

Sistem Pengering Pakaian Otomatis dengan Pengkondisian Suhu dan Kelembapan Berbasis ESP 32

Muhammad Irhamsah¹ Sirly Afifah Putri² Supomo³
^{1,2,3} Politeknik Negeri Jakarta

INFORMASI ARTIKEL

Sejarah Artikel:

Diterima Redaksi: 22 November 2023

Revisi Akhir: 28 Desember 2023

Diterbitkan Online: 28 Desember 2023

KATA KUNCI

Pengeringan pakaian, fuzzy logic tsukamoto, Kontrol PID, Perbandingan, ESP32, DHT22

KORESPONDENSI

Supomo
Program Studi Instrumentasi dan Kontrol Industri,
Politeknik Negeri Jakarta Jl. Prof. Dr. G. A. Siwabessy, Kampus Baru UI, Kukusan, Beji, Kota Depok, Jawa Barat 16424.
Email: Supomo@pnj.ac.id

ABSTRACT

Pengeringan merupakan cara untuk mengeluarkan kandungan air dari bahan yang dikeringkan melalui proses pemanasan. Pada penelitian ini dirancang lemari pengering pakaian menggunakan metode fuzzy logic Tsukamoto yang terdiri dari sensor DHT22 dan sensor loadcell 5kg, menggunakan mikrokontroler ESP32 dimana sistem pemanas dikendalikan oleh kontrol PID Ziegler Nichols. Sistem pemanas terdiri dari temperatur kontroler, sensor termokopel tipe K, SSR, Solenoid valve, pemantik, buzzer dan gas LPG sebagai bahan bakar pemanas. Input kendali fuzzy adalah suhu dan kelembapan udara di dalam lemari. Output yang dihasilkan yaitu mengendalikan kipas dc dan solenoid. Kemudian nilai Kontrol PID diperoleh dengan cara tuning parameter Kp, Ti dan Td yang dengan metode trial and error lalu diimplementasikan dengan kurva reaksi Ziegler Nichols. Parameter yang dibandingkan adalah respon steady state, rise time dan maksimal overshoot dari pengujian tanpa PID dan menggunakan PID. Pengujian dilakukan menggunakan kontrol PID dengan tiga pakaian berbahan katun polyester yang terdiri dari warna merah, putih dan hitam serta setpoint 62°C. Pengujian pada pakaian berwarna merah tanpa PID memiliki nilai rise time 955 detik. Sedangkan percobaan menggunakan kontrol PID dengan nilai Kp = 19, Ti = 120 dan Td = 30 dan diperoleh rise time 690 detik. Dari percobaan ketiga warna pakaian memiliki rata – rata e_{ss} 3,22% serta Mp sebesar 0%. Selain itu, pengujian dengan fuzzy logic Tsukamoto pada kondisi kelembapan 29,70% dan suhu 70,50 °C kipas dc dan solenoid tertutup serta pakaian dianggap kering. Pada kelembapan lebih dari 30%, kipas dc dan solenoid terbuka dan melakukan pengeringan. Rata-rata pengeringan selama 52,3 menit dengan kondisi dominan kering dan efisiensi penggunaan gas 5%. Sehingga diperoleh kesimpulan sistem pemanas pada lemari pengering pakaian menggunakan metode PID dan Fuzzy Logic Tsukamoto dapat diimplementasikan dalam kehidupan nyata.

DOI: <https://doi.org/10.46961/jommit.v7i2>

1. PENDAHULUAN

Pengeringan pakaian merupakan kegiatan yang dilakukan dengan memanfaatkan energi panas matahari untuk mengeluarkan kandungan air pada pakaian dengan waktu tertentu sampai dikatakan kering [1]. Hampir seluruh masyarakat Indonesia masih menggunakan panas matahari untuk melakukan proses pengeringan pakaian. Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik tahun 2016 terdapat 777.060 UMKM yang ada di provinsi Lampung [2]. Salah satu UMKM yang mengalami perkembangan yaitu usaha binatu (*Laundry*). Ketua Asosiasi *Laundry* Indonesia (ASLI) menyebutkan bahwa bisnis laundry dari tahun ke tahun mengalami pertumbuhan sebesar 20%. Tahun 2018 tercatat bahwa jumlah bisnis *laundry* mencapai 4.000 usaha [3].

Berdasarkan wawancara penulis dengan bapak Prasetyo bahwa pengeringan menggunakan energi panas matahari masih kurang efektif pada saat musim hujan. Bapak Prasetyo menggunakan lemari pengering untuk mengeringkan pakaian yang terdiri dari kompor gas dan kipas dc yang dinyalakan secara manual. Sehingga dalam proses pengeringannya harus dipantau secara manual agar tidak terjadi kebakaran.

Berdasarkan permasalahan lemari pengering manual berserta referensi, maka dibuat sistem pengering pakaian otomatis dengan pengkondisian suhu dan kelembapan. Lemari pengering akan mendeteksi suhu, kelembapan dan berat pakaian. Sehingga waktu yang dibutuhkan dalam pengeringan pakaian diketahui oleh pengguna dan tidak perlu dipantau secara manual.

