

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

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

Oleh: Muiz Yoga Maulana ¹⁾ dan Agus Purwanto M.Sc ²⁾, mahasiswa Prodi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Yogyakarta ¹⁾ dan dosen Prodi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Yogyakarta ²⁾
Muiz.mym@gmail.com

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 ± 0,005) mm dan panjang (2,230±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 $X = \frac{1,017 T_{\text{nikel}}(s) - 0,202 + 0,007}{(6,088 - 1,262 x_1)}$, dan (3) daya yang diperlukan kompor batik listrik ini adalah 59 watt.

Kata kunci: sistem kontrol, suhu, bahan malam.

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 ± 0.005) mm and (2,230 ± 0.005) m length which successfully controlled 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 $X = \frac{1,017 T_{\text{nikel}}(s) - 0,202 + 0,007}{(6,088 - 1,262 x_1)}$, and (3) the power required by this electric batik stove was 59 watts.

Key word : control system, temperature, candle.

PENDAHULUAN

Batik merupakan warisan budaya Indonesia yang perlu dilestarikan. Industri batik

di Indonesia terbukti ratusan tahun memberikan penghidupan ekonomi bagi pengrajinnya walaupun pada saat krisis moneter yang melanda

Indonesia tahun 1998 sampai saat ini (Kudiya, 2011). Bahan yang digunakan dalam membatik adalah bahan malam (lilin). Bahan malam bersifat cepat diserap kain tetapi dapat dengan mudah lepas ketika proses pelorodan (Wulandari, 2011). Menurut para pembatik yang ada di desa wisata batik Giriloyo, proses membatik nyaman dilakukan dengan suhu bahan malam antara 60°C sampai dengan 70°C . Pada suhu ini bahan malam sudah tidak terlalu kental dan bahan malam juga tidak terlalu encer. Untuk dapat melestarikan batik diperlukan media membatik yang dapat mengikuti zaman. Kompor yang biasa digunakan adalah kompor berbahan bakar minyak, namun dalam perkembangannya kompor batik dibuat menggunakan energi listrik atau energi lainnya (Musman dan B. Arini, 2011). Kompor batik listrik yang manual dengan energi minyak tanah maupun listrik mempersulit pembatik untuk mengatur suhu bahan malam. Kompor batik listrik yang otomatis mulai dikembangkan namun analisis fisis dan perhitungan matematis yang digunakan belum dilakukan, sehingga daya dan efisiensi kompor ini belum dapat ditentukan. Kompor batik listrik ada dua jenis yaitu kerangka sekaligus tungku dari keramik dan dari alumunium. Jenis keramik memiliki massa yang berat, sedangkan jenis alumunium mudah panas ketika dipanaskan akan tetapi mudah dingin ketika berhenti dipanaskan karena banyak kalor yang hilang ke lingkungan (batikgiriloyo.com).

Pada zaman modern ini pembatik memerlukan kompor untuk membatik yang mudah untuk menggunakannya. Salah satu cara mempermudah penggunaan kompor batik ini adalah dengan cara membuat kompor batik dengan sistem kontrol suhu yang otomatis untuk mengontrol suhu bahan malam pada suhu antara 60°C sampai dengan 70°C . Menurut Bolton (2006) 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. Agar sistem kontrol dapat bekerja pada suhu yang diinginkan, maka diperlukan sistem yang mengirim kesalahan

atau perbedaan antara sinyal suhu keluaran dan sinyal suhu masukan acuan dengan membandingkan serta menggunakan kesalahan sebagai alat kontrol yang menurut Ogata (2010) disebut sistem kontrol *loop* tertutup.

Menurut Ogata (2010) dalam sistem kontrol dikenal istilah fungsi transfer yaitu suatu persamaan yang menyatakan hubungan masukan dan keluaran dari 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. Penggambaran fungsi transfer yang dapat menjelaskan aliran sinyal tiap komponen dapat dilakukan dengan diagram blok. Dengan adanya fungsi transfer dan diagram blok, aliran sinyal tiap komponen sistem kontrol suhu kompor batik listrik yang dirancang dapat diketahui.

