
14	14,5805	0,1923
15	14,6032	0,2045
16	14,6259	0,1984
17	14,6485	0,2167
18	14,6712	0,2472
19	14,6939	0,2472
20	14,7166	0,2441
21	14,7392	0,2625
22	14,7619	0,2869
23	14,7846	0,2777
24	14,8073	0,2930
25	14,8299	0,3204
26	14,8526	0,3296
27	14,8753	0,3235
28	14,8980	0,3479
29	14,9206	0,3632
30	14,9433	0,3662
31	14,9660	0,3845
32	14,9887	0,3876

33	15,0113	0,4120
34	15,0340	0,4151
35	15,0567	0,4120
36	15,0794	0,4425
37	15,1020	0,4395
38	15,1247	0,4517
39	15,1474	0,4517
40	15,1701	0,4730
41	15,1927	0,4730
42	15,2154	0,4944
43	15,2381	0,4913
44	15,2608	0,5097
45	15,2834	0,5158
46	15,3061	0,5280
47	15,3288	0,5493
48	15,3515	0,5493
49	15,3741	0,5615
50	15,3968	0,5799
51	15,4195	0,5799
52	15,4422	0,5768
53	15,4649	0,5860
54	15,4875	0,6012
55	15,5102	0,6104
56	15,5329	0,6317
57	15,5556	0,6317
58	15,5782	0,6287
59	15,6009	0,6561
60	15,6236	0,6561
61	15,6463	0,6684
62	15,6689	0,6775
63	15,6916	0,6958
64	15,7143	0,7019
65	15,7370	0,7141
66	15,7596	0,7294
67	15,7823	0,7385
68	15,8050	0,7538
69	15,8277	0,7538

70	15,8503	0,7660
71	15,8730	0,7843
72	15,8957	0,7935
73	15,9184	0,8026
74	15,9410	0,8240
75	15,9637	0,8362
76	15,9864	0,8423
77	16,0091	0,8606
78	16,0317	0,8789
79	16,0544	0,8759
80	16,0771	0,8850
81	16,0998	0,8942
82	16,1224	0,9064
83	16,1451	0,9156
84	16,1678	0,9247
85	16,1905	0,9308
86	16,2132	0,9430
87	16,2358	0,9552
88	16,2585	0,9644
89	16,2812	0,9674
90	16,3039	0,9857
91	16,3265	0,9857
92	16,3492	1,0071
93	16,3719	1,0163
94	16,3946	1,0102
95	16,4172	1,0285
96	16,4399	1,0407
97	16,4626	1,0437
98	16,4853	1,0468
99	16,5079	1,0620
100	16,5306	1,0712
101	16,5533	1,0743
102	16,5760	1,0895
103	16,5986	1,0895
104	16,6213	1,1048
105	16,6440	1,1170
106	16,6667	1,1139
107	16,6893	1,1231
108	16,7120	1,1261
109	16,7347	1,1322
110	16,7574	1,1536

111	16,7800	1,1536
112	16,8027	1,1689
113	16,8254	1,1780
114	16,8481	1,1902
115	16,8707	1,1933
116	16,8934	1,2085
117	16,9161	1,2116
118	16,9388	1,2146
119	16,9615	1,2268
120	16,9841	1,2329
121	17,0068	1,2391
122	17,0295	1,2543
123	17,0522	1,2665
124	17,0748	1,2665
125	17,0975	1,2787
126	17,1202	1,2757
127	17,1429	1,2848
128	17,1655	1,2909
129	17,1882	1,2970
130	17,2109	1,3031
131	17,2336	1,3092
132	17,2562	1,3245
133	17,2789	1,3245
134	17,3016	1,3367
135	17,3243	1,3398
136	17,3469	1,3367
137	17,3696	1,3489
138	17,3923	1,3581
139	17,4150	1,3703
140	17,4376	1,3733
141	17,4603	1,3733
142	17,4830	1,3825
143	17,5057	1,3855
144	17,5283	1,3916
145	17,5510	1,4008
146	17,5737	1,4100
147	17,5964	1,4100
148	17,6190	1,4161
149	17,6417	1,4130
150	17,6644	1,4344
151	17,6871	1,4344

152	17,7098	1,4344
153	17,7324	1,4405
154	17,7551	1,4405
155	17,7778	1,4435
156	17,8005	1,4405
157	17,8231	1,4588
158	17,8458	1,4557
159	17,8685	1,4710
160	17,8912	1,4649
161	17,9138	1,4740
162	17,9365	1,4801
163	17,9592	1,4832
164	17,9819	1,4832
165	18,0045	1,4924
166	18,0272	1,4954
167	18,0499	1,4924
168	18,0726	1,5076
169	18,0952	1,5168
170	18,1179	1,4954
171	18,1406	1,5198
172	18,1633	1,5198
173	18,1859	1,5290
174	18,2086	1,5290
175	18,2313	1,5320
176	18,2540	1,5473
177	18,2766	1,5534
178	18,2993	1,5442
179	18,3220	1,5595
180	18,3447	1,5717
181	18,3673	1,5748
182	18,3900	1,5778
183	18,4127	1,5687
184	18,4354	1,5839
185	18,4580	1,5778
186	18,4807	1,5961
187	18,5034	1,6083
188	18,5261	1,5992
189	18,5488	1,5961
190	18,5714	1,6144
191	18,5941	1,6205
192	18,6168	1,6266

193	18,6395	1,6144
194	18,6621	1,6297
195	18,6848	1,6327
196	18,7075	1,6358
197	18,7302	1,6419
198	18,7528	1,6388
199	18,7755	1,6449
200	18,7982	1,6449
201	18,8209	1,6541
202	18,8435	1,6449
203	18,8662	1,6541
204	18,8889	1,6541
205	18,9116	1,6480
206	18,9342	1,6663
207	18,9569	1,6633
208	18,9796	1,6572
209	19,0023	1,6572
210	19,0249	1,6602
211	19,0476	1,6633
212	19,0703	1,6633
213	19,0930	1,6633
214	19,1156	1,6541
215	19,1383	1,6633
216	19,1610	1,6572
217	19,1837	1,6602
218	19,2063	1,6694
219	19,2290	1,6602
220	19,2517	1,6511
221	19,2744	1,6602
222	19,2971	1,6480
223	19,3197	1,6480
224	19,3424	1,6602
225	19,3651	1,6541
226	19,3878	1,6480
227	19,4104	1,6511
228	19,4331	1,6480
229	19,4558	1,6511
230	19,4785	1,6511
231	19,5011	1,6449
232	19,5238	1,6236
233	19,5465	1,6388