Selain itu, sistem ini dilengkapi dengan penyalan pemanas secara otomatis yang berasal dari gas LPG. Penyalan otomatis dalam proses pengeringan pakaian diperlukan agar menjaga suhu pengeringan secara tepat dan stabil untuk mengurangi resiko kerusakan pada pakaian dan efisiensi proses. Penyalan pemanas otomatis akan mempermudah pengguna dalam melakukan proses pengeringan karena pemanas menyala ketikasuhu berada dibawah setpoint.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengeringan

Pengeringan merupakan cara untuk mengeluarkan kandungan air dari bahan yang dikeringkan melalui proses pemanasan. Kering menurut KBBI merupakan keadaan suatu benda yang tidak basah, tidak berair, tidak lembap dan tidak ada airnya lagi. Pengeringan bertujuan untuk mengurangi kadar air sampai ke batas tertentu supaya aman jika disimpan. Suatu bahan dapat menjadi kering, maka udara harus memiliki kandungan uap air atau kelembapan yang lebih rendah dari bahan yang akan dikeringkan [4].

2.2 Pakaian

Pakaian menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia adalah barang apa yang di pakai (baju, celana dan sebagainya). Pakaian merupakan kebutuhan pokok yang tidak bisa terlepas dari kehidupan sehari-hari.

2.3 Fuzzy Logic Tsukamoto

Pada metode fuzzy Tsukamoto, setiap konsekues pada aturan berbentuk if-then harus direpresentasikan dengan suatu himpunan fuzzy dengan fungsi keanggotaan monoton. Keluaran dari hasil inferensi dari tiap-tiap aturan diberikan secara tegas berdasarkan α -predikat. Hasil akhir pada metode ini menggunakan rata-rata terbobot. Dalam inferensinya, metode ini menggunakan tahapan sebagai berikut:

1. Pembentukan himpunan fuzzy. Variabel input dan output dibagi menjadi satu atau lebih himpunan fuzzy,
2. Fuzzifikasi, yaitu menentukan derajat keanggotaan variabel input,
3. Pembentukan basis pengetahuan fuzzy (rule dalam bentuk if-then),
4. Implikasi dengan fungsi MIN agar mendapatkan nilai α -predikat tiap-tiap rule ($\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$) kemudian masing-masing nilai ini digunakan untuk menghitung keluaran hasil inferensi secara tegas masing-masing rule (z_1, z_2, \dots, z_n), dan
5. Defuzzifikasi menggunakan metode rata-rata terbobot, dengan rumus:

$$z = \frac{\sum(\alpha_i * z_i)}{\sum \alpha_i}$$

Keterangan: z = variabel output
 α_i = nilai α -predikat

z_i = nilai variabel output

2.4 Metode Perpindahan Panas

1. Konduksi

Konduksi merupakan proses perpindahan energi (kalor) dari daerah yang bersuhu tinggi ke daerah yang bersuhu rendah dalam suatu medium (padat, cair atau gas) sehingga terjadi pertukaran energi.

2. Konveksi

Konveksi merupakan proses perpindahan kalor dari daerah yang suhunya diatas suhu sekitarnya. Mekanisme ini terjadi perpindahan energi antara permukaan benda padat dan cairan atau gas.

3. Radiasi

Radiasi merupakan proses perpindahan panas dari suatu benda ke benda lain tanpa melalui media. Teori ini menjelaskan bahwa panas yang berpindah dipancarkan melalui gelombang elektromagnetik dalam proses perpindahannya [5].

2.5 Sistem Kontrol

Sistem kontrol merupakan suatu proses pengendalian atau beberapa besaran (Variabel, parameter) sehingga memperoleh hasil yang sesuai dengan set point. Sistem kontrol dibagi menjadi dua yaitu sistem kontrol loop terbuka (open loop) dan sistem loop tertutup (close loop).

2.6 Sensor DHT22

Sensor Modul DHT22 adalah sensor kelembapan dan suhu yang memiliki kemampuan yang akurat dalam pembacaannya. Sensor ini bekerja pada jangkauan kelembapan 0-100% dan suhu pada jangkauan -40-80°C. Akurasi pembacaan pada sensor ini adalah $\pm 0,5^\circ\text{C}$ untuk suhu dan $\pm 2\%$ untuk kelembapan, serta mempunyai 3 pin. Sensor ini diklaim mempunyai kualitas pembacaan yang baik yang mana dinilai dari respon proses akuisisi data dan ukuran yang minimalis[6]. Adapun bentuk sensor DHT22 ditunjukkan pada Gambar 1 berikut ini.



