

Perancangan Prototipe Sistem Kendali Otomatis Pada Pengering Pakaian Berbasis *Air Heater*

Herendra Priyandha
Program Studi Teknik Elektro
Universitas Islam Indonesia
Yogyakarta, Indonesia
herensama@gmail.com

Dwi Ana Ratna Wati
Program Studi Teknik Elektro
Universitas Islam Indonesia
Yogyakarta, Indonesia
dwi_ana@uii.ac.id

Diterima : November 2022
Disetujui : Desember 2022
Dipublikasi : Januari 2023

Abstrak— Pengering pakaian diharapkan dapat bekerja secara otomatis dan dapat menjaga kualitas pakaian yang dikeringkan. Terdapat parameter penting pada proses pengeringan pakaian yaitu temperatur dan kelembaban. Untuk menjaga kualitas pakaian, perlu diperhatikan nilai temperatur pengeringan agar tidak melebihi batas temperatur pengeringan yang ditentukan pada setiap jenis pakaian. Oleh karena itu, diperlukan pengaturan *setpoint* temperatur pengeringan pakaian pada alat pengering pakaian. Pada penelitian ini dirancang prototipe pengendali yang dapat bekerja secara otomatis pada sebuah sistem pengering berbasis *air heater*. Prototipe yang dirancang terdiri atas *air heater*, sensor temperatur, sensor kelembaban, Arduino, dan tampilan antarmuka menggunakan LabVIEW. Proses pengeringan dioperasikan oleh pengguna melalui antarmuka dimana pengguna memasukan dua input yaitu jenis pakaian yang akan dikeringkan dan jumlahnya. Input tersebut digunakan pada penentuan nilai temperatur operasi pada *air heater*. Selama proses pengeringan, nilai temperatur maupun nilai kelembaban pada bilik pengering diukur menggunakan sensor tipe DHT22. Kedua nilai lalu tersebut ditampilkan melalui antarmuka LabVIEW. Nilai temperatur tersebut dibandingkan dengan nilai temperatur *setpoint* yang ditentukan berdasarkan jenis dan jumlah pakaian yang akan dikeringkan. Berdasarkan nilai perbandingan tersebut, LabVIEW mengirimkan nilai kendali berupa nilai PWM secara serial ke Arduino, yang merupakan sinyal kendali ke *air heater*. Kemudian, *air heater* bekerja menjaga temperatur pada bilik pengeringan agar sesuai *setpoint* selama proses pengeringan berjalan atau kondisi *timer on*. Jika nilai kelembaban telah mencapai kriteria kondisi kering dan waktu pengeringan telah habis, maka *air heater* akan masuk pada mode *off*. Berdasarkan hasil pengujian, prototipe sistem kendali yang dirancang mampu bekerja secara otomatis dan hasil pengeringan dapat mempertahankan kualitas pakaian. Selain itu penghematan energi listrik juga dimungkinkan dengan penggunaan pengendali otomatis pada pengering pakaian tersebut.

Kata Kunci— *sistem kendali; pengering pakaian*

Abstract -- The clothes dryer is expected to work automatically and can maintain the quality of the clothes. Temperature and humidity are the two main parameters in the process of drying clothes. The drying temperature affects the clothes conditions because each type of clothing has a certain temperature limit to maintain its quality. Therefore, it is necessary to set the temperature *setpoint*

for drying clothes operation. This study designed a controller prototype that can work automatically in an air heater-based clothes dryer. The designed prototype consists of an air heater, temperature sensor, humidity sensor, Arduino, and an interface using LabVIEW. The drying process is operated by the user through an interface where the user inputs the type of clothing and the amount of clothing to be dried. The input is used to determine the temperature *setpoint* on the air heater. During the drying process, the temperature and humidity values in the drying chamber are read by the DHT22 sensor and then displayed on the interface. This temperature value is compared with the *setpoint* temperature which is determined based on the type and amount of clothes to be dried. Based on the comparison value, LabVIEW sends control values in the form of PWM values serially to Arduino, which are control signals to the air heater. Then, the air heater works to maintain the temperature in the drying chamber to match the *setpoint* during the drying process or when the timer is on. The air heater will turn off when the humidity has reached dry conditions and the drying time has been over. Based on the testing results, the control system prototype is able to work automatically, and the drying process can maintain the quality of the clothes. In addition, saving electrical energy is also possible with the use of the automatic controller.

Keywords— *control systems; clothes dryer*

I. PENDAHULUAN

Pengering pakaian merupakan peralatan yang banyak digunakan pada era kehidupan modern saat ini. Teknologi pengering pakaian umumnya dapat diklasifikasikan menjadi 2 kelompok yaitu mesin pengering berbasis resistansi dan mesin pengering pakaian berbasis pompa panas [1]. Pengering pakaian berbasis resistansi listrik menggunakan elemen pemanas resistensi untuk memanaskan udara di sekitarnya, yang kemudian didistribusikan ke seluruh ruang pengering oleh kipas dan membantu menghilangkan kelembaban dari pakaian. Pengering pakaian berbasis pompa panas tersebut menggunakan listrik untuk memindahkan panas yang berasal dari sumber panas tingkat rendah menuju ke sumber panas tingkat tinggi. Pengering pakaian jenis resistansi listrik dengan elemen pemanas relatif lebih murah dibandingkan jenis kedua.