234	19,5692	1,6358
235	19,5918	1,6419
236	19,6145	1,6388
237	19,6372	1,6297
238	19,6599	1,6388
239	19,6825	1,6297
240	19,7052	1,6266
241	19,7279	1,6358
242	19,7506	1,6327
243	19,7732	1,6327
244	19,7959	1,6144
245	19,8186	1,6297
246	19,8413	1,6266
247	19,8639	1,6205
248	19,8866	1,6144
249	19,9093	1,6114
250	19,9320	1,6175
251	19,9546	1,6114
252	19,9773	1,6144
253	20,0000	1,6205
254	20,0227	1,6022
255	20,0454	1,6053
256	20,0680	1,6144
257	20,0907	1,6053
258	20,1134	1,6083
259	20,1361	1,5931
260	20,1587	1,5931
261	20,1814	1,5931
262	20,2041	1,5961
263	20,2268	1,6022
264	20,2494	1,5839
265	20,2721	1,5931
266	20,2948	1,5900
267	20,3175	1,5900
268	20,3401	1,5778
269	20,3628	1,5778
270	20,3855	1,5778
271	20,4082	1,5717
272	20,4308	1,5748
273	20,4535	1,5656
274	20,4762	1,5717

275	20,4989	1,5656
276	20,5215	1,5656
277	20,5442	1,5717
278	20,5669	1,5748
279	20,5896	1,5534
280	20,6122	1,5564
281	20,6349	1,5625
282	20,6576	1,5534
283	20,6803	1,5534
284	20,7029	1,5473
285	20,7256	1,5534
286	20,7483	1,5412
287	20,7710	1,5412
288	20,7937	1,5320
289	20,8163	1,5412
290	20,8390	1,5320
291	20,8617	1,5259
292	20,8844	1,5290
293	20,9070	1,5351
294	20,9297	1,5168
295	20,9524	1,5259
296	20,9751	1,5290
297	20,9977	1,5137
298	21,0204	1,5137
299	21,0431	1,5168
300	21,0658	1,5198
301	21,0884	1,5046
302	21,1111	1,5107
303	21,1338	1,5076
304	21,1565	1,5046
305	21,1791	1,5107
306	21,2018	1,5015
307	21,2245	1,5046
308	21,2472	1,4924
309	21,2698	1,4924
310	21,2925	1,4893
311	21,3152	1,4801
312	21,3379	1,4924
313	21,3605	1,4863
314	21,3832	1,4679
315	21,4059	1,4679

316	21,4286	1,4618
317	21,4512	1,4649
318	21,4739	1,4557
319	21,4966	1,4252
320	21,5193	1,4252
321	21,5419	1,4130
322	21,5646	1,4039
323	21,5873	1,3977
324	21,6100	1,3855
325	21,6327	1,3886
326	21,6553	1,3642
327	21,6780	1,3550
328	21,7007	1,3428
329	21,7234	1,3398
330	21,7460	1,3367
331	21,7687	1,3153
332	21,7914	1,3001
333	21,8141	1,2909
334	21,8367	1,2818
335	21,8594	1,2757
336	21,8821	1,2604
337	21,9048	1,2513
338	21,9274	1,2482
339	21,9501	1,2299
340	21,9728	1,2268
341	21,9955	1,2177
342	22,0181	1,1994
343	22,0408	1,1841
344	22,0635	1,1872
345	22,0862	1,1811
346	22,1088	1,1658
347	22,1315	1,1597
348	22,1542	1,1505
349	22,1769	1,1353
350	22,1995	1,1231
351	22,2222	1,1109
352	22,2449	1,0987
353	22,2676	1,0987
354	22,2903	1,0834
355	22,3129	1,0773
356	22,3356	1,0651

357	22,3583	1,0498
358	22,3810	1,0407
359	22,4036	1,0285
360	22,4263	1,0163
361	22,4490	1,0132
362	22,4717	1,0010
363	22,4943	0,9888
364	22,5170	0,9796
365	22,5397	0,9705
366	22,5624	0,9552
367	22,5850	0,9461
368	22,6077	0,9308
369	22,6304	0,9278
370	22,6531	0,9186
371	22,6757	0,9003
372	22,6984	0,8881
373	22,7211	0,8789
374	22,7438	0,8667
375	22,7664	0,8454
376	22,7891	0,8423
377	22,8118	0,8362
378	22,8345	0,8118
379	22,8571	0,8087
380	22,8798	0,8026
381	22,9025	0,7813
382	22,9252	0,7660
383	22,9478	0,7477
384	22,9705	0,7447
385	22,9932	0,7263
386	23,0159	0,7263
387	23,0385	0,7080
388	23,0612	0,6928
389	23,0839	0,6684
390	23,1066	0,6623
391	23,1293	0,6592
392	23,1519	0,6409
393	23,1746	0,6287
394	23,1973	0,6195
395	23,2200	0,6012
396	23,2426	0,5951
397	23,2653	0,5799

398	23,2880	0,5676
399	23,3107	0,5524
400	23,3333	0,5310
401	23,3560	0,5219
402	23,3787	0,5127
403	23,4014	0,4975
404	23,4240	0,4822
405	23,4467	0,4852
406	23,4694	0,4608
407	23,4921	0,4517
408	23,5147	0,4456
409	23,5374	0,4273
410	23,5601	0,4120
411	23,5828	0,3937
412	23,6054	0,3815
413	23,6281	0,3784
414	23,6508	0,3571
415	23,6735	0,3571
416	23,6961	0,3327
417	23,7188	0,3265
418	23,7415	0,3174
419	23,7642	0,3021
420	23,7868	0,2899
421	23,8095	0,2869
422	23,8322	0,2686
423	23,8549	0,2533
424	23,8776	0,2411
425	23,9002	0,2380
426	23,9229	0,2106
427	23,9456	0,2197
428	23,9683	0,1831
429	23,9909	0,1923
430	24,0136	0,1587
431	24,0363	0,1526
432	24,0590	0,1556
433	24,0816	0,1190
434	24,1043	0,1221
435	24,1270	0,0855
436	24,1497	0,0916
437	24,1723	0,0885
438	24,1950	0,0580

439	24,2177	0,0427
440	24,2404	0,0427
441	24,2630	0,0336
442	24,2857	0,0061
443	24,3084	0,0092
444	24,3311	-0,0153
445	24,3537	-0,0305
446	24,3764	-0,0488
447	24,3991	-0,0519
448	24,4218	-0,0610
449	24,4444	-0,0824
450	24,4671	-0,0946
451	24,4898	-0,1160
452	24,5125	-0,1221
453	24,5351	-0,1282
454	24,5578	-0,1404
455	24,5805	-0,1404
456	24,6032	-0,1617
457	24,6259	-0,1831
458	24,6485	-0,1892
459	24,6712	-0,2136
460	24,6939	-0,2228
461	24,7166	-0,2472
462	24,7392	-0,2472
463	24,7619	-0,2655
464	24,7846	-0,2625
465	24,8073	-0,2808
466	24,8299	-0,2930
467	24,8526	-0,3113
468	24,8753	-0,3296
469	24,8980	-0,3296
470	24,9206	-0,3479
471	24,9433	-0,3449
472	24,9660	-0,3632
473	24,9887	-0,3754
474	25,0113	-0,3815
475	25,0340	-0,3784
476	25,0567	-0,3967
477	25,0794	-0,4151
478	25,1020	-0,4212
479	25,1247	-0,4395