Gambar 1 Sensor Modul DHT22
 Sumber : [7]

2.7 ESP32

ESP32 adalah mikrokontroler yang memiliki keunggulan dari seri sebelumnya ESP8266. Pada penelitian ini, ESP32 digunakan sebagai pemroses data yang dipilih karena memiliki keunggulan seperti, memiliki pin out dan analog yang lebih banyak, memori yang lebih besar, terdapat bluetooth dan modul Wifi yang mendukung pembuatan sistem Internet of Things (IoT). Mikrokontroler ini memiliki memori terdiri dari 448kB ROM, 520 kB SRAM dan flash memori 4mb. Pada chip ini memiliki 18 pin ADC 12-bit yang bernilai nol (0) sampai 4095,

empat unit SPI, dan dua unit I2C. Adapun bentuk dari ESP32 ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2 ESP32
Sumber: [8]

2.8 Sensor Loadcell

Sensor loadcell adalah sensor massa yang dilengkapi dengan modul HX711, yaitu transduser dan converter analog ke digital (ADC). Pada penelitian ini, sensor loadcell yang digunakan berkapasitas 5kg. Prinsip kerja sensor ini adalah memberikan beban yang mengakibatkan reaksi terhadap elemen logam dan perubahan regangan strain gauge saat diberikan beban. Gaya yang ditimbulkan oleh regangan itu kemudian dikonversikan kedalam besaran sinyal listrik oleh strain gauge[9]. Adapun bentuk dari sensor loadcell ditunjukkan pada Gambar 3.



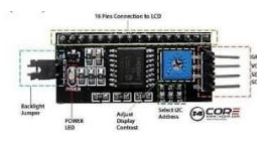
Gambar 3 Sensor Loadcell
Sumber: [9]

2.9 Liquid Crystal Display (LCD)

Liquid Crystal Display merupakan salah satu jenis tampilan atau penampil elektronik yang berfungsi sebagai penampil data baik dalam bentuk karakter, huruf, angka ataupun grafik dengan memantulkan cahaya yang ada disekeliling terhadap front-lit [10]. Namun, terdapat modul I2C yang berfungsi untuk mengurangi penggunaan pin dari 16 menjadi 4 pin. Pin yang digunakan terdiri dari Serial Data (SDA), Serial Clock (SCL), VCC dan GND. Komponen ini digunakan sebagai penampil dari suhu dan kelembapan DHT22 serta berat yang terbaca oleh sensor loadcell. Bentuk LCD dan I2C ditunjukkan pada Gambar 4.



a) LCD



b) I2C

Gambar 4 LCD 20x4
Sumber: [10]

2.10 Modul Relay 4 Channel

Modul Relay 4 Channel adalah switch on off yang terbuat dari semikonduktor dan bekerja menggunakan optocoupler. Komponen ini terdiri dari terminal input dan terminal output. Pada penelitian ini modul relay yang digunakan memiliki tegangan kerja 5VDC, arus belitan 15-20mA, dan arus kontak sebesar 250VAC/10A atau 30VDC/10A. Modul relay digunakan sebagai kontak output seperti kipas DC dan solenoid valve. Adapun bentuk modul relay 4 channel ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5 Modul Relay 4 Channel
Sumber: [8]

2.11 Solenoid Valve

Solenoid valve adalah katup yang dikendalikan oleh arus AC atau DC melalui kumparan. Tujuan menggunakan solenoid valve adalah sebagai katup pengaman karena cara kerjanya hanya membuka dan menutup secara otomatis. Tegangan kerja solenoid valve yang digunakan sebesar 12VDC dan 24 VDC. Pada sistem ini berfungsi untuk membuka dan menutup aliran gas. Adapun bentuk dari solenoid valve ditunjukkan pada gambar 6.



Gambar 6 Solenoid Valve
Sumber: [11]

2.12 Kipas DC

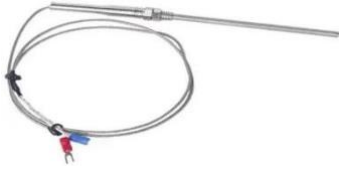
Kipas DC merupakan kipas angin yang berfungsi sebagai pendingin udara, ventilasi (exhaust fan) atau meratakan hawa panas di dalam suatu ruangan. Pada sistem ini, kipas DC yang digunakan berukuran 8 x 8 cm 12V. Bentuk dari kipas DC ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7 Kipas DC 12V
Sumber: [12]

2.13 Termokopel Tipe K

Termokopel merupakan sensor suhu yang terdiri dari dua jenis logam konduktor berbeda, dimana ujung dari kedua logam tersebut digabungkan sehingga menimbulkan efek termoelektrik. Efek termoelektrik terjadi jika sebuah logam konduktor diberi perbedaan panas sehingga menghasilkan listrik. Pada penelitian ini Termokopel tipe K digunakan untuk mengukur suhu di dalam pengering dengan rentang suhu kerja 0-400 °C. Bentuk termokopel tipe k ditunjukkan pada gambar 8.



Gambar 8 Termokopel Tipe K
Sumber: [14]

2.14 Solid State Relay

Solid State Relay merupakan switch on off yang terbuat dari semikonduktor dan bekerja menggunakan optocoupler.