Berbagai upaya dilakukan untuk menghasilkan alternatif mesin pengering pakaian yang mudah dioperasikan,

hemat energi dan memiliki kinerja yang baik. Pada penelitian [2] dibangun sebuah model *thermoelectric (TE) dryer*. Model terdiri atas *TE heat pump element* yang dihubungkan dengan sebuah sub-model *psychrometric dryer*. Hasil pemodelan digunakan untuk mengidentifikasi parameter penting yang mempengaruhi kinerja pengering pakaian, seperti kelembaban relatif pada udara yang keluar dari drum. Penelitian untuk mendesain pengering pakaian yang hemat energi dilakukan dengan beberapa metode. Ambarita et.al merancang sistem pengering pakaian dengan memanfaatkan panas buangan dari AC di rumah dengan kapasitas mesin 6 sampai dengan 8 kg dengan waktu pengeringan berkisar antara 80 – 410 menit [3]. Tegrotenhuis et.al merancang sistem pengering pakaian dengan menggunakan *hybrid heat pump clothes dryer* yang mampu menghemat 50% energi pengering pakaian yang biasa dikonsumsi oleh mesin pengering pakaian di Amerika [4]. Sementara itu, J. Zhao et.al memperbaiki kinerja pengeringan dan meningkatkan efisiensi energi pada sebuah *tumbler clothes dryer* dengan cara merancang elemen pemanas elektrik menggunakan kawat resistensi yang dimodifikasi dengan pelat aluminium [5]. Eksperimen juga telah dilakukan pada [6] untuk mempelajari kinerja pengeringan sebuah *condensing tumbler clothes dryer* di bawah kondisi kerja yang berbeda. Pada penelitian [7] diusulkan *sorption-based gas dehydration system* untuk meningkatkan efisiensi energi pada sistem pengering pakaian. Sedangkan penelitian [8], untuk meningkatkan efisiensi energi pada pengering pakaian, mengusulkan konfigurasi baru pengering pakaian dengan sebuah *solid-state thermoelectric heat pump* yang digunakan pada loop sekunder air dan *heat exchangers* bertipe *conventional fin-and-tube water-to-air*. Konfigurasi ini dapat meningkatkan efisiensi energi sebesar 85% dibandingkan pengering dengan pemanas resistensi elektrik dan sebesar 6% dibandingkan *air-based thermoelectric clothes dryers*.

Temperatur dan kelembaban merupakan dua parameter penting pada area pengering pakaian. Pada penelitian [9], dilakukan eksperimen dan pengembangan model karakteristik perpindahan panas dan massa dalam *tumble drum* pada pengering pakaian. Perpindahan panas dan massa air dari pakaian ke udara, termasuk kehilangan panas dalam tabung pengering pakaian, diukur dengan variabel temperatur, kelembaban, laju aliran udara, dan kandungan air pakaian. Q. Jian dan L. Luo meneliti sebuah metode untuk mengurangi konsumsi energi pada sebuah *domestic venting tumble clothes dryer* dengan menggunakan pemulihan panas [10]. Sebuah *self-made heat pipe heat exchanger* digunakan pada *domestic venting tumble clothes dryer* sebagai unit pemulihan panas. Kenaikan temperatur udara lembab yang masuk ke dalam drum dapat meningkatkan diferensiasi temperatur pada udara kering yang panas dan kelembaban pakaian. Hal ini dapat meningkatkan penguapan kelembaban.

Setiap jenis pakaian mempunyai derajat ketahanan temperatur yang berbeda-beda sekaligus mempunyai toleransi temperatur maksimal. Hampir semua jenis pakaian dapat dikeringkan hingga mencapai temperatur 100°C. Misalnya jenis pakaian katun atau pakaian dengan kain sintetis bisa dipanaskan sampai nilai temperatur 120°C. Meskipun demikian, nilai temperatur tersebut tidak disarankan. Nilai temperature tersebut adalah titik bakar artinya jika pakaian dipanaskan hingga temperature mencapai lebih dari 120°C maka pakaian tersebut

kemungkinan akan terbakar. Selain itu tingkat panas pada pengering pakaian perlu disesuaikan dengan jenis kain, agar tidak menyebabkan kerusakan pada pakaian seperti warna pudar atau pakaian menjadi kaku. Pada [11], disajikan rekomendasi nilai temperatur pengeringan pakaian sesuai jenisnya.

Berbagai metode pengendali telah diterapkan pada mesin pengering untuk memperbaiki kinerjanya. Pada penelitian [12], dirancang *self-tuning fuzzy controller* pada *rotary dryer* yang banyak ditemukan pada pengering di industri dengan parameter temperatur dan kelembaban yang menjadi hal penting untuk dikendalikan agar pengering memiliki kinerja yang baik. Penelitian [13] menerapkan metode *fuzzy logic* dan *computer vision* untuk mengendalikan sebuah *hybrid hot air-infrared drying process* yang digunakan untuk mengeringkan buah. Tujuannya adalah agar waktu pengeringan menjadi lebih cepat dan dihasilkan buah kering dengan kualitas yang tinggi. Pengendali *on-off* banyak diaplikasikan pada proses pemanasan, seperti pada pemanas air [14] dan setrika [15]. Pengendali *on-off* memiliki struktur yang sederhana dan kinerja yang cukup handal khususnya pada proses pemanasan yang cenderung berjalan lambat.