480	25,1474	-0,4425
481	25,1701	-0,4486
482	25,1927	-0,4578
483	25,2154	-0,4700
484	25,2381	-0,4944
485	25,2608	-0,4944
486	25,2834	-0,5036
487	25,3061	-0,5036
488	25,3288	-0,5158
489	25,3515	-0,5402
490	25,3741	-0,5463
491	25,3968	-0,5432
492	25,4195	-0,5554
493	25,4422	-0,5768
494	25,4649	-0,5799
495	25,4875	-0,5768
496	25,5102	-0,5951
497	25,5329	-0,6073
498	25,5556	-0,6073
499	25,5782	-0,6317
500	25,6009	-0,6409
501	25,6236	-0,6409
502	25,6463	-0,6623
503	25,6689	-0,6775
504	25,6916	-0,6714
505	25,7143	-0,7019
506	25,7370	-0,6897
507	25,7596	-0,7141
508	25,7823	-0,7233
509	25,8050	-0,7385
510	25,8277	-0,7569
511	25,8503	-0,7508
512	25,8730	-0,7752
513	25,8957	-0,7691
514	25,9184	-0,7965
515	25,9410	-0,7904
516	25,9637	-0,8240
517	25,9864	-0,8271
518	26,0091	-0,8393
519	26,0317	-0,8454
520	26,0544	-0,8484

521	26,0771	-0,8667
522	26,0998	-0,8728
523	26,1224	-0,8911
524	26,1451	-0,8972
525	26,1678	-0,9003
526	26,1905	-0,9125
527	26,2132	-0,9186
528	26,2358	-0,9308
529	26,2585	-0,9430
530	26,2812	-0,9552
531	26,3039	-0,9735
532	26,3265	-0,9796
533	26,3492	-0,9735
534	26,3719	-0,9888
535	26,3946	-1,0010
536	26,4172	-1,0071
537	26,4399	-1,0193
538	26,4626	-1,0285
539	26,4853	-1,0407
540	26,5079	-1,0529
541	26,5306	-1,0559
542	26,5533	-1,0529
543	26,5760	-1,0712
544	26,5986	-1,0743
545	26,6213	-1,0743
546	26,6440	-1,0926
547	26,6667	-1,1017
548	26,6893	-1,1170
549	26,7120	-1,1231
550	26,7347	-1,1261
551	26,7574	-1,1414
552	26,7800	-1,1475
553	26,8027	-1,1475
554	26,8254	-1,1689
555	26,8481	-1,1811
556	26,8707	-1,1841
557	26,8934	-1,1841
558	26,9161	-1,1963
559	26,9388	-1,2085
560	26,9615	-1,2116
561	26,9841	-1,2238

562	27,0068	-1,2268
563	27,0295	-1,2421
564	27,0522	-1,2391
565	27,0748	-1,2513
566	27,0975	-1,2574
567	27,1202	-1,2574
568	27,1429	-1,2757
569	27,1655	-1,2787
570	27,1882	-1,2879
571	27,2109	-1,3001
572	27,2336	-1,3001
573	27,2562	-1,3245
574	27,2789	-1,3245
575	27,3016	-1,3306
576	27,3243	-1,3459
577	27,3469	-1,3367
578	27,3696	-1,3428
579	27,3923	-1,3550
580	27,4150	-1,3611
581	27,4376	-1,3611
582	27,4603	-1,3825
583	27,4830	-1,3825
584	27,5057	-1,3825
585	27,5283	-1,3825
586	27,5510	-1,3916
587	27,5737	-1,4100
588	27,5964	-1,4191
589	27,6190	-1,4161
590	27,6417	-1,4191
591	27,6644	-1,4313
592	27,6871	-1,4283
593	27,7098	-1,4374
594	27,7324	-1,4466
595	27,7551	-1,4435
596	27,7778	-1,4466
597	27,8005	-1,4466
598	27,8231	-1,4557
599	27,8458	-1,4557
600	27,8685	-1,4710
601	27,8912	-1,4679
602	27,9138	-1,4771

603	27,9365	-1,4771
604	27,9592	-1,4832
605	27,9819	-1,4863
606	28,0045	-1,4954
607	28,0272	-1,5046
608	28,0499	-1,5015
609	28,0726	-1,5076
610	28,0952	-1,4924
611	28,1179	-1,5107
612	28,1406	-1,5076
613	28,1633	-1,5229
614	28,1859	-1,5290
615	28,2086	-1,5320
616	28,2313	-1,5442
617	28,2540	-1,5503
618	28,2766	-1,5534
619	28,2993	-1,5564
620	28,3220	-1,5625
621	28,3447	-1,5687
622	28,3673	-1,5748
623	28,3900	-1,5839
624	28,4127	-1,5839
625	28,4354	-1,5809
626	28,4580	-1,5931
627	28,4807	-1,5931
628	28,5034	-1,5961
629	28,5261	-1,6083
630	28,5488	-1,6175
631	28,5714	-1,6236
632	28,5941	-1,6144
633	28,6168	-1,6236
634	28,6395	-1,6480
635	28,6621	-1,6449
636	28,6848	-1,6419
637	28,7075	-1,6480
638	28,7302	-1,6419
639	28,7528	-1,6480
640	28,7755	-1,6541
641	28,7982	-1,6572
642	28,8209	-1,6633
643	28,8435	-1,6511

644	28,8662	-1,6663
645	28,8889	-1,6724
646	28,9116	-1,6602
647	28,9342	-1,6724
648	28,9569	-1,6846
649	28,9796	-1,6755
650	29,0023	-1,6755
651	29,0249	-1,6724
652	29,0476	-1,6694
653	29,0703	-1,6694
654	29,0930	-1,6602
655	29,1156	-1,6724
656	29,1383	-1,6755
657	29,1610	-1,6633
658	29,1837	-1,6663
659	29,2063	-1,6694
660	29,2290	-1,6785
661	29,2517	-1,6755
662	29,2744	-1,6724
663	29,2971	-1,6663
664	29,3197	-1,6694
665	29,3424	-1,6633
666	29,3651	-1,6572
667	29,3878	-1,6663
668	29,4104	-1,6602
669	29,4331	-1,6602
670	29,4558	-1,6633
671	29,4785	-1,6602
672	29,5011	-1,6633
673	29,5238	-1,6572
674	29,5465	-1,6511
675	29,5692	-1,6511
676	29,5918	-1,6480
677	29,6145	-1,6511
678	29,6372	-1,6419
679	29,6599	-1,6511
680	29,6825	-1,6480
681	29,7052	-1,6358
682	29,7279	-1,6327
683	29,7506	-1,6419
684	29,7732	-1,6358