Berdasarkan latar belakang tersebut maka penelitian ini bertujuan untuk merancang-bangun sistem kontrol suhu kompor batik listrik dengan tungku keramik dan pemanas nikelin agar bahan malam stabil pada *range* 60°C sampai dengan 70°C , mengetahui fungsi transfer sistem kontrol suhu kompor batik listrik, dan mengetahui daya rata-rata yang digunakan kompor batik listrik ketika mulai stabil.

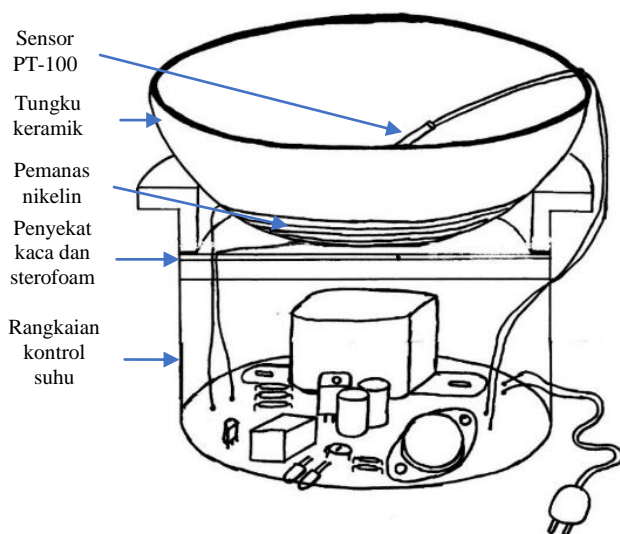
METODE PENELITIAN

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.

Prosedur

Prosedur penelitian ini adalah merancang bangun sistem kontrol suhu kompor batik listrik kemudian dilanjutkan dengan mengkarakterisasi komponen yang digunakan. Rancangan kompor batik listrik yang tersusun atas sensor PT-100, tungku keramik, pemanas nikelin dan rangkaian sistem kontrol suhu serta penyekat kaca dan sterofom agar panas dari nikelin tidak merambat ke rangkaian sistem kontrol dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Gambar kompor listrik batik

Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan karakterisasi masing-masing komponen yang digunakan yang meliputi tegangan listrik PLN, adaptor yang dirangkai, sensor PT-100 dan tegangan masukan, tegangan referensi, pemanas nikelin, konduktivitas termal keramik, presentase suhu yang dilewatkan bahan wajan dan pengujian sistem kontrol suhu.

Karakterisasi tegangan listrik PLN dilakukan dengan menurunkan tegangan menggunakan trafo dan rangkaian pembagi tegangan kemudian diukur menggunakan *software* Spectraplus. Tegangan RMS yang terukur oleh *software* Spectraplus dapat dilakukan dengan cara mem-blok sebuah gelombang kemudian klik kanan *compute RMS level*. Hasil dari *compute RMS level* ini dibandingkan dengan perhitungan manual menggunakan rumus V_{RMS} . Selanjutnya tegangan terukur dikalikan dengan

konstanta perbandingan untuk mengetahui nilai V_{RMS} listrik PLN yang sesungguhnya.

Karakterisasi adaptor dilakukan dengan melihat spektrum frekuensi keluaran adaptor menggunakan *software* Spectraplus. Spektrum frekuensi keluaran adaptor mempengaruhi nilai kualitas keluaran adaptor yang dirancang, kemudian besarnya tegangan keluaran diukur menggunakan voltmeter.

Karakterisasi sensor PT-100 dilakukan dengan memasukkan sensor PT-100 dalam minyak dan mengukur resistansi sensor PT-100 setiap kenaikan suhu minyak yang dipanaskan. Data karakteristik tegangan masukan diambil dengan mengukur tegangan masukan pada pembagi tegangan setiap kenaikan suhu minyak yang dipanaskan. Pengambilan data karakteristik tegangan referensi diambil dengan mengukur tegangan masukan pada pembagi tegangan setiap kenaikan sudut potensio yang diputar.

Pemilihan panjang pemanas nikelin dilakukan dengan melakukan pengukuran daya yang dibutuhkan selanjutnya dilakukan pengukuran kalor yang dihasilkan menggunakan kalorimeter. Zat cair yang dipanaskan menggunakan nikelin adalah aquadest 150 gram. Dilakukan pengukuran suhu setiap 30 detik agar diketahui kalor yang dihasilkan dari pemanas nikelin.