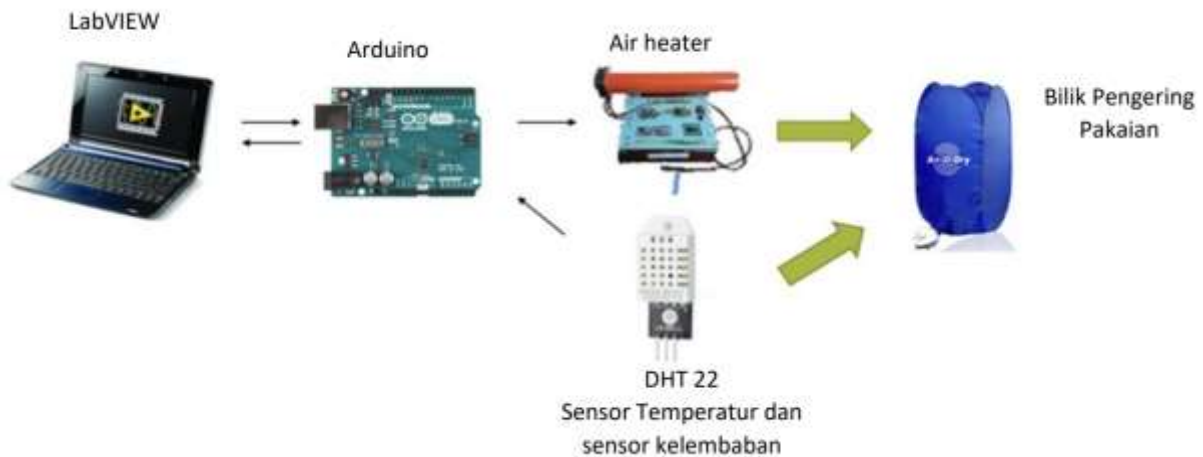
Berdasarkan studi literatur, perlu dirancang sebuah sistem kendali pada alat pengering pakaian. Tujuannya untuk mempercepat waktu pengeringan pakaian dan menjaga agar kualitas pakaian tidak menurun karena proses pengeringan yang salah. Selain itu, pengendali juga diperlukan untuk mengoperasikan pengering pakaian secara otomatis. Pengendali bekerja untuk menentukan nilai temperatur operasi pada pengering pakaian sesuai dengan jenis pakaian yang dikeringkan. Pengendali juga akan menghentikan proses pengeringan secara otomatis berdasarkan hasil pengukuran kelembaban udara pada ruang pengering, sehingga tidak terjadi pengeringan yang berlebihan yang berdampak pada rusaknya kain dan pakaian. Selain itu, adanya pengendali tersebut juga dapat menghemat energi.

II. METODE

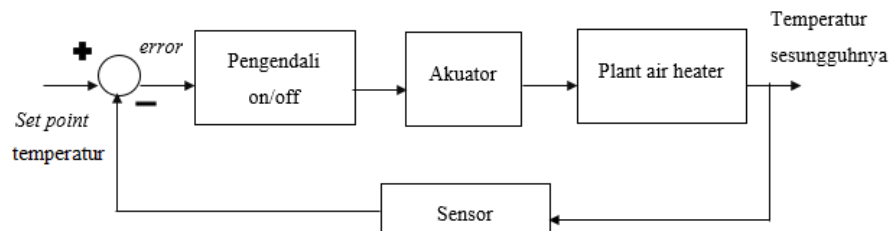
Pada penelitian ini, dirancang prototipe pengendali pada pengering pakaian berbasis *air heater*. Sistem *air heater* tersusun atas sebuah elemen pemanas yang dialiri arus listrik untuk menghasilkan udara panas. Udara panas tersebut dihembuskan ke ruang pengering dengan menggunakan sebuah kipas. Penelitian ini menggunakan beberapa perangkat keras yang ditunjukkan oleh diagram pada gambar 1. Pada komputer personal atau PC digunakan program LabVIEW sebagai antarmuka/tampilan sehingga pengguna dapat melakukan pengamatan nilai parameter selama pengeringan pakaian berlangsung. PC dihubungkan ke Arduino melalui *port* serial. Di sini, Arduino sebagai pengendali utama perangkat pengering pakaian. Arduino dipilih karena sederhana dan handal serta telah banyak diaplikasikan seperti pada penelitian [16], [17],[18], [19] dan [20].

Arduino berisi program untuk membaca output sensor DHT22 berupa nilai temperatur dan kelembaban yang akan di tampilkan pada antarmuka. Pada Arduino dihasilkan nilai sinyal kendali berupa nilai *pulse width modulation (PWM)* yang dikirim ke aktuator untuk mengatur daya elemen pemanas. Nilai PWM tersebut ditentukan berdasarkan nilai input yang telah dipilih oleh pengguna melalui antarmuka. Nilai PWM tersebut akan menentukan tegangan akuator pada

air heater untuk mengatur suplai tegangan AC sehingga temperatur pada ruang pengeringan bisa dikendalikan dan terjaga sesuai temperatur *setpoint*.



Gambar 1. Diagram prototipe sistem kendali otomatis



Gambar 2. Diagram blok sistem kendali kalang tertutup on/off pada *air heater*



Gambar 3. Tampilan antarmuka prototipe sistem kendali pengering pakaian

A. Sistem Kendali On/Off

Untuk mengendalikan temperatur pada bilik pengering pakaian, digunakan sistem kendali umpan balik seperti pada Gambar 2. Sistem kendali yang digunakan yaitu pengendali *on/off*. Sistem kendali tersebut bekerja dengan mengatur nilai tegangan PWM pada aktuator, aktuator akan mengatur suplai

daya AC ke elemen pemanas di *air heater*. Temperatur pada bilik pemanas dibaca oleh sensor temperatur DHT22. Nilai temperatur tersebut dibandingkan dengan nilai temperatur *setpoint* yang merupakan target temperatur pada bilik pengering pakaian. Jika nilai temperatur *setpoint* lebih tinggi dari nilai temperatur pada bilik pengering yang terukur oleh

sensor, maka pengendali akan mengirimkan instruksi *on* ke aktuator, jika sebaliknya maka pengendali akan mengirimkan sinyal *off* ke aktuator. Sistem kendali *on/off* dipilih karena strukturnya sederhana dan unjuk kerjanya mencukupi untuk menangani kebutuhan pada pengendalian elemen pemanas di *air heater*.