685	29,7959	-1,6419
686	29,8186	-1,6358
687	29,8413	-1,6388
688	29,8639	-1,6266
689	29,8866	-1,6297
690	29,9093	-1,6327
691	29,9320	-1,6236
692	29,9546	-1,6266
693	29,9773	-1,6297
694	30,0000	-1,6297
695	30,0227	-1,6144
696	30,0454	-1,6236
697	30,0680	-1,6175
698	30,0907	-1,6114
699	30,1134	-1,6114
700	30,1361	-1,5992
701	30,1587	-1,6114
702	30,1814	-1,6083
703	30,2041	-1,6083
704	30,2268	-1,6083
705	30,2494	-1,6114
706	30,2721	-1,5992
707	30,2948	-1,6022
708	30,3175	-1,5992
709	30,3401	-1,5839
710	30,3628	-1,5961
711	30,3855	-1,5900
712	30,4082	-1,5870
713	30,4308	-1,5870
714	30,4535	-1,5961
715	30,4762	-1,5809
716	30,4989	-1,5870
717	30,5215	-1,5748
718	30,5442	-1,5809
719	30,5669	-1,5839
720	30,5896	-1,5839
721	30,6122	-1,5656
722	30,6349	-1,5748
723	30,6576	-1,5748
724	30,6803	-1,5625
725	30,7029	-1,5656

726	30,7256	-1,5595
727	30,7483	-1,5564
728	30,7710	-1,5687
729	30,7937	-1,5503
730	30,8163	-1,5503
731	30,8390	-1,5503
732	30,8617	-1,5503
733	30,8844	-1,5473
734	30,9070	-1,5564
735	30,9297	-1,5381
736	30,9524	-1,5412
737	30,9751	-1,5412
738	30,9977	-1,5381
739	31,0204	-1,5320
740	31,0431	-1,5320
741	31,0658	-1,5320
742	31,0884	-1,5229
743	31,1111	-1,5290
744	31,1338	-1,5320
745	31,1565	-1,5137
746	31,1791	-1,5168
747	31,2018	-1,5229
748	31,2245	-1,5076
749	31,2472	-1,5046
750	31,2698	-1,5076
751	31,2925	-1,4985
752	31,3152	-1,5015
753	31,3379	-1,4924
754	31,3605	-1,4924
755	31,3832	-1,4893
756	31,4059	-1,4924
757	31,4286	-1,4924
758	31,4512	-1,4863
759	31,4739	-1,4832
760	31,4966	-1,4679
761	31,5193	-1,4740
762	31,5420	-1,4435
763	31,5646	-1,4405
764	31,5873	-1,4222
765	31,6100	-1,4222
766	31,6327	-1,4130

767	31,6553	-1,4069
768	31,6780	-1,3855
769	31,7007	-1,3855
770	31,7234	-1,3611
771	31,7460	-1,3581
772	31,7687	-1,3520
773	31,7914	-1,3337
774	31,8141	-1,3215
775	31,8367	-1,3123
776	31,8594	-1,3062
777	31,8821	-1,3031
778	31,9048	-1,2757
779	31,9274	-1,2787
780	31,9501	-1,2635
781	31,9728	-1,2513
782	31,9955	-1,2482
783	32,0181	-1,2207
784	32,0408	-1,2146
785	32,0635	-1,1963
786	32,0862	-1,2024
787	32,1088	-1,1841
788	32,1315	-1,1689
789	32,1542	-1,1689
790	32,1769	-1,1658
791	32,1995	-1,1505
792	32,2222	-1,1322
793	32,2449	-1,1383
794	32,2676	-1,1139
795	32,2903	-1,1017
796	32,3129	-1,0956
797	32,3356	-1,0956
798	32,3583	-1,0834
799	32,3810	-1,0743
800	32,4036	-1,0559
801	32,4263	-1,0498
802	32,4490	-1,0346
803	32,4717	-1,0285
804	32,4943	-1,0163
805	32,5170	-1,0010
806	32,5397	-0,9980
807	32,5624	-0,9827

808	32,5850	-0,9796
809	32,6077	-0,9644
810	32,6304	-0,9552
811	32,6531	-0,9278
812	32,6757	-0,9278
813	32,6984	-0,9156
814	32,7211	-0,9095
815	32,7438	-0,9033
816	32,7664	-0,8759
817	32,7891	-0,8728
818	32,8118	-0,8545
819	32,8345	-0,8515
820	32,8571	-0,8332
821	32,8798	-0,8209
822	32,9025	-0,7996
823	32,9252	-0,7935
824	32,9478	-0,7752
825	32,9705	-0,7630
826	32,9932	-0,7599
827	33,0159	-0,7385
828	33,0385	-0,7263
829	33,0612	-0,7111
830	33,0839	-0,6958
831	33,1066	-0,6897
832	33,1293	-0,6714
833	33,1519	-0,6592
834	33,1746	-0,6470
835	33,1973	-0,6409
836	33,2200	-0,6165
837	33,2426	-0,6134
838	33,2653	-0,5982
839	33,2880	-0,5829
840	33,3107	-0,5585
841	33,3333	-0,5676
842	33,3560	-0,5371
843	33,3787	-0,5493
844	33,4014	-0,5219
845	33,4240	-0,5158
846	33,4467	-0,5005
847	33,4694	-0,4883
848	33,4921	-0,4669

849	33,5147	-0,4608
850	33,5374	-0,4547
851	33,5601	-0,4273
852	33,5828	-0,4334
853	33,6054	-0,4059
854	33,6281	-0,3876
855	33,6508	-0,3845
856	33,6735	-0,3784
857	33,6961	-0,3510
858	33,7188	-0,3449
859	33,7415	-0,3327
860	33,7642	-0,3204
861	33,7868	-0,3082
862	33,8095	-0,3082
863	33,8322	-0,2899
864	33,8549	-0,2686
865	33,8776	-0,2533
866	33,9002	-0,2564
867	33,9229	-0,2441
868	33,9456	-0,2380
869	33,9683	-0,2075
870	33,9909	-0,1892
871	34,0136	-0,1984
872	34,0363	-0,1862
873	34,0590	-0,1648
874	34,0816	-0,1587
875	34,1043	-0,1312
876	34,1270	-0,1129
877	34,1497	-0,1007
878	34,1723	-0,0946
879	34,1950	-0,0763
880	34,2177	-0,0732
881	34,2404	-0,0488
882	34,2630	-0,0366
883	34,2857	-0,0336
884	34,3084	-0,0183
885	34,3311	-0,0183
886	34,3537	0,0031
887	34,3764	0,0153
888	34,3991	0,0397
889	34,4218	0,0580