Pengukuran suhu yang dilewatkan tungku keramik dan bahan wajan dilakukan dengan cara mengukur suhu sampel keramik dan bahan wajan setiap 1 cm menggunakan sensor PT-100. Ujung sampel dipanasi dengan pemanas nikelin agar diketahui distribusi suhu pada keramik atau bahan wajan. Distribusi suhu tersebut digunakan untuk menentukan gradien suhu yang akan dirata-rata. Dengan diketahui gradien suhu maka konduktivitas termal keramik dan bahan wajan dapat diukur.

Pengujian sistem kontrol dilakukan untuk mengetahui 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.

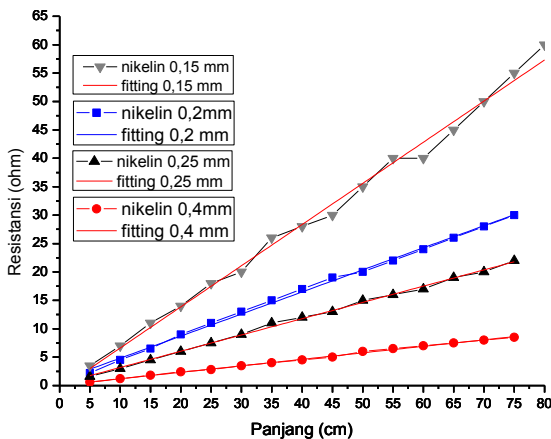
Teknik Analisis Data

Analisis data penelitian ini dilakukan dengan membuat grafik karakteristik keluaran terhadap karakteristik masukan dari masing-masing komponen yang digunakan sesuai dasar teori, mendefinisikan transformasi Laplace masukan dan keluaran komponen sistem untuk mengetahui fungsi transfernya dan menggambar diagram blok sistem kontrol suhu sesuai dengan aliran sinyalnya.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pemilihan Nikelin

Nikelin yang digunakan dalam penelitian ini memiliki diameter $(0,150 \pm 0,005)$ mm, diameter $(0,200 \pm 0,005)$ mm, diameter $(0,250 \pm 0,005)$ mm dan diameter $(0,400 \pm 0,005)$ mm. Hasil pengukuran resistansi nikelin disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Karakterisasi resistansi nikelin

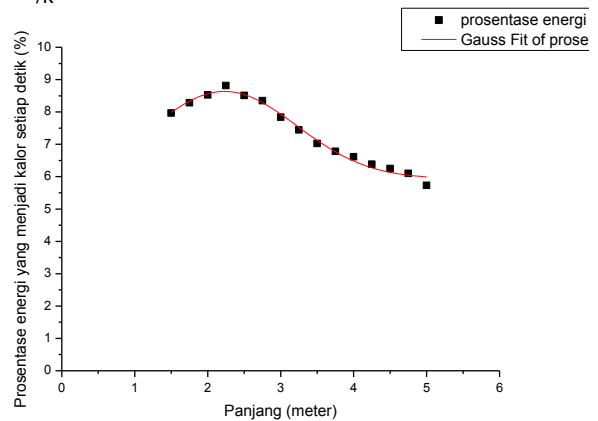
Berdasarkan pengukuran tersebut, nilai resistansi nikelin tiap satuan panjang untuk diameter 0,4 mm adalah $(0,114 \pm 0,001)$ Ω/cm, diameter 0,25 mm adalah $(0,286 \pm 0,004)$ Ω/cm, diameter 0,2 mm adalah $(0,389 \pm 0,005)$ Ω/cm, dan diameter 0,15 mm yaitu $(0,72 \pm 0,02)$ Ω/cm. Nikelin yang digunakan adalah nikelin yang memiliki resistansi terbesar yaitu nikelin dengan diameter 0,15 mm.

Menurut Halliday et.al (2010) resistansi dapat dicari dengan persamaan (1).

$$R = \rho \frac{l}{A} \tag{1}$$

dengan R adalah resistansi bahan, ρ adalah resistansi jenis bahan, l adalah panjang bahan dan A adalah luas penampang bahan. Hasil perhitungan menggunakan persamaan (1), resistansi jenis nikelin diameter 0,15 mm adalah sebesar $(1,3 \pm 0,2)10^{-6}$ Ωm. Menurut Halliday et.al (1978), nikelin memiliki resistansi jenis sebesar $6,8 \cdot 10^{-8}$ Ωm, sehingga nikelin yang digunakan bukan nikelin murni.