Komponen ini terdiri dari terminal input dan terminal output. Biasanya relay ini digunakan untuk beban resistif dan berat seperti pemanas yang membutuhkan arus beban dalam jumlah besar. Pada penelitian ini relay digunakan sebagai switch on off pemantik. Tegangan kerja yang dimiliki sebesar 3-32 VDC dan tegangan output sebesar 24-380 VAC. Adapun bentuk dari SSR ditunjukkan pada gambar 9.



Gambar 9 Solid State Relay
Sumber: [14]

2.15 Temperatur Kontroler

Temperatur kontroler merupakan perangkat yang memerintah, mengatur atau mengelola sistem untuk mempengaruhi tingkat panas atau dinginya suatu benda. Pada sistem ini menggunakan PID Rex C-100 sebagai kontroler yang menyalakan atau mematikan pemanas untuk mempertahankan suhu di dalam lemari pengering. Selain itu berfungsi sebagai tampilan yang terdiri dari temperatur yang terukur (*Process Variable*) dan Temperatur set point (*Set Variable*). Rex C-100 memiliki rentang kerja temperatur sebesar 0 – 400 °C dan lingkungan kerja sebesar 0 – 50 °C. Tegangan kerja Rex C-100 sebesar 100-240 VAC. Adapun bentuk dari PID Rex C-100 ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10 Temperatur Kontroler
Sumber: [14]

2.16 Pemantik

Pemantik merupakan alat yang menghasilkan percikan bunga api dari elektrodanya. Pemantik digunakan pada sistem ini bertujuan untuk menyalakan api secara otomatis. Tegangan input pemantik sebesar 220V / 50 Hz dan memiliki output sebesar 12 kV. Pemantik memiliki waktu kerja maksimum sebesar 10 detik. Pemantik memiliki 2 output yaitu solenoid valve dan indikator alarm. Adapun bentuk dari pemantik ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11 Pemantik
Sumber: [13]

2.17 LPG

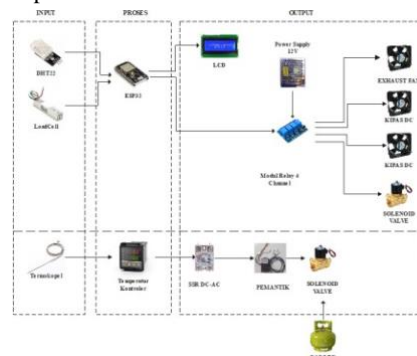
Liquefied Petroleum Gas merupakan campuran gas hidrokarbon yang dicairkan, komponen utamanya terdiri dari gas propane (C₃H₈) dan butana (C₄H₁₀). Di Indonesia, komposisi LPG diatur oleh Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi No. 26525.K/20/DJM.T/2009 bahwa LPG mengandung minimal 97% propane (C₃H₈) dan butana (C₄H₁₀) dan maksimal 2% hidrokarbon lainnya [16]



Gambar 12 LPG
Sumber: [15]

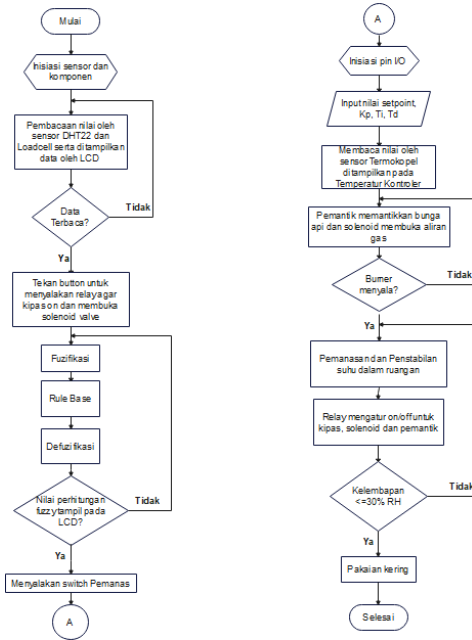
3. KONSEP PERANCANGAN

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif eksperimen dengan variabel penelitian pengkondisian suhu dan kelembapan terhadap tingkat kekeringan pakaian. Jenis pakaian yang akan digunakan adalah pakaian berbahan katun PE dengan ukuran L (50 cm x 68 cm). Teknik pengambilan sampel yang digunakan adalah sampling kuota, penelitian berdasarkan warna pakaian dan berat pakaian. Sehingga hasil penelitian berupa waktu yang dibutuhkan untuk mengeringkan pakaian dan penggunaan gas LPG berdasarkan pada pengkondisian suhu, kelembapan dan berat pakaian. Diagram blok alat pengering pakaian otomatis dapat dilihat pada Gambar 13 berikut ini.