890	34,4444	0,0610
891	34,4671	0,0702
892	34,4898	0,0824

893	34,5125	0,0885
894	34,5351	0,0946

### Lampiran 2. Spektrum Frekuensi Adaptor Setelah Dioda

Frekuensi (Hz)	Amplitudo Sebelum (mV)	Amplitudo Sesudah (mV)
51,1414	0,012341	0,010672
99,5911	1,025221	0,113725
150,7324	0,010926	0,0034
199,1821	0,205569	0,032732
250,3235	0,011068	0,00054
298,7732	0,047681	0,006491
349,9146	0,010678	0,000269
401,0559	0,040334	0,012071
449,5056	0,009184	0,000564
500,647	0,006358	0,002494

549,0967	0,00854	0,000476
600,238	0,009448	0,002933
648,6877	0,006425	0,000608
699,8291	0,007855	0,00129
750,9705	0,006098	0,000384
799,4202	0,012319	0,001524
850,5615	0,005076	0,000531
899,0112	0,001929	0,000604
950,1526	0,004853	0,000421
998,6023	0,013692	0,001925
1049,744	0,003717	0,000285
1100,885	0,00189	0,0005
1149,335	0,00335	0,000412

### Lampiran 3. Spektrum Frekuensi Adaptor

Frekuensi (Hz)	Amplitudo Sebelum (mV)	Amplitudo Sesudah (mV)
51,1414	0,076459	0,075209
102,2827	0,000396	0,000968
150,7324	0,002845	0,003278
201,8738	0,000418	0,000288
253,0151	0,000398	0,000419
293,3899	0,000768	0,000525
349,9146	0,002955	0,00317
403,7476	0,000145	0,000315
449,5056	0,005837	0,006648

503,3386	0,000237	0,000203
549,0967	0,002517	0,00321
605,6213	0,000207	0,000276
651,3794	0,003598	0,003279
702,5208	0,000086	0,000206
750,9705	0,003261	0,003097
796,7285	0,000305	0,000286
850,5615	0,001439	0,001209
952,8442	0,001099	0,000851
1052,435	0,000812	0,000869
1152,026	0,000982	0,000932

**Lampiran 4. Resistansi Nikelin**

No	Panjang ( $\pm 0,05$ cm)	Resistansi ( $\Omega$ )			
		Diameter ( $0,150 \pm$ $0,005$ ) mm	Diameter ( $0,200 \pm$ $0,005$ ) mm	Diameter ( $0,250 \pm$ $0,005$ ) mm	Diameter ( $0,400 \pm$ $0,005$ ) mm
1	5,00	3,5	2,2	1,6	0,6
2	10,00	7	4,5	3	1,2
3	15,00	11	6,5	4,5	1,8
4	20,00	14	9	6	2,4
5	25,00	18	11	7,5	2,8
6	30,00	20	13	9	3,5
7	35,00	26	15	11	4
8	40,00	28	17	12	4,5
9	45,00	30	19	13	5
10	50,00	35	20	15	6
11	55,00	40	22	16	6,5
12	60,00	40	24	17	7
13	65,00	45	26	19	7,5
14	70,00	50	28	20	8
15	75,00	55	30	22	8,5

**A. Lampiran 5. Tegangan dan Arus PLN terhadap Panjang**

No	Panjang ( m)	V (volt)	Arus	
			Terbaca (mA)	Real (mA)
1	5,00	192,5	2,76	0,4140
2	4,75	192,4	2,85	0,4275
3	4,50	192,3	3,08	0,4620
4	4,25	191,9	3,20	0,4800
5	4,00	191,7	3,27	0,4905
6	3,75	191,6	3,54	0,5310
7	3,50	191,2	3,61	0,5415
8	3,25	190,1	3,77	0,5655
9	3,00	189,5	3,90	0,5850
10	2,75	188,9	4,00	0,6000
11	2,50	187,3	4,30	0,6450
12	2,25	186,5	4,50	0,6750
13	2,00	185,9	4,74	0,7110
14	1,75	185,5	5,22	0,7830
15	1,50	184,7	5,51	0,8265

**Lampiran 6. Perubahan Suhu Aquadest Terhadap Waktu**

Nikelin 5,00 meter		
No.	Waktu (s)	Suhu (°C)
1	0	26
2	30	30
3	60	34
4	90	38
5	120	42
6	150	46
7	180	50
8	210	54
9	240	58
10	270	61
11	300	66
12	330	69
13	360	73
14	390	77
15	420	81
16	450	84
17	480	87
18	510	90

Nikelin 4,75 meter		
No	Waktu (s)	Suhu (°C)
1	0	27
2	30	31
3	60	35
4	90	40
5	120	44
6	150	48
7	180	52
8	210	56
9	240	60
10	270	65

11	300	69
12	330	73
13	360	77
14	390	81
15	420	85
16	450	89
17	480	92

Nikelin 4,50 meter		
No	Waktu (s)	Suhu (°C)
1	0	25
2	30	29
3	60	34
4	90	39
5	120	43
6	150	48
7	180	53
8	210	57
9	240	62
10	270	67
11	300	72
12	330	76
13	360	81
14	390	85
15	420	89

Nikelin 4,25 meter		
No.	Waktu (s)	Suhu (°C)
1	0	26
2	30	31
3	60	36
4	90	41
5	120	46
6	150	51



7	180	56
8	210	61
9	240	66
10	270	71
11	300	76
12	330	81
13	360	85
14	390	89

Nikelin 4,00 meter		
No.	Waktu (s)	Suhu (°C)
1	0	25
2	30	30
3	60	35
4	90	41
5	120	46
6	150	51
7	180	57
8	210	63
9	240	68
10	270	73
11	300	78
12	330	83
13	360	87
14	390	91

Nikelin 3,75 meter		
No.	Waktu (s)	Suhu (°C)
1	0	24
2	30	30
3	60	36
4	90	42
5	120	48
6	150	54
7	180	60

8	210	66
9	240	72
10	270	77
11	300	83
12	330	88
13	360	92

Nikelin 3,50 meter		
No.	Waktu (s)	Suhu (°C)
1	0	26
2	30	32
3	60	38
4	90	44
5	120	50
6	150	57
7	180	63
8	210	69
9	240	75
10	270	81
11	300	87
12	330	92

Nikelin 3,25 meter		
No.	Waktu (s)	Suhu (°C)
1	0	27
2	30	33
3	60	40
4	90	47
5	120	54
6	150	61
7	180	68
8	210	74
9	240	81
10	270	87
11	300	93

Nikelin 3,00 meter		
No.	Waktu (s)	Suhu (°C)
1	0	26
2	30	33
3	60	40
4	90	48
5	120	56
6	150	64
7	180	71
8	210	78
9	240	84
10	270	90

Nikelin 2,75 meter		
No.	Waktu (s)	Suhu (°C)
1	0	28
2	30	35
3	60	43
4	90	51
5	120	60
6	150	68
7	180	76
8	210	83
9	240	90