Panjang nikelin yang digunakan ditentukan dengan mencari presentase tertinggi energi yang diubah menjadi kalor setiap detik. Pengambilan data ini dilakukan di rumah peneliti yang memiliki daya 450 watt dan memiliki hasil seperti pada Gambar 2.

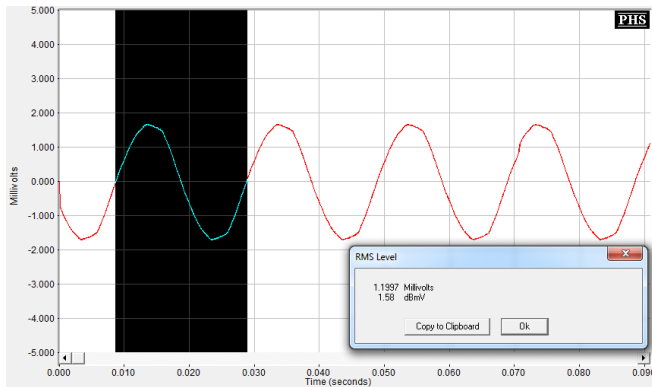


Gambar 2. Presentase energi yang diubah menjadi kalor setiap detik.

Puncak presentase energi yang diubah menjadi kalor setiap detik tersebut menurut persamaan Gauss berada pada titik $x_c = 2,23 \pm 0,04$ m, sehingga panjang nikelin yang digunakan peneliti adalah 2,23 m.

Sumber Tegangan Kumpor Batik Listrik

Listrik PLN merupakan sumber tegangan untuk pemanas nikelin dan adaptor. Gelombang listrik PLN merupakan gelombang yang tidak sinusoidal. Gelombang listrik PLN ketika diberi beban nikelin 2,23 meter, dihubungkan dengan rangkaian trafo dan pembagi tegangan, kemudian direkam dengan menggunakan software SpectraPlus yang telah dikalibrasi. Hasil gelombang listrik PLN yang direkam ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Listrik PLN direkam menggunakan software SpectraPlus.

Menggunakan menu *Compute RMS level* yang ada di dalam software SpectraPlus, nilai tegangan RMS listrik PLN yang terbaca adalah 1,1994 mV. Sedangkan menggunakan perhitungan RMS yaitu

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

nilai tegangan RMS listrik PLN yang terbaca adalah 1,2 mV. Nilai tegangan RMS listrik PLN yang sesungguhnya dapat dihitung dengan mengalikan tegangan RMS listrik PLN yang terbaca yaitu 1,2 mV dengan konstanta perbandingan yang dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan tegangan PLN.

Pembanding Sumber Tegangan	Konstanta Pembandin g Terkalibrasi	Besar Nilai Tegangan (volt)
PLN		186,295
Trafo	36,67	5,08
Trafo		5,08
Pembagi Tegangan	101,00	0,05
Pembagi Tegangan Spectra Plus	41,67	0,0012

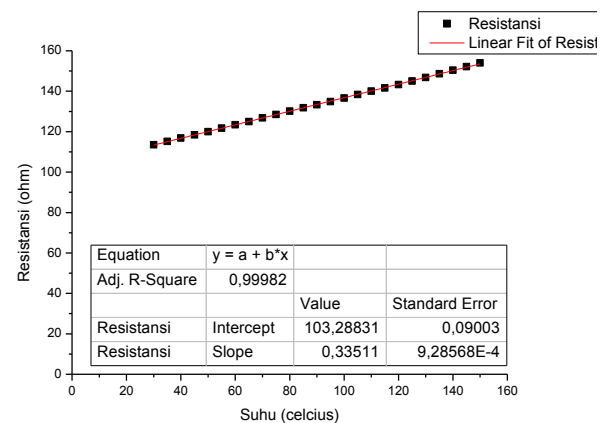
Berdasarkan tabel 1, nilai tegangan listrik PLN di rumah peneliti yang memiliki daya 450 watt adalah 186,3 volt. Tegangan listrik PLN di rumah peneliti ini tidak 220 volt disebabkan karena instalasi di rumah peneliti yang kurang baik.