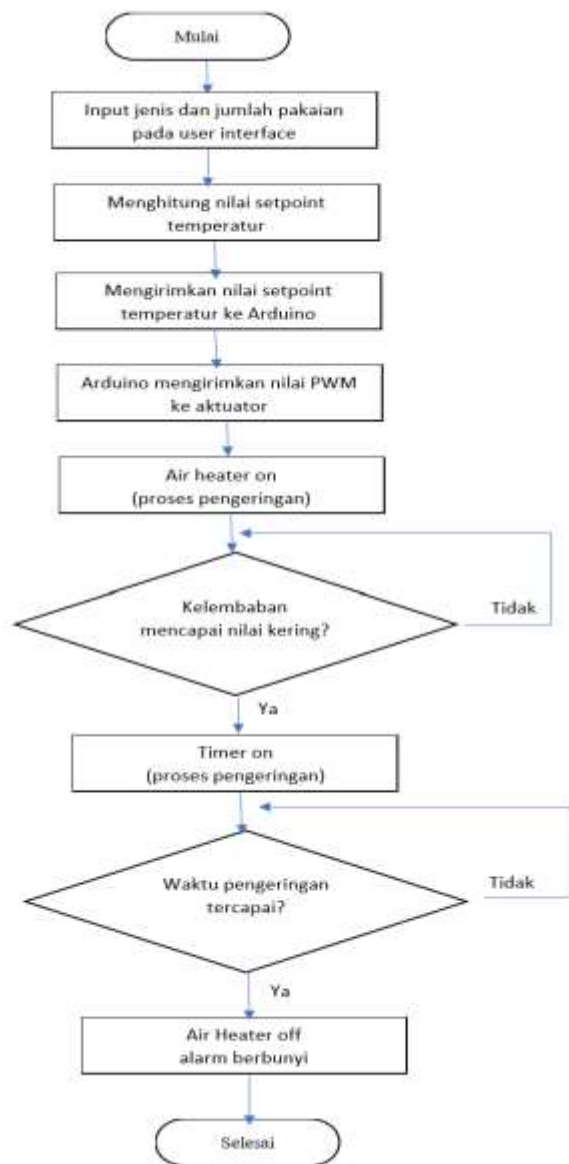
B. Perangkat Lunak dan Tampilan Antarmuka

Untuk memudahkan operasional pengendalian alat pengering pakaian, perlu dirancang antarmuka seperti pada Gambar 3. Antar muka dibuat dengan program LabVIEW yang tersusun atas bagian input dan bagian output atau indikator. Bagian input dapat digunakan untuk memberikan informasi jenis maupun jumlah pakaian. Jenis pakaian ada tiga pilihan yaitu tipis, sedang, dan tebal. Jumlah pakaian ada dua pilihan yaitu satuan dan banyak. Pada bagian output ditampilkan grafik nilai temperatur dan kelembaban pada bilik pengering pakaian yang merupakan hasil pembacaan sensor DHT22. Sesuai legenda yang ditampilkan di atas grafik tersebut, nilai temperatur ditunjukkan oleh grafik berupa garis berwarna merah sedangkan nilai kelembaban ditunjukkan oleh garis berwarna biru. Lampu indikator “mulai” digunakan sebagai penunjuk proses pengeringan pakaian sedang berlangsung dan lampu indikator “selesai” digunakan sebagai indikator yang menunjukkan kondisi pakaian telah kering atau proses pengeringan telah usai. *Timer* sebagai penghitung durasi proses pengeringan, dimulai ketika nilai kelembaban pada bilik pengering mencapai nilai *setpoint* kelembaban sampai dengan selesai yang ditandai dengan nilai *setpoint* timer telah tercapai. Prinsip kerja proses pengeringan pakaian dengan *air heater* ditunjukkan oleh diagram alir pada gambar 4. Urutannya adalah sebagai berikut.