Nikelin 2,50 meter		
No.	Waktu (s)	Suhu (°C)
1	0	27
2	30	35
3	60	44
4	90	53
5	120	62

6	150	71
7	180	79
8	210	87
9	240	95

Nikelin 2,25 meter		
No.	Waktu (s)	Suhu (°C)
1	0	30
2	30	39
3	60	48
4	90	58
5	120	68
6	150	77
7	180	86
8	210	94

Nikelin 2,00 meter		
No.	Waktu (s)	Suhu (°C)
1	0	30
2	30	39
3	60	49
4	90	59
5	120	69
6	150	78
7	180	87
8	210	95

Nikelin 1,75 meter		
No.	Waktu (s)	Suhu (°C)
1	0	29
2	30	39
3	60	50
4	90	60

5	120	70
6	150	80
7	180	89

Nikelin 1,50 meter		
No.	Waktu	Suhu
	(s)	(°C)
1	0	30
2	30	41
3	60	52
4	90	63
5	120	72
6	150	82
7	180	91

#### Lampiran 7. Data Sensor PT-100

No	T (°C)	R (Ω)	V (volt)
1	30	113,5	0,472
2	35	115,2	0,479
3	40	116,8	0,485
4	45	118,4	0,492
5	50	120,0	0,498
6	55	121,7	0,504
7	60	123,4	0,511
8	65	125,0	0,517
9	70	126,8	0,523
10	75	128,5	0,529
11	80	130,1	0,536
12	85	131,8	0,542

13	90	133,3	0,548
14	95	134,9	0,554
15	100	136,6	0,560
16	105	138,4	0,566
17	110	140,0	0,572
18	115	141,6	0,578
19	120	143,3	0,585
20	125	145,0	0,591
21	130	146,8	0,597
22	135	148,6	0,603
23	140	150,4	0,609
24	145	152,1	0,615
25	150	154,0	0,621

#### Lampiran 8. Data Tegangan Referensi

No.	Sudut (°)	Resistansi (Ω)	Tegangan (volt)
1	300	5000	1,546
2	290	4832	1,512
3	280	4671	1,476

4	270	4506	1,441
5	260	4335	1,403
6	250	4160	1,365
7	240	3988	1,326
8	230	3842	1,286

9	220	3669	1,245
10	210	3510	1,203
11	200	3328	1,16
12	190	3166	1,116
13	180	3012	1,075
14	170	2841	1,026
15	160	2677	0,979
16	150	2493	0,928
17	140	2340	0,879
18	130	2185	0,832
19	120	1996	0,773
20	110	1841	0,719

21	100	1669	0,663
22	90	1502	0,605
23	80	1339	0,546
24	70	1170	0,485
25	60	1011	0,422
26	50	824,6	0,357
27	40	658,2	0,286
28	30	498,8	0,221
29	20	331,2	0,149
30	10	152,5	0,075
31	0	0	0

### Lampiran 9. Konduktivitas Keramik

Waktu (menit)	Suhu (°C)				
	Titik A	Titik B	Titik C	Titik D	Titik E
0	29,58	29,58	27,79	26,89	27,49
0,5	36,14	30,77	28,09	27,19	27,49
1	46,29	32,26	28,68	27,49	27,49
1,5	65,09	34,65	29,88	27,49	27,79
2	88,07	37,04	30,77	27,79	27,79
2,5	94,03	42,11	31,37	27,79	28,09
3	100,00	46,89	32,26	28,09	28,09
4	114,92	55,24	35,25	28,68	28,38
5	133,13	61,21	39,13	29,88	28,38
6	150,13	68,07	41,22	30,17	28,98
7	169,23	71,65	45,39	31,37	29,58
8	183,86	75,53	47,78	33,76	30,17
9	197,58	78,22	50,17	33,16	29,88
10	209,52	79,11	50,76	34,05	30,77
11	218,17	81,20	53,45	36,14	31,37
12	229,21	83,29	56,73	37,63	32,56
13	234,88	88,07	58,22	38,83	33,16
14	239,36	89,86	60,02	39,72	33,76
15	247,42	93,44	62,40	41,51	34,35
16	249,80	95,23	64,19	43,60	35,55
17	253,38	97,91	65,39	44,20	36,44
18	255,47	100,90	66,88	45,39	37,93
19	262,64	102,39	67,77	45,09	37,93
20	258,76	104,18	68,07	45,99	38,23
21	257,26	105,08	68,07	47,18	38,53

22	259,35	106,57	68,67	46,89	39,13
23	268,01	106,87	69,56	48,08	39,42
24	266,22	108,66	69,86	48,68	39,72
25	271,59	110,15	71,06	50,76	39,72
26	270,39	110,74	73,15	51,96	40,02
27	279,35	110,45	73,74	52,85	40,02
28	270,99	111,64	74,64	52,26	40,32
29	274,87	114,03	74,04	52,26	40,62
30	270,39	114,62	74,64	54,05	40,62

### Lampiran 10. Konduktivitas Bahan Wajan

Waktu (menit)	Suhu (°C)				
	Titik A	Titik B	Titik C	Titik D	Titik E
0	28,98	29,58	29,28	28,68	28,09
1	43,60	45,09	41,51	40,32	38,53
2	75,83	73,44	69,27	65,39	63,30
3	110,45	108,06	106,57	101,79	100,00
4	147,75	142,97	140,29	136,41	132,83
5	177,59	174,60	172,81	168,04	164,76
6	201,16	197,28	191,32	192,51	187,73
7	218,47	216,68	212,80	208,03	202,36
8	228,32	224,44	222,65	217,58	211,01
9	240,55	235,78	229,81	226,83	218,47
10	245,63	241,15	233,09	227,72	220,56
11	245,63	238,46	233,99	225,04	219,07
12	247,42	238,76	235,48	228,32	223,54
13	244,73	236,97	232,79	222,95	219,37
14	247,42	241,45	237,57	229,51	220,86
15	243,24	236,08	232,79	226,23	221,16
16	245,92	236,97	230,41	225,33	218,17
17	248,01	242,64	234,88	226,53	223,25
18	245,63	242,04	235,18	225,63	220,26
19	246,22	239,96	232,20	228,02	224,74
20	246,82	240,55	233,69	225,33	221,75