Sumber tegangan DC yang digunakan berasal dari rangkaian adaptor yang tersusun atas trafo, dioda, *low pass filter*, regulator LM7805 dan transistor 2n3055. Adaptor ini memiliki tegangan keluaran sebesar 4,64 volt. Tegangan

keluaran adaptor ini digunakan untuk mengoperasikan sistem kontrol suhu dari kompor batik listrik.

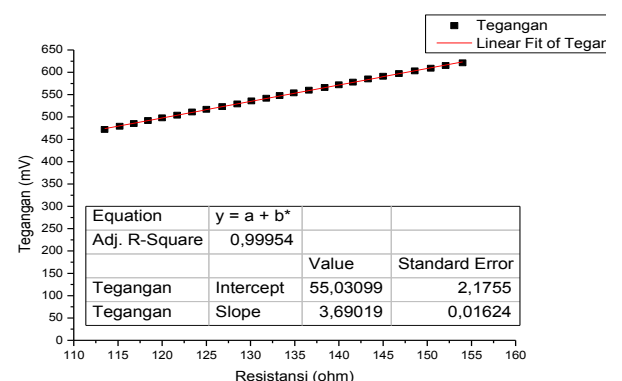
Tegangan Masukan, Tegangan Referensi dan Komparator

Tegangan masukan sistem kontrol suhu ini berasal dari pembagi tegangan menggunakan resistor dan sensor PT-100. Resistansi sensor PT-100 yang digunakan berubah setiap berubahnya suhu seperti pada Gambar 4. Perubahan resistansi sensor PT-100 linier terhadap suhu yang besarnya adalah $(0,3351 \pm 0,0009) \Omega/^{\circ}\text{C}$.



Gambar 4. Hubungan resistansi sensor PT-100 terhadap suhu

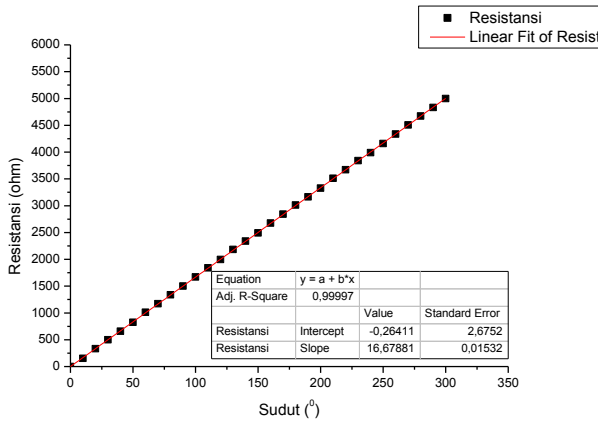
Tegangan masukan berubah setiap berubahnya resistansi sensor PT-100 yang ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Hubungan tegangan terhadap resistansi sensor PT-100.

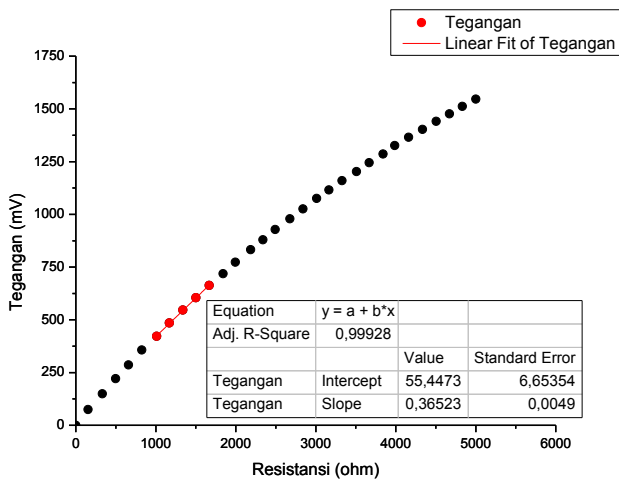
Perubahan tegangan masukan linier terhadap resistansi yang besarnya adalah $(0,37 \pm 0,02) \text{ mV}/\Omega$. Sehingga perubahan tegangan terhadap perubahan suhu adalah $1,24 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$.