Gambar 13 Diagram Blok Alat Pengering Pakaian Otomatis

Flowchart proses kontrol pada lemari pengering pakaian yang dimulai dari inialisasi komponen, pembacaan nilai suhu, kelembapan dan berat oleh sensor DHT22, proses logika fuzzy dari proses pemanasan sampai dengan setpoint, input nilai Kp, Ti, Td dan proses kontrol PID. Flowchart dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14 Flowchart Proses Pengering Pakaian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Metode PID

Pengujian dilakukan sebanyak delapan kali dengan metode PID dan Tanpa PID, data waktu dan suhu yang diambil hingga mencapai setpoint. Berikut ini adalah data percobaan dari lemari pengering pakaian otomatis menggunakan logika fuzzy Tsukamoto.

4.1.1 Pengujian Respon Tanpa Kontrol PID dan Pakaian

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui respon sistem tanpa menggunakan PID. Setpoint suhu yang digunakan pada pengujian ini sebesar 62°C. pengujian dilakukan pada pukul 16.09 WIB dengan suhu ruang 31°C. Berdasarkan eksperimen yang telah dilakukan maka diperoleh hasil pengujian pada Tabel 1.

Setpoint	Waktu (s)	Aktual Temperatur (°C)
62 °C	0	31
	30	31
	48	32
	60	32
	90	32
	105	33

	1980	60
	1994	61
	2010	61
	2040	61
	2068	62
2070	62	

Berdasarkan tabel 1, maka diperoleh grafik respon sistem tanpa PID dan pakaian pada Gambar 15.



Gambar 15 Grafik Percobaan Tanpa PID dan Pakaian
Sumber: Dokumen Pribadi

Berdasarkan hasil pengujian, relay akan memutus aliran listrik ketika suhu mencapai 62°C sehingga proses pemanasan terhenti. Ketika suhu yang dideteksi oleh termokopel turun menjadi 59°C maka akan menghidupkan relay dan menyalakan pemanas.

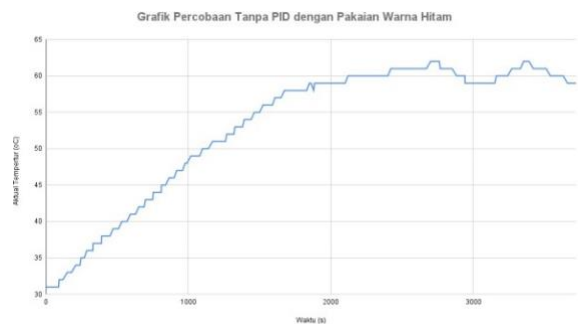
4.1.2 Pengujian Respon tanpa Kontrol PID dengan Pakaian Hitam

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui respon sistem tanpa kontrol PID dan pakaian hitam sebanyak 3 buah. Setpoint suhu yang digunakan pada pengujian ini sebesar 62 °C. Pakaian basah sudah diperas menggunakan tangan dengan berat total 860 gr, sedangkan berat kering sebesar 445 gr. Pengujian dilakukan pada pukul 14.10 WIB dengan suhu yang terukur oleh sensor sebesar 31°C. Berdasarkan eksperimen yang telah dilakukan maka diperoleh hasil pengujian pada Tabel 2.

Setpoint	Waktu (s)	Aktual Temperatur (°C)
62 °C	0	31
	30	31
	60	31
	90	31
	93	32
	120	32

	3570	60
	3600	60
	3630	60
	3660	59
	3690	59
3720	59	

Berdasarkan tabel 2, maka diperoleh grafik respon sistem kontrol temperatur tanpa PID dengan pakaian hitam pada Gambar 16.



Gambar 16 Grafik Percobaan Tanpa PID dan Pakaian Warna Hitam
Sumber: Dokumen Pribadi

Berdasarkan hasil pengujian, relay akan memutus aliran listrik ketika suhu mencapai 62°C sehingga proses pemanasan terhenti. Kemudian suhu turun menjadi 59°C dan mengoperasikan pemanas. Baju yang dikeringkan memiliki kondisi kering di seluruh bagian.

4.1.3 Pengujian Respon tanpa Kontrol PID dengan Pakaian Putih

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui respon sistem tanpa kontrol PID dengan tiga buah pakaian putih. Setpoint suhu yang digunakan pada pengujian ini sebesar 62 °C. Pengujian dilakukan pada pukul 12.01 WIB dengan suhu yang terukur oleh sensor sebesar 30°C. Berdasarkan eksperimen yang telah dilakukan maka diperoleh hasil pengujian pada Tabel 3.

Tabel 3 Hasil Pengujian Tanpa Kontrol PID dengan Pakaian Putih

Setpoint	Waktu (s)	Aktual Temperatur (°C)
62 °C	0	30
	30	30
	37	31
	60	31
	90	31
	117	32

	3570	60
	3600	60
	3630	60
	3660	59
	3690	59
	3720	59

Berdasarkan tabel 3, maka diperoleh grafik respon sistem kontrol dengan PID tanpa pakaian pada Gambar 17.