**Lampiran 11. Uji Sistem Kontrol Suhu**

Waktu (menit)	Bahan malam 1		Bahan malam 2		Bahan malam 3	
	Suhu (°C)	Kondisi relay	Suhu (°C)	Kondisi relay	Suhu (°C)	Kondisi relay
1	29	<i>ON</i>	28	<i>ON</i>	29	<i>ON</i>
2	29	<i>ON</i>	28	<i>ON</i>	29	<i>ON</i>
3	29	<i>ON</i>	28	<i>ON</i>	29	<i>ON</i>
4	30	<i>ON</i>	29	<i>ON</i>	30	<i>ON</i>
5	31	<i>ON</i>	31	<i>ON</i>	31	<i>ON</i>
6	37	<i>ON</i>	38	<i>ON</i>	36	<i>ON</i>
7	42	<i>ON</i>	43	<i>ON</i>	41	<i>ON</i>
8	50	<i>ON</i>	51	<i>ON</i>	49	<i>ON</i>
9	54	<i>ON</i>	55	<i>ON</i>	53	<i>ON</i>
10	58	<i>ON</i>	58	<i>ON</i>	57	<i>ON</i>
11	60	<i>ON</i>	60	<i>ON</i>	59	<i>ON</i>
12	60	<i>ON</i>	60	<i>ON</i>	60	<i>ON</i>
13	60	<i>ON</i>	60	<i>ON</i>	60	<i>ON</i>
14	60	<i>ON</i>	60	<i>ON</i>	60	<i>ON</i>
15	60	<i>ON</i>	60	<i>ON</i>	60	<i>ON</i>
16	60	<i>ON</i>	60	<i>ON</i>	60	<i>ON</i>
17	60	<i>ON</i>	60	<i>ON</i>	60	<i>ON</i>
18	60	<i>ON</i>	60	<i>ON</i>	60	<i>ON</i>
19	60	<i>ON</i>	60	<i>ON</i>	60	<i>ON</i>
20	60	<i>ON</i>	60	<i>ON</i>	60	<i>ON</i>
21	60	<i>ON</i>	62	<i>ON</i>	60	<i>ON</i>
22	62	<i>ON</i>	65	<i>OFF</i>	63	<i>ON</i>
23	66	<i>OFF</i>	67	<i>OFF</i>	65	<i>OFF</i>
24	69	<i>OFF</i>	69	<i>OFF</i>	67	<i>OFF</i>
25	69	<i>OFF</i>	70	<i>OFF</i>	69	<i>OFF</i>
26	70	<i>OFF</i>	70	<i>OFF</i>	69	<i>OFF</i>
27	70	<i>OFF</i>	71	<i>OFF</i>	70	<i>OFF</i>
28	70	<i>OFF</i>	70	<i>OFF</i>	70	<i>OFF</i>
29	70	<i>OFF</i>	70	<i>OFF</i>	70	<i>OFF</i>
30	69	<i>OFF</i>	70	<i>OFF</i>	70	<i>OFF</i>
31	69	<i>OFF</i>	69	<i>OFF</i>	69	<i>OFF</i>
32	69	<i>OFF</i>	69	<i>OFF</i>	69	<i>OFF</i>
33	68	<i>OFF</i>	69	<i>OFF</i>	68	<i>OFF</i>
34	68	<i>OFF</i>	68	<i>OFF</i>	68	<i>OFF</i>
35	67	<i>OFF</i>	68	<i>OFF</i>	67	<i>OFF</i>
36	67	<i>OFF</i>	67	<i>OFF</i>	67	<i>OFF</i>
37	66	<i>ON</i>	67	<i>OFF</i>	66	<i>OFF</i>

38	65	<i>ON</i>	66	<i>OFF</i>	65	<i>ON</i>
39	65	<i>ON</i>	65	<i>OFF</i>	65	<i>ON</i>
40	64	<i>ON</i>	65	<i>ON</i>	64	<i>ON</i>
41	63	<i>ON</i>	64	<i>ON</i>	63	<i>ON</i>
42	63	<i>ON</i>	63	<i>ON</i>	63	<i>ON</i>
43	62	<i>ON</i>	63	<i>ON</i>	62	<i>ON</i>
44	62	<i>ON</i>	62	<i>ON</i>	62	<i>ON</i>
45	61	<i>ON</i>	62	<i>ON</i>	61	<i>ON</i>
46	61	<i>ON</i>	61	<i>ON</i>	61	<i>ON</i>
47	61	<i>ON</i>	61	<i>ON</i>	61	<i>ON</i>
48	60	<i>ON</i>	61	<i>ON</i>	60	<i>ON</i>
49	60	<i>ON</i>	60	<i>ON</i>	60	<i>ON</i>
50	60	<i>ON</i>	60	<i>ON</i>	61	<i>ON</i>
51	60	<i>ON</i>	60	<i>ON</i>	61	<i>ON</i>
52	61	<i>ON</i>	60	<i>ON</i>	62	<i>ON</i>
53	61	<i>ON</i>	60	<i>ON</i>	63	<i>ON</i>
54	62	<i>ON</i>	61	<i>ON</i>	65	<i>OFF</i>
55	63	<i>ON</i>	61	<i>ON</i>	66	<i>OFF</i>
56	65	<i>OFF</i>	62	<i>ON</i>	67	<i>OFF</i>
57	67	<i>OFF</i>	63	<i>ON</i>	68	<i>OFF</i>
58	68	<i>OFF</i>	65	<i>OFF</i>	68	<i>OFF</i>
59	69	<i>OFF</i>	67	<i>OFF</i>	69	<i>OFF</i>
60	69	<i>OFF</i>	68	<i>OFF</i>	69	<i>OFF</i>
61	70	<i>OFF</i>	69	<i>OFF</i>	69	<i>OFF</i>
62	70	<i>OFF</i>	69	<i>OFF</i>	69	<i>OFF</i>
63	69	<i>OFF</i>	70	<i>OFF</i>	69	<i>OFF</i>
64	69	<i>OFF</i>	70	<i>OFF</i>	68	<i>OFF</i>
65	69	<i>OFF</i>	70	<i>OFF</i>	68	<i>OFF</i>
66	68	<i>OFF</i>	69	<i>OFF</i>	68	<i>OFF</i>
67	68	<i>OFF</i>	69	<i>OFF</i>	67	<i>OFF</i>
68	67	<i>OFF</i>	69	<i>OFF</i>	67	<i>OFF</i>
69	67	<i>OFF</i>	68	<i>OFF</i>	66	<i>OFF</i>
70	66	<i>OFF</i>	68	<i>OFF</i>	66	<i>OFF</i>
71	66	<i>ON</i>	67	<i>OFF</i>	65	<i>ON</i>
72	65	<i>ON</i>	67	<i>OFF</i>	65	<i>ON</i>
73	65	<i>ON</i>	66	<i>OFF</i>	64	<i>ON</i>
74	64	<i>ON</i>	66	<i>OFF</i>	63	<i>ON</i>
75	63	<i>ON</i>	65	<i>ON</i>	63	<i>ON</i>
76	63	<i>ON</i>	65	<i>ON</i>	62	<i>ON</i>
77	62	<i>ON</i>	64	<i>ON</i>	62	<i>ON</i>
78	62	<i>ON</i>	63	<i>ON</i>	62	<i>ON</i>