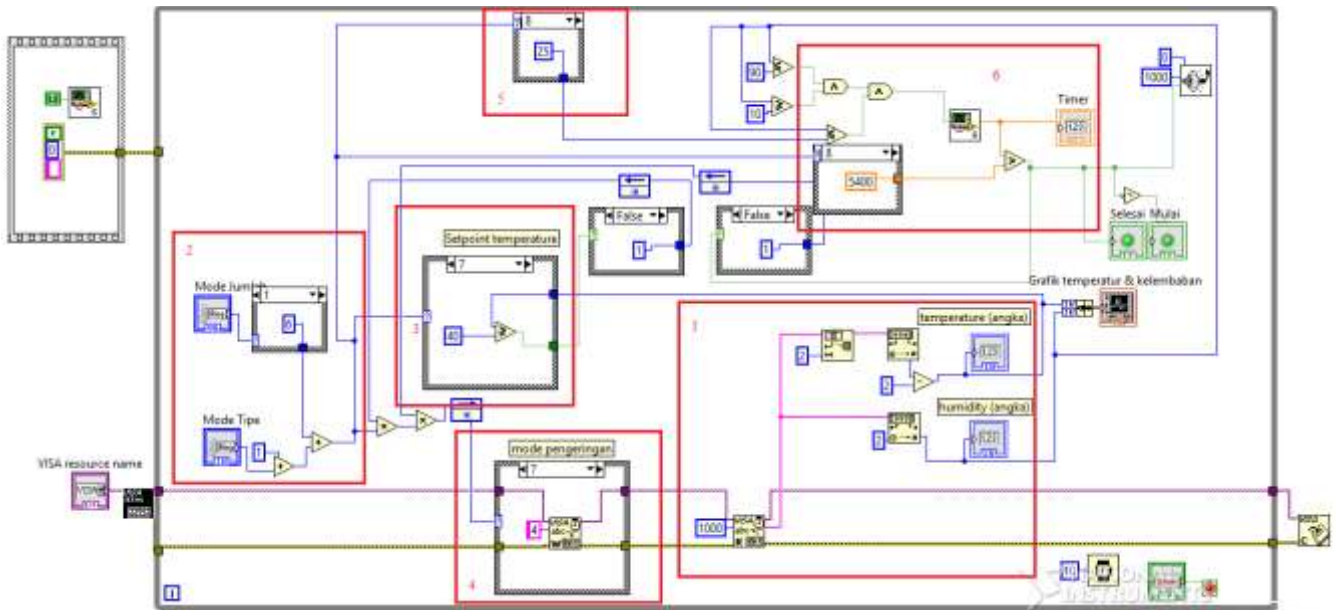
1. Sebelum proses pengeringan dimulai, pakaian yang akan dikeringkan dimasukkan ke bilik/kotak pengering, kemudian pengguna menyalakan alat *air heater*.
2. Jenis maupun jumlah pakaian yang akan dikeringkan perlu dimasukkan pada antarmuka LabVIEW.
3. Sistem kemudian menentukan nilai *setpoint* PWM *air heater*, nilai *setpoint* temperatur maupun nilai *setpoint* kelembaban berdasarkan data jenis dan jumlah pakaian yang diberikan oleh pengguna.
4. Variabel proses pengeringan berupa nilai temperatur dan nilai kelembaban ditampilkan pada antarmuka berupa nilai numerik dan dalam bentuk grafik.
5. Pengendali *on/off* bekerja pada *Air heater*. Kondisi *on* menghasilkan panas tinggi jika temperatur belum mencapai *setpoint*, sedangkan kondisi *off* menghasilkan panas paling rendah jika nilai temperatur telah melebihi *setpoint*.
6. *Timer* menyala jika nilai kelembaban telah mencapai nilai *setpoint* kelembaban pengeringan.
7. *Air heater* dikendalikan agar menghasilkan panas paling rendah saat timer telah mencapai waktu yang telah ditentukan.
8. Lampu indikator “selesai” maupun peringatan dengan bunyi (alarm) akan aktif/menyala sebagai tanda proses pengeringan telah usai.

Berdasarkan penelitian [21], salah satu indikator penting terkait selesainya proses pengeringan pakaian adalah tercapainya keseimbangan nilai kelembaban pada ruang pengering. Untuk menentukan ciri-ciri kondisi kering atau

kondisi ketika proses pengeringan telah selesai, perlu diketahui nilai kelembaban pada bilik pengering saat pakaian sudah kering. Untuk itu, dalam tahap perancangan, dilakukan eksperimen dengan tujuan untuk mengetahui lamanya waktu pengeringan pada berbagai jenis dan jumlah pakaian yang akan dikeringkan. Tabel 1 menyajikan data hasil eksperimen tersebut. Berdasarkan data pada tabel tersebut, selanjutnya dirancang strategi pengendalian proses pengeringan pakaian, yaitu menentukan kriteria pakaian telah kering (indikator proses pengeringan telah selesai) dan lama waktu proses pengeringan. Tabel 2 menyajikan hasil rumusan strategi tersebut yaitu nilai *setpoint* kelembaban dan nilai *timer* pengeringan yang diimplementasikan pada sistem yang dirancang. *Timer* berfungsi untuk menghentikan *air heater* lalu sistem juga mengaktifkan peringatan suara yang menandakan saat pengeringan telah usai. Program LabVIEW yang berisi pemrosesan data input pengguna menjadi nilai *setpoint* temperatur dan proses pemilihan nilai *timer* ditunjukkan oleh gambar 5, sedangkan program pada Arduino yang berisi pengendalian aktuator melalui nilai PWM ditunjukkan oleh gambar 6.



Gambar 4. Bagan alir cara kerja sistem



Gambar 5. Program LabVIEW

```

#include <DHT.h>

#define DHTPIN 12
#define DHTTYPE DHT22
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

int hum;
int temp;

void setup() {

    Serial.begin(9600);
    pinMode(11,OUTPUT);

}
byte x;

void loop() {

hum = dht.readHumidity();           1
temp= dht.readTemperature();
Serial.print(temp);
Serial.println(hum);
delay(1000); //Delay 2 sec.

if(Serial.available()>0) x=Serial.read();

if (x=='0')analogWrite(11, 255);    2
if (x=='1')analogWrite(11, 120);
if (x=='2')analogWrite(11, 80);
if (x=='3')analogWrite(11, 30);
if (x=='4')analogWrite(11, 100);
if (x=='5')analogWrite(11, 50);
if (x=='6')analogWrite(11, 0);

}

```

Gambar 6. Program Arduino

TABEL 1. DATA EKSPERIMEN HUBUNGAN ANTARA KELEMBABAN PADA KONDISI KERING DAN LAMANYA WAKTU PENGERINGAN

Mode jenis pakaian	Mode jumlah pakaian	Pakaian	Uji 1 nilai kelembaban pada kondisi kering	Waktu kondisi kering 1	Uji 2 nilai kelembaban pada kondisi kering	Waktu kondisi kering
Tipis	Satuan	Serbet	31-27%	6 menit	32-31%	15 menit
Tipis	Satuan	Kaos dalam	31-29%	37 menit	31-28%	15 menit
Tipis	Banyak	Serbet dan kaos dalam	31-27%	53 menit	31-29%	37 menit
Sedang	Satuan	Kaos t-shirt	25-22%	63 menit	25-22%	52 menit
Sedang	Satuan	Kemeja batik	25-24%	25 menit	25-23%	26 menit
Sedang	Banyak	Kaos t-shirt dan kemeja batik	25-23%	70 menit	25-22%	124 menit
Tebal	Satuan	Celana jeans	23-20%	32 menit	23-20%	54 menit
Tebal	Satuan	Handuk	Tidak mencapai kondisi kering			
Tebal	Banyak	Jeans dan handuk	Tidak mencapai kondisi kering			