Gambar 17 Grafik Percobaan Tanpa PID dengan Pakaian Warna Putih
Sumber: Dokumen Pribadi

Berdasarkan hasil pengujian, relay akan memutus aliran listrik ketika suhu mencapai 62°C sehingga proses pemanasan terhenti. Kemudian suhu turun menjadi 59 °C dan mengoperasikan pemanas. Hasil pengeringan dua baju memiliki kondisi lembab pada bagian lipatan lengan tangan kiri. Sedangkan baju yang terletak paling kanan memiliki kondisi kering di seluruh bagian.

4.1.4 Pengujian respon tanpa Kontrol PID dengan Pakaian Merah

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui respon sistem tanpa kontrol PID dengan tiga buah pakaian merah. Setpoint suhu yang digunakan pada pengujian ini sebesar 62 °C. Pengujian dilakukan pada pukul 10.55 WIB dengan suhu yang terukur oleh sensor sebesar 31°C. Berdasarkan eksperimen yang telah dilakukan maka diperoleh hasil pengujian pada Tabel 4.

Tabel 4 Hasil Pengujian Tanpa Kontrol PID dengan Pakaian Warna Merah

Setpoint	Waktu (s)	Aktual Temperatur (°C)
62 °C	0	31
	30	31
	60	31
	90	32
	120	32
	135	33

	3570	60
	3600	60
	3630	61
	3660	61
	3690	61
	3720	62

Berdasarkan tabel 4, maka diperoleh grafik respon sistem kontrol tanpa PID dengan pakaian merah pada Gambar 18.



Gambar 18 Grafik Percobaan Tanpa PID dengan Pakaian Warna Merah
Sumber: Dokumen Pribadi

Berdasarkan hasil pengujian, relay akan memutus aliran listrik ketika suhu mencapai 60°C sehingga proses pemanasan terhenti. Kemudian suhu turun menjadi 59 °C dan menyalakan pemantik melalui relay. Hasil pengeringan terdapat satu baju di bagian paling kiri memiliki kondisi lembab di bagian lipatan bawah baju. Sedangkan dua baju memiliki kondisi kering di seluruh bagian.

4.1.5 Pengujian respon sistem kontrol PID tanpa pakaian

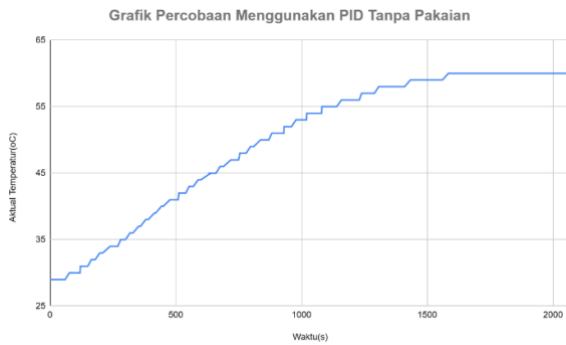
Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui respon sistem menggunakan PID. Setpoint suhu yang digunakan pada pengujian ini sebesar 62°C. pengujian dilakukan pada pukul 9.25 WIB dengan suhu ruang 29°C. Berdasarkan eksperimen yang telah dilakukan maka diperoleh hasil pengujian pada Tabel 5.

Tabel 5 Hasil Pengujian Menggunakan PID Tanpa Pakaian

Setpoint	Waktu (s)	Aktual Temperatur (°C)
62 °C	0	29
	30	29
	60	29
	77	30
	90	30
	120	30

	1920	60
	1950	60
	1980	60
	2010	60
	2040	60
	2070	60

Berdasarkan tabel 5, maka diperoleh grafik respon sistem tanpa PID dan pakaian pada Gambar 19.



Gambar 19 Grafik Percobaan Menggunakan PID Tanpa Pakaian
Sumber: Dokumen Pribadi

Berdasarkan hasil pengujian, temperatur kontroler memutuskan dan menyambungkan relay ketika suhu mencapai 60°C.

4.1.6 Pengujian respon sistem kontrol PID dengan Pakaian Warna Hitam

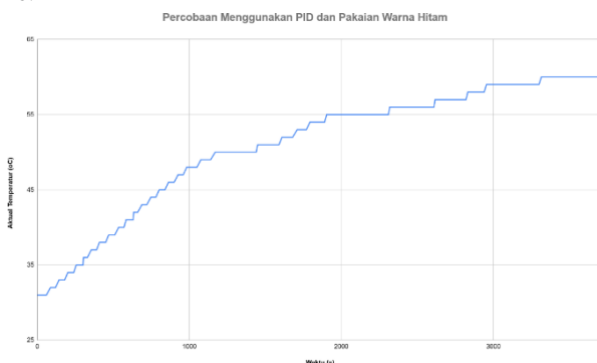
Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui respon sistem menggunakan kontrol PID dengan tiga buah pakaian hitam. Setpoint suhu yang digunakan pada pengujian ini sebesar 62 °C. Pengujian dilakukan pada pukul 10.06 WIB dengan suhu yang terukur oleh sensor sebesar 31°C. Berdasarkan eksperimen yang telah dilakukan maka diperoleh hasil pengujian pada Tabel 6.