79	61	<i>ON</i>	63	<i>ON</i>	61	<i>ON</i>
80	61	<i>ON</i>	62	<i>ON</i>	61	<i>ON</i>
81	60	<i>ON</i>	62	<i>ON</i>	61	<i>ON</i>
82	60	<i>ON</i>	61	<i>ON</i>	61	<i>ON</i>
83	61	<i>ON</i>	61	<i>ON</i>	61	<i>ON</i>
84	61	<i>ON</i>	60	<i>ON</i>	62	<i>ON</i>
85	62	<i>ON</i>	60	<i>ON</i>	62	<i>ON</i>
86	63	<i>ON</i>	60	<i>ON</i>	63	<i>ON</i>
87	65	<i>OFF</i>	61	<i>ON</i>	65	<i>OFF</i>
88	67	<i>OFF</i>	61	<i>ON</i>	66	<i>OFF</i>
89	67	<i>OFF</i>	62	<i>ON</i>	67	<i>OFF</i>
90	68	<i>OFF</i>	63	<i>ON</i>	68	<i>OFF</i>
91	68	<i>OFF</i>	65	<i>ON</i>	68	<i>OFF</i>
92	69	<i>OFF</i>	66	<i>OFF</i>	69	<i>OFF</i>
93	69	<i>OFF</i>	67	<i>OFF</i>	69	<i>OFF</i>
94	70	<i>OFF</i>	68	<i>OFF</i>	69	<i>OFF</i>
95	69	<i>OFF</i>	68	<i>OFF</i>	68	<i>OFF</i>
96	69	<i>OFF</i>	69	<i>OFF</i>	68	<i>OFF</i>
97	69	<i>OFF</i>	69	<i>OFF</i>	68	<i>OFF</i>
98	68	<i>OFF</i>	70	<i>OFF</i>	67	<i>OFF</i>
99	68	<i>OFF</i>	70	<i>OFF</i>	67	<i>OFF</i>
100	68	<i>OFF</i>	69	<i>OFF</i>	67	<i>OFF</i>
101	67	<i>OFF</i>	69	<i>OFF</i>	66	<i>OFF</i>
102	67	<i>OFF</i>	69	<i>OFF</i>	66	<i>OFF</i>
103	67	<i>OFF</i>	68	<i>OFF</i>	65	<i>OFF</i>
104	66	<i>OFF</i>	68	<i>OFF</i>	65	<i>ON</i>
105	66	<i>ON</i>	68	<i>OFF</i>	64	<i>ON</i>
106	65	<i>ON</i>	67	<i>OFF</i>	64	<i>ON</i>
107	65	<i>ON</i>	67	<i>OFF</i>	63	<i>ON</i>
108	64	<i>ON</i>	67	<i>OFF</i>	63	<i>ON</i>
109	64	<i>ON</i>	66	<i>OFF</i>	62	<i>ON</i>
110	63	<i>ON</i>	66	<i>ON</i>	62	<i>ON</i>
111	63	<i>ON</i>	65	<i>ON</i>	62	<i>ON</i>
112	62	<i>ON</i>	64	<i>ON</i>	61	<i>ON</i>
113	62	<i>ON</i>	64	<i>ON</i>	61	<i>ON</i>
114	62	<i>ON</i>	63	<i>ON</i>	61	<i>ON</i>
115	61	<i>ON</i>	63	<i>ON</i>	62	<i>ON</i>
116	61	<i>ON</i>	62	<i>ON</i>	62	<i>ON</i>
117	61	<i>ON</i>	62	<i>ON</i>	63	<i>ON</i>
118	61	<i>ON</i>	62	<i>ON</i>	63	<i>ON</i>
119	61	<i>ON</i>	61	<i>ON</i>	64	<i>ON</i>

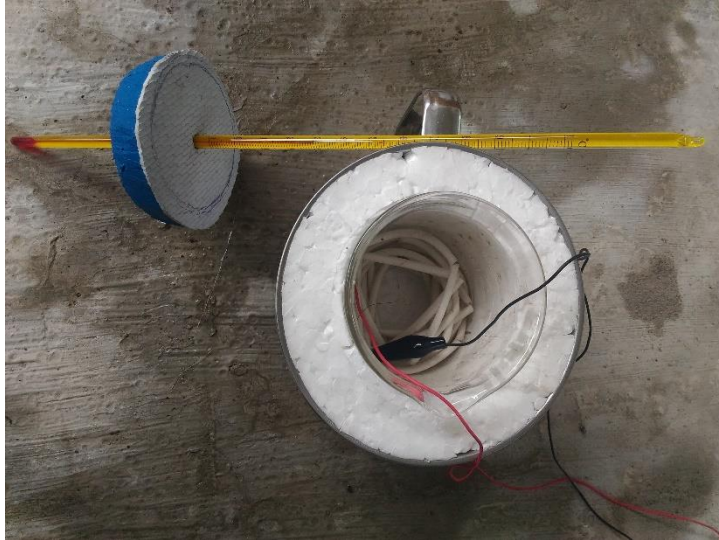


120	62	<i>ON</i>	61	<i>ON</i>	65	<i>OFF</i>
121	63	<i>ON</i>	61	<i>ON</i>	66	<i>OFF</i>
122	64	<i>ON</i>	61	<i>ON</i>	67	<i>OFF</i>
123	66	<i>OFF</i>	61	<i>ON</i>	67	<i>OFF</i>
124	68	<i>OFF</i>	62	<i>ON</i>	68	<i>OFF</i>
125	68	<i>OFF</i>	63	<i>ON</i>	68	<i>OFF</i>
126	69	<i>OFF</i>	64	<i>ON</i>	69	<i>OFF</i>
127	69	<i>OFF</i>	66	<i>OFF</i>	69	<i>OFF</i>
128	69	<i>OFF</i>	67	<i>OFF</i>	68	<i>OFF</i>
129	69	<i>OFF</i>	68	<i>OFF</i>	68	<i>OFF</i>
130	69	<i>OFF</i>	68	<i>OFF</i>	68	<i>OFF</i>
131	69	<i>OFF</i>	69	<i>OFF</i>	67	<i>OFF</i>
132	68	<i>OFF</i>	69	<i>OFF</i>	67	<i>OFF</i>
133	68	<i>OFF</i>	69	<i>OFF</i>	67	<i>OFF</i>
134	68	<i>OFF</i>	69	<i>OFF</i>	66	<i>OFF</i>
135	67	<i>OFF</i>	69	<i>OFF</i>	66	<i>OFF</i>
Lama <i>ON</i>	75 menit		73 menit		70 menit	
Lama <i>OFF</i>	60 menit		62 menit		65 menit	

## Lampiran 12. Dokumentasi Penelitian



Kompor batik listrik dengan Tungku Keramik dan Pemanas Nikelin.



Kalorimeter yang digunakan.



Teknik pengukuran konduktivitas keramik.