Tegangan referensi digunakan sebagai pembanding tegangan masukan. Tegangan referensi berasal dari rangkaian pembagi tegangan antara resistor dan potensio. Besarnya perubahan resistansi terhadap putaran sudut potensio ditampilkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Perubahan resistansi setiap perubahan sudut potensio.

Perubahan resistansi potensio linier terhadap sudut yang besarnya adalah $(16,68 \pm 0,02) \Omega/^\circ C$. Tegangan keluaran rangkaian pembagi tegangan pada tegangan masukan berubah setiap berubahnya resistansi potensio yang ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Hubungan tegangan terhadap resistansi potensio.

Perubahan tegangan referensi terhadap resistansi adalah $(0,366 \pm 0,005) mV/\Omega$. Sehingga perubahan tegangan terhadap perubahan suhu adalah $1,24 mV/^\circ C$. Tegangan referensi ini diatur pada tegangan $(0,520 \pm 0,005) volt$ yang setara dengan tegangan masukan ketika suhu malam $65^\circ C$.

Tegangan masukan dan tegangan referensi digunakan sebagai masukan komparator. Ketika tegangan referensi lebih besar dari pada tegangan masukan maka keluaran komparator akan bernilai **1,885 V** dan ketika tegangan referensi lebih kecil dari pada tegangan masukan, maka keluaran akan bernilai **184,10 mV**.

Saklar Transistor dan Relay

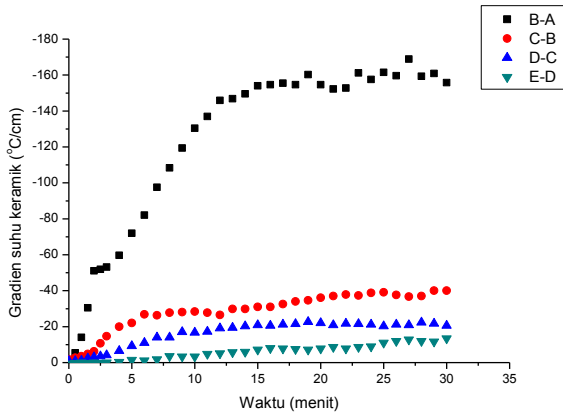
Keluaran komparator digunakan sebagai tegangan basis transistor. Transistor bersaturasi ketika tegangan basis bernilai 1,885 V. Ketika transistor bersaturasi, arus dilewatkan dari kolektor ke emitor, sehingga kumparan relay yang berada di kolektor teraliri arus dan berada dalam kondisi kontak. Ketika tegangan basis bernilai **184,10 mV** transistor dalam kondisi *cut-off*, sehingga relay tidak teraliri arus dan berada dalam kondisi non-kontak.

Pemanas Nikelin dan Suhu yang Sampai ke Bahan Malam

Nikelin yang digunakan memerlukan daya **125,4 watt**. Energi yang diubah menjadi kalor setiap detik adalah $\frac{10,93}{k} watt$ dengan k adalah konstanta presentase energi yang diubah menjadi kalor setiap detik. Kalor dapat memanaskan bahan malam secara konduksi. Menurut Kreith (2011) 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:

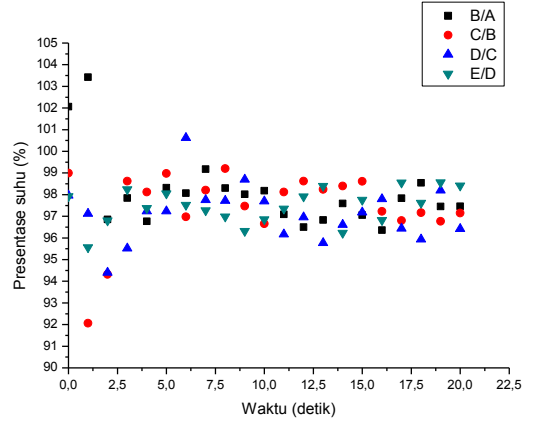
$$q = -KA \frac{dT}{dx} \tag{3}$$

dengan 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. Data gradien suhu keramik dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Gradien suhu keramik.