Tabel 6 Hasil Pengujian Menggunakan PID dengan Pakaian Warna Hitam

Setpoint	Waktu (s)	Aktual Temperatur (°C)
62 °C	0	31
	30	31
	60	31
	87	32
	90	32
	120	32

	3570	60
	3600	60
	3630	60
	3660	60
	3690	60
	3720	60

Berdasarkan tabel 6, maka diperoleh grafik respon sistem kontrol menggunakan PID dengan pakaian hitam pada Gambar 20.



Gambar 20 Grafik Percobaan Menggunakan PID dan Pakaian Warna Hitam
Sumber: Dokumen Pribadi

Berdasarkan hasil pengujian, temperatur kontroler memutuskan dan menyambungkan relay ketika suhu mencapai 60°C. Hasil pengeringan yaitu kondisi ketiga baju kering di seluruh bagian.

4.1.7 Pengujian respon sistem kontrol PID dengan Pakaian Warna Putih

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui respon sistem menggunakan kontrol PID dengan tiga buah pakaian putih. Setpoint suhu yang digunakan pada pengujian ini sebesar 62 °C. Pengujian dilakukan pada pukul 13.30 WIB dengan suhu yang terukur oleh sensor sebesar 30°C. Berdasarkan eksperimen yang telah dilakukan maka diperoleh hasil pengujian pada Tabel 7.

Tabel 7 Hasil Pengujian Menggunakan PID dengan Pakaian Warna Putih

Setpoint	Waktu (s)	Aktual Temperatur (°C)
62 °C	0	32
	30	32
	60	32
	90	32
	98	33
	120	33

	3570	60
	3600	60
	3630	60
	3660	60
	3690	60
	3720	60

Berdasarkan tabel 7, maka diperoleh grafik respon sistem kontrol menggunakan PID dengan pakaian putih pada Gambar 21.



Gambar 21 Grafik Percobaan Menggunakan PID dengan Pakaian Warna putih
Sumber: Dokumen Pribadi

Berdasarkan hasil pengujian, temperatur kontroler memutuskan dan menyambungkan relay ketika suhu mencapai 60°C. Hasil pengeringan terdapat dua baju dengan kondisi kering di seluruh bagian. Sedangkan baju yang terletak di tengah memiliki kondisi lembab di bagian jahitan lengan kanan.

4.1.8 Pengujian respon sistem kontrol PID dengan Pakaian Merah

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui respon sistem menggunakan kontrol PID dengan tiga buah pakaian merah. Setpoint suhu yang digunakan pada pengujian ini sebesar 62 °C. Pengujian dilakukan pada pukul 15.36 WIB dengan suhu yang terukur oleh sensor sebesar 32°C. Berdasarkan eksperimen yang telah dilakukan maka diperoleh hasil pengujian pada Tabel 8.

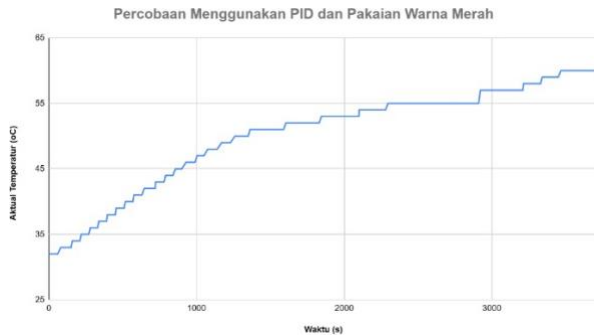
Tabel 8 Hasil Pengujian Menggunakan PID dengan Pakaian Warna Merah

Setpoint	Waktu (s)	Aktual Temperatur (°C)
62 °C	0	32
	30	32
	60	32
	80	33

Setpoint	Waktu (s)	Aktual Temperatur (°C)
	90	33
	120	33

	3570	60
	3600	60
	3630	60
	3660	60
	3690	60
	3720	60

Berdasarkan tabel 8, maka diperoleh grafik respon sistem kontrol menggunakan PID dengan pakaian putih pada Gambar 22.



Gambar 22 Grafik Menggunakan PID dengan Pakaian Warna Merah
Sumber: Dokumen Pribadi

Berdasarkan hasil pengujian, temperatur kontroler memutuskan dan menyambungkan relay ketika suhu mencapai 60°C. Hasil pengeringan baju yaitu ketiga baju memiliki kondisi kering di seluruh bagian.

4.2 Pengujian Fuzzy Logic Tsukamoto

Pengambilan data suhu, kelembapan dan loadcell dilakukan sebanyak 2 kali pada kondisi yang berbeda, baik suhu, kelembapan awal dan juga berat basah sampai mendapat berat kering pada pakaian. Berikut ini adalah data percobaan dari lemari pengering pakaian otomatis menggunakan logika fuzzy Tsukamoto.