TABEL 2. TABEL NILAI *SETPOINT* KELEMBABAN DAN *SETPOINT TIMER* PENGERINGAN

Mode jenis pakaian	Mode jumlah pakaian	Setpoint kelembaban	Waktu Pengeringan (timer)
Tipis	Satuan	31%	30 menit
Tipis	Banyak	31%	60 menit
Sedang	Satuan	25%	60 menit
Sedang	Banyak	25%	120 menit
Tebal	Satuan	23%	60 menit
Tebal	Banyak	23%	150 menit

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Proses Pengeringan

Untuk mengetahui unjuk kerjanya, prototipe pengendali pengering pakaian diuji dengan berbagai kondisi nilai input berupa jenis pakaian seperti serbet, kaos dalam, kemeja batik, kaos T-shirt, jeans, dan handuk. Indikator yang digunakan pada pengujian ini adalah hasil pengeringan (tercapai atau tidak tercapai) dan waktu kering saat *timer* aktif. Tabel 3 menyajikan rangkuman hasil pengujian. Gambar 7 menunjukkan ruang bilik pengering saat pengujian alat pengeringan menggunakan jenis pakaian berupa handuk.

Contoh tampilan antarmuka saat proses pengeringan ditunjukkan pada gambar 8. Gambar tersebut merupakan hasil tampilan proses pengeringan kaos (*T-shirt*). Proses pengeringan kaos mulai masuk kondisi kering saat waktu mencapai ± 45 menit. Timer mulai aktif saat nilai kelembaban

mencapai *setpoint* kelembaban untuk jenis kaos. Kemudian lampu indikator “selesai” akan menyala pada menit ke ± 60 setelah timer aktif.

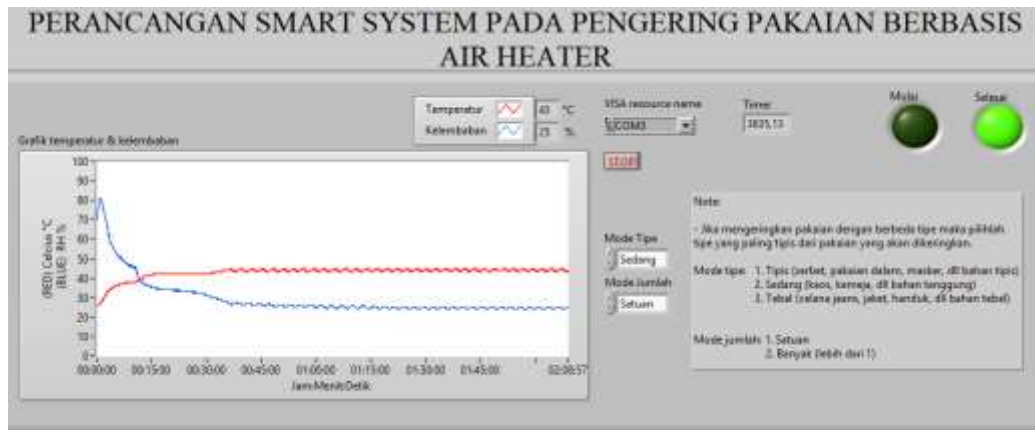
Pakaian tebal memerlukan waktu yang sangat lama untuk berhasil dikeringkan. Hal ini dikarenakan cukup banyak kandungan air terserap oleh kain tebal seperti jenis handuk. Aliran udara panas juga kurang maksimal bergerak ke seluruh bilik pengeringan, terutama pada pengeringan pakaian tebal dengan ukuran yang besar. Posisi *air heater* berada pada satu sisi bilik saja. Hal ini juga menyebabkan pengeringan pakaian berlangsung tidak merata. Bagian pakaian tebal yang dapat mencapai kondisi kering umumnya hanya pada bagian yang mendapatkan aliran udara panas secara langsung sedangkan pada sisi lainnya yang tidak terkena aliran udara panas kondisinya masih agak basah saat waktu pengeringan telah habis.