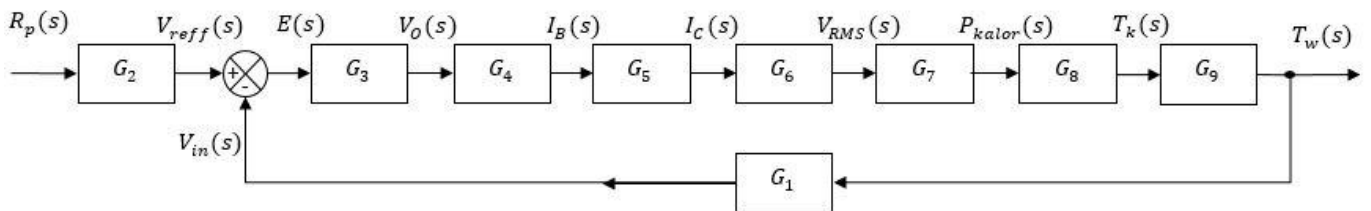
Berdasarkan perhitungan, nilai konduktivitas termal keramik adalah $\frac{0,0156}{k} \text{ W/cm}^0\text{C}$, sehingga suhu dipermukaan tungku keramik adalah $T_{nikel} - 2,72 \text{ }^\circ\text{C}$. Data presentase suhu yang dilewatkan bahan wajan ditampilkan pada Gambar 9. Berdasarkan perhitungan presentase suhu yang dilewatkan bahan wajan adalah sebesar 97,39 %, sehingga suhu yang ada di permukaan atas wajan sebagai tempat meletakkan bahan malam adalah $\frac{97,39 T_{nikel}}{100} - 2,65 \text{ }^\circ\text{C}$.



Gambar 9. Presentase suhu yang dilewatkan bahan wajan.

Fungsi Transfer dan Diagram Blok

Menurut Ogata (2010) hubungan masukan dan keluaran dari sistem linier parameter konstan dapat dinyatakan dengan fungsi transfer. Fungsi yang dilakukan oleh tiap komponen dan aliran sinyalnya dapat disajikan dengan diagram blok. Diagram blok dalam penelitian rancang bangun kompor batik listrik ini disajikan pada Gambar 10.



Gambar 10. Diagram blok sistem kontrol suhu kompor batik listrik

Diagram blok pada Gambar 10 dapat disederhanakan menjadi:

$$R_p(s) \rightarrow \left[\frac{G_2 G_3 G_4 G_5 G_6 G_7 G_8 G_9}{1 + G_1 G_3 G_4 G_5 G_6 G_7 G_8 G_9} \right] T_w(s)$$

Gambar 11. Penyederhanaan diagram blok

Fungsi transfer dari diagram blok Gambar 11 dapat dituliskan dengan

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

dengan $X = \frac{1,017 T_{nikel}(s) - 0,202}{s} + 0,007$
 $(6,088 - 1,262 x_1)$

Hasil Kompor Batik Listrik

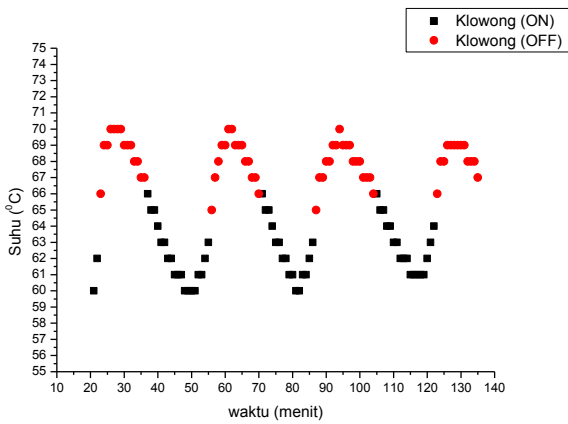
Telah berhasil dirancang bangun kompor listrik batik dengan bangun seperti pada Gambar 12.



Gambar 12. Hasil Kompor Batik listrik

Kompur batik listrik ini dicoba untuk 3 jenis bahan malam yaitu bahan malam klowong, bahan malam tembok, dan bahan malam songkal.

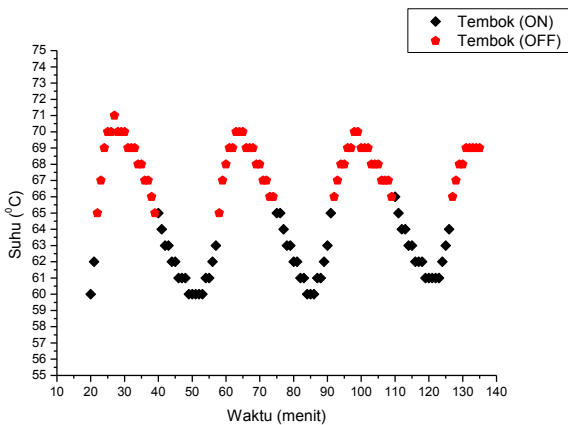
Kestabilan suhu bahan malam klowong disajikan pada Gambar 13.



Gambar 13. Kestabilan suhu dan saklar sistem kontrol suhu untuk bahan malam klowong pada menit ke 21 sampai dengan menit ke 135.

Kestabilan suhu bahan malam klowong berada pada *range* 60 °C sampai dengan 70 °C. Daya rata-rata yang dibutuhkan ketika bahan malam klowong siap digunakan sampai dengan menit ke 135 adalah 62 watt.

Kestabilan suhu bahan malam tembok disajikan pada Gambar 14.

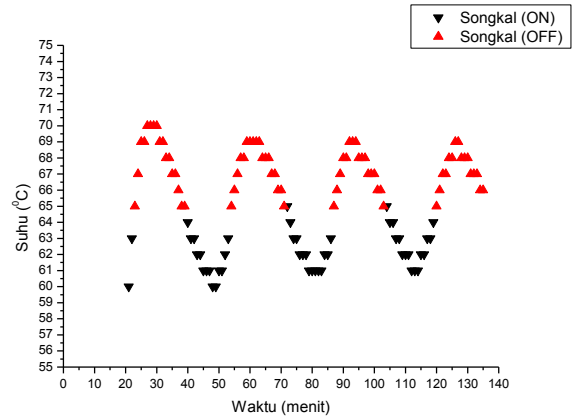


Gambar 14. Kestabilan suhu dan saklar sistem kontrol suhu untuk bahan malam tembok pada menit ke 20 sampai dengan menit ke 135.

Kestabilan suhu untuk bahan malam tembok berada pada *range* 60 °C sampai dengan 71 °C. Daya rata-rata yang dibutuhkan ketika bahan

malam tembok siap digunakan sampai dengan menit ke 135 adalah 60 watt.

Kestabilan suhu bahan malam songkal disajikan pada Gambar 15.



Gambar 15. Kestabilan suhu dan saklar sistem kontrol suhu untuk bahan malam songkal pada menit ke 20 sampai dengan menit ke 135.

Kestabilan suhu untuk bahan malam songkal berada pada *range* 60 °C sampai dengan 70 °C. Daya rata-rata yang dibutuhkan ketika bahan malam songkal siap digunakan sampai dengan menit ke 135 adalah 57 watt.

Rata-rata daya yang digunakan kompor batik listrik untuk bahan malam klowong, tembok dan songkal adalah 59 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.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

1. Telah dirancang sistem kontrol suhu kompor batik listrik dengan diameter pemanas nikelin (0,150 ± 0,005) mm dan panjang (2,230±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

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

$$X = \frac{\frac{1,017 T_{nikel}(s) - 0,202}{s} + 0,007}{(6,088 - 1,262 x_1)}$$

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

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. - . *Kompor*. Diunduh tanggal 20 Januari 2018 di <https://batikgiriloyo.com/kompor/>

- Bolton, Wiliam. 2006. *Control System*. Burlington: Elseiver
- 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.
- Kreith, Frank. 2011. *Principles of Heat Transfer Seventh Edition*. Boca Raton: CRC Press LCC.
- Kudiya, Komarudin. 2011. *Batik-Eksistensi untuk Tradisi*. Jakarta: Dian Rakyat.
- 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.
- Wulandari, Ari. 2011. *Batik Nusantara – Makna Filosofi, Cara Pembuatan dan Industri Batik*. Yogyakarta: Andi Offset.

Reviewer
Dosen Penguji

Yogyakarta, Maret 2018
Mengetahui,
Dosen Pembimbing

Sumarna, M.Si, M.Eng
NIP. 196103081991011001

Agus Purwanto, M.Sc
NIP. 196508131995121001