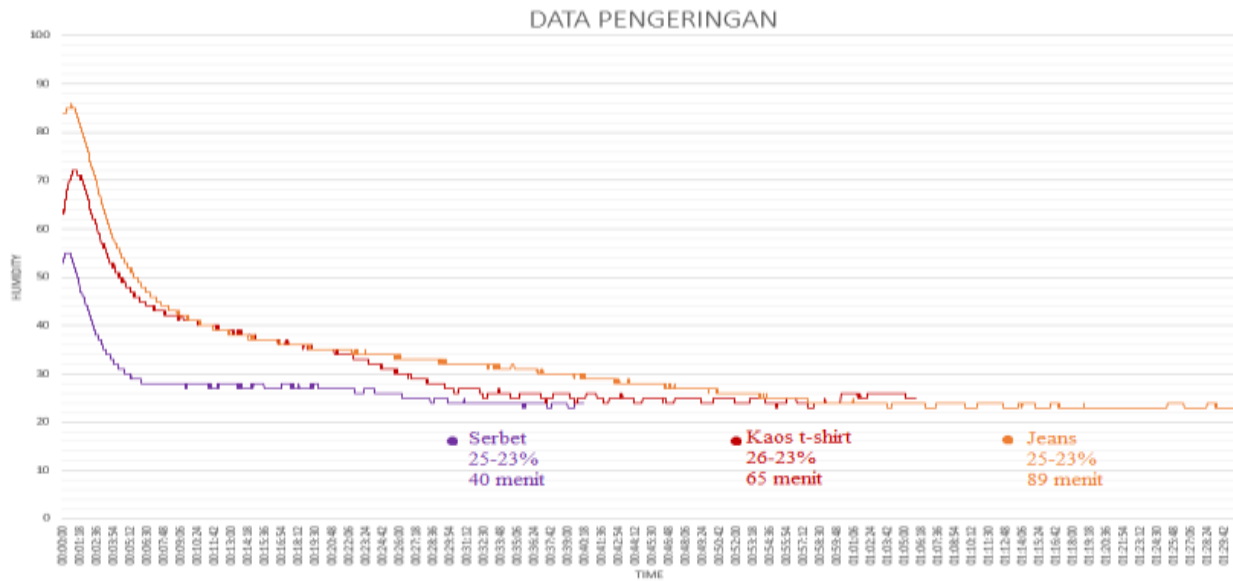
Gambar 7. Pengujian alat untuk pengeringan handuk

TABEL 3. HASIL PENGERINGAN

Jenis pakaian	Jumlah pakaian	Pakaian yang dikeringkan	Hasil pengeringan	Waktu kering saat timer on
Tipis	Satuan	Serbet	Tercapai	±15 menit
Tipis	Satuan	Kaos dalam	Tercapai	±40 menit
Tipis	Banyak	Serbet dan kaos dalam	Tercapai	±15menit
Sedang	Satuan	Kemeja batik	Tercapai	±15 menit
Sedang	Satuan	Kaos t-shirt	Tercapai	±50 menit
Sedang	Banyak	Kaos dan kemeja batik	Tercapai	±30 menit
Tebal	Satuan	Jeans	Tercapai	±30 menit
Tebal	Satuan	Handuk	Tidak tercapai	-
Tebal	Banyak	Jeans dan handuk	Tidak tercapai	-



Gambar 8. Contoh Tampilan Antarmuka Saat Hasil pengeringan “tercapai”



Gambar 9. Hasil pengeringan “tercapai”

TABEL 4. PERBANDINGAN KONSUMSI DAYA LISTRIK

Jenis Pakaian	Jumlah Pakaian	Daya tanpa pengendali (Kwh)	Daya dengan pengendali (Kwh)	Selisih Daya (%)
Tebal	Satuan	1,18	1,13	4
Sedang	Banyak	1,18	1,17	0,9
Sedang	Satuan	0,75	0,69	9
Tipis	Banyak	0,6	0,54	11
Tipis	Satuan	0,25	0,23	9

B. Pengujian Nilai Kelembaban Hasil Pengeringan

Gambar 9 menunjukkan grafik nilai kelembaban dan perbandingan waktu pengeringan untuk jenis kain yang berbeda. Pada kain tipis berupa serbet mengandung air lebih sedikit. Hal ini ditunjukkan oleh nilai kelembaban yang lebih rendah dibandingkan jenis T-shirt maupun jeans. Waktu pengeringan untuk kain tipis ini juga lebih cepat yaitu sekitar 40 menit, sedangkan untuk T-shirt sekitar 65 menit dan untuk jeans memerlukan waktu pengeringan sekitar 89 menit.

C. Pengujian konsumsi listrik

Tabel 4 menyajikan perbandingan konsumsi daya yang digunakan oleh *air heater* sebagai alat pengering pakaian saat beroperasi dengan pengendali dan tanpa pengendali. Perhitungan daya dilakukan dengan mengukur nilai arus dan tegangan saat *air heater* dioperasikan. Dengan penggunaan pengendali, konsumsi energi dapat dikurangi hingga mencapai maksimum pengurangan sebesar 11%. Walaupun demikian, waktu pengeringan relatif sama antara *air heater* dengan pengendali dan tanpa adanya pengendali, namun penggunaan pengendali otomatis memungkinkan konsumsi energi listrik menjadi lebih sedikit.

IV. KESIMPULAN

Pada perancangan ini, sebuah sistem kendali dirancang pada alat pengering pakaian berbasis *air heater*. Pengendali dapat mengoperasikan pengering pakaian secara otomatis. Pengendali dapat menentukan nilai temperatur operasi pada pengering pakaian sesuai dengan jenis pakaian yang dikeringkan. Pengendali juga dapat menghentikan proses pengeringan secara otomatis berdasarkan hasil pengukuran kelembaban udara pada ruang pengering, Pengendali dapat mempercepat waktu pengeringan pakaian dan menjaga kualitas pakaian tidak menurun karena proses pengeringan yang terlalu panas atau terlalu lama. Selain itu penggunaan pengendali otomatis pada pengering pakaian mampu menghasilkan penghematan energi listrik maksimum sebesar 11%.

REFERENSI

- [1] X. Cao, J. Zhang, Z. Y. Li, L. L. Shao, and C. L. Zhang, "Process simulation and analysis of a closed-loop heat pump clothes dryer," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 199, no. September, p. 117545, 2021, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2021.117545.
- [2] V. K. Patel, K. R. Gluesenkamp, D. Goodman, and A. Gehl, "Experimental evaluation and thermodynamic system modeling of thermoelectric heat pump clothes dryer," *Appl. Energy*, vol. 217, no. February, pp. 221–232, 2018, doi: 10.1016/j.apenergy.2018.02.055.
- [3] H. Ambarita, A. H. Nasution, N. M. Siahaan, and H. Kawai, "Performance of a clothes drying cabinet by utilizing waste heat from a split-type residential air conditioner," *Case Stud. Therm. Eng.*, vol. 8, pp. 105–114, 2016, doi: 10.1016/j.csite.2016.06.002.
- [4] W. TeGrotenhuis, A. Butterfield, D. Caldwell, A. Crook, and A. Winkleman, "Modeling and design of a high efficiency hybrid heat pump clothes dryer," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 124, pp. 170–177, 2017, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2017.05.048.
- [5] J. Zhao, Q. Jian, N. Zhang, L. Luo, B. Huang, and S. Cao, "The improvement on drying performance and energy efficiency of a tumbler clothes dryer with a novel electric heating element," *Appl.*

- Therm. Eng.*, vol. 128, pp. 531–538, 2018, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2017.09.045.
- [6] Q. Jian and J. Zhao, "Drying performance analysis of a condensing tumbler clothes dryer with a unique water cooled heat exchanger," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 113, pp. 601–608, 2017, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2016.11.086.
- [7] M. Ahmadi, K. R. Gluesenkamp, and S. Bigham, "Energy-efficient sorption-based gas clothes dryer systems," *Energy Convers. Manag.*, vol. 230, no. October 2020, p. 113763, 2021, doi: 10.1016/j.enconman.2020.113763.
- [8] V. K. Patel, P. R. Boudreaux, and K. R. Gluesenkamp, "Validated model of a thermoelectric heat pump clothes dryer using secondary pumped loops," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 184, no. November 2020, p. 116345, 2021, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2020.116345.
- [9] D. Lee, M. Lee, M. H. Park, and Y. Kim, "Experimental evaluation and prediction model development on the heat and mass transfer characteristics of tumble drum in clothes dryers," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 202, no. November 2021, p. 117900, 2022, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2021.117900.
- [10] Q. Jian and L. Luo, "The improvement on efficiency and drying performance of a domestic venting tumble clothes dryer by using a heat pipe heat recovery heat exchanger," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 136, no. November 2017, pp. 560–567, 2018, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2018.03.029.
- [11] "3 Recommended Temperature To Dry Clothes In Dryer.pdf." <https://americantwoshot.com/what-temperature-to-dry-clothes-in-dryer/> (accessed Nov. 29, 2022).
- [12] L. Pirrello, L. Yliniemi, K. Leiviskä, and M. Galluzzo, *Self-tuning fuzzy control of a rotary dryer*, vol. 35, no. 1. IFAC, 2002. doi: 10.3182/20020721-6-es-1901.01172.
- [13] M. H. Nadian, M. H. Abbaspour-Fard, A. Martynenko, and M. R. Golzarian, "An intelligent integrated control of hybrid hot air-infrared dryer based on fuzzy logic and computer vision system," *Comput. Electron. Agric.*, vol. 137, pp. 138–149, 2017, doi: 10.1016/j.compag.2017.04.001.
- [14] A. Araújo, A. C. Ferreira, C. Oliveira, R. Silva, and V. Pereira, "Optimization of Collector Area and Storage Volume in Domestic Solar Water Heating Systems with On-Off Control—A Thermal Energy Approach," *SSRN Electron. J.*, vol. 219, no. PD, p. 119630, 2022, doi: 10.2139/ssrn.4040695.
- [15] A. A. Abd Rahim, R. Boudville, Z. Hussain, S. Z. Yahaya, and K. A. Ahmad, "Design of Fuzzy Logic Control for Automatic Switching off Electric Iron," *Proc. - 9th IEEE Int. Conf. Control Syst. Comput. Eng. ICCSCE 2019*, vol. 1, pp. 204–208, 2019, doi: 10.1109/ICCSCE47578.2019.9068533.
- [16] M. R. Wirajaya, S. Abdussamad, and I. Z. Nasibu, "Rancang Bangun Mesin Penetas Telur Otomatis Menggunakan Mikrokontroler Arduino Uno," *Jambura J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 2, no. 1, pp. 24–29, 2020, doi: 10.37905/jjee.v2i1.4579.
- [17] F. R. Usman, W. Ridwan, and I. Z. Nasibu, "Sistem Peringatan Dini Bencana Banjir Berbasis Mikrokontroler Arduino," *Jambura J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–6, 2019, doi: 10.37905/jjee.v1i1.2721.
- [18] N. K. Nento, B. P. Asmara, and I. Z. Nasibu, "Rancang Bangun Alat Peringatan Dini Dan Informasi Lokasi Kebakaran Berbasis Arduino Uno," *Jambura J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 3, no. 1, pp. 13–18, 2021, doi: 10.37905/jjee.v3i1.8339.
- [19] M. Lamatenggo, I. Wiranto, and W. Ridwan, "Perancangan Balancing Robot Beroda Dua Dengan Metode Pengendali PID Berbasis Arduino Nano," *Jambura J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 2, no. 2, pp. 39–43, 2020, doi: 10.37905/jjee.v2i2.6906.
- [20] A. W. A. Antu, S. Abdussamad, and I. Z. Nasibu, "Rancang Bangun Running Text pada Dot Matrix 16X160 Berbasis Arduino Uno Dengan Update Data System Menggunakan Perangkat Android Via Bluetooth," *Jambura J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 2, no. 1, pp. 8–13, 2020, doi: 10.37905/jjee.v2i1.4321.
- [21] A. B. Ng and S. Deng, "A new termination control method for a clothes drying process in a clothes dryer," *Appl. Energy*, vol. 85, no. 9, pp. 818–829, 2008, doi: 10.1016/j.apenergy.2007.10.016.