4.2.1 Data Hasil Pengujian Pengeringan Pertama

Pada pengujian ini, pakaian yang dikeringkan berbahan katun polyester sebanyak 3 buah baju berwarna putih dengan ukuran masing-masing L. Data hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9 Pengujian Pertama Pengeringan Pakaian

Waktu (detik)	Berat (gram)	Suhu (°C)	Kelembapan (%RH)	Kondisi Kipas DC	Kondisi Solenoid
0	909,47	30,50	67,40	Hidup	Hidup
30	904,07	30,40	73,60	Hidup	Hidup
60	898,79	30,60	82,60	Hidup	Hidup
90	894,19	31,10	88,30	Hidup	Hidup
120	890,19	31,90	90,90	Hidup	Hidup
150	885,23	32,80	92,30	Hidup	Hidup
...
3030	494,91	68,50	31,90	Hidup	Hidup
3060	495,07	68,90	31,60	Hidup	Hidup
3090	498,30	69,40	31,00	Hidup	Hidup
3120	493,02	69,80	30,90	Hidup	Hidup

Waktu (detik)	Berat (gram)	Suhu (°C)	Kelembapan (%RH)	Kondisi Kipas DC	Kondisi Solenoid
3150	489,69	70,30	30,20	Hidup	Hidup
3180	492,53	70,50	29,70	Mati	Mati

Pada Tabel 9 diatas menunjukkan pengujian yang dilakukan menggunakan bahan katun sebanyak 3 buah pakaian. Pakaian ini memiliki berat awal 160 gr, 155 gr dan 155 gr dengan berat total 470 gram. Berat basah awal yang di baca oleh loadcell 909,47 gram. Pengeringan dilakukan selama 3180 detik atau 53 menit dengan berat kering yang didapatkan 492,53 gram. Pada pengeringan awal, gas LPG yang digunakan seberat 8,045 kg. Saat selesai pengeringan, gas LPG berkurang menjadi 7,820 kg. Untuk 1 kali proses pengeringan kaos putih ini mengurangi gas LPG sebesar 225 gram. Sebelumnya, telah dilakukan percobaan pengeringan tidak menggunakan fuzzy pada objek pengujian yang sama dengan perubahan berat awal Gas LPG 7,160 kg. Saat selesai pengeringan, gas LPG berkurang menjadi 6,915 kg. Untuk 1 kali proses pengeringan tersebut mengurangi gas LPG sebesar 245 gram.

4.2.2 Data Hasil Pengujian Pengeringan Kedua

Pada pengujian ini, pakaian yang dikeringkan berbahan katun polyester sebanyak 3 buah baju berwarna hitam dengan ukuran masing-masing L. Data hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10 Pengujian Kedua Pengeringan Pakaian

Waktu (detik)	Berat (gram)	Suhu (°C)	Kelembapan (%RH)	Kondisi Kipas DC	Kondisi Solenoid
0	848,92	30,20	75,50	Hidup	Hidup
30	843,27	30,10	81,30	Hidup	Hidup
60	834,54	30,30	87,50	Hidup	Hidup
90	829,18	30,80	92,10	Hidup	Hidup
120	824,83	31,80	93,60	Hidup	Hidup
150	820,82	32,80	94,10	Hidup	Hidup
...
2970	451,27	70,20	34,10	Hidup	Hidup
3000	454,45	70,60	33,10	Hidup	Hidup
3030	454,32	70,80	32,40	Hidup	Hidup
3060	446,41	71,00	31,20	Hidup	Hidup
3090	441,34	71,10	30,30	Hidup	Hidup
3120	440,98	71,00	29,70	Mati	Mati

Pada Tabel 10 menunjukkan pengujian yang dilakukan menggunakan bahan katun sebanyak 3 buah pakaian. Pakaian ini memiliki berat awal 140 gr, 140 gr dan 150 gr dengan berat total 430 gram. Berat basah awal yang di baca oleh loadcell 848, 92 gram. Pengeringan dilakukan selama 3120 detik atau 52 menit dengan berat kering yang didapatkan 440,98 gram. Pada pengeringan awal, gas LPG yang digunakan seberat 7,820 kg. Saat selesai pengeringan, gas LPG berkurang menjadi 7,720 kg. Untuk 1 kali proses pengeringan kaos hitam ini mengurangi gas LPG sebesar 100 gram. Sebelumnya, telah dilakukan percobaan pengeringan tidak menggunakan fuzzy pada objek pengujian

yang sama dengan perubahan berat awal Gas LPG 7,365 kg. Saat selesai pengeringan, gas LPG berkurang menjadi 7,160 kg. Untuk 1 kali proses pengeringan tersebut mengurangi gas LPG sebesar 205 gram.

4.2.3 Data Hasil Pengujian Pengeringan Ketiga

Pada pengujian ini, pakaian yang dikeringkan berbahan katun polyester sebanyak 3 buah baju berwarna merah dengan ukuran masing-masing L. Data hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 11 Pengujian Ketiga Pengeringan Pakaian

Waktu (detik)	Berat (gram)	Suhu (°C)	Kelembapan (%RH)	Kondisi Kipas DC	Kondisi Solenoid
0	875,66	29,00	79,20	Hidup	Hidup
30	870,01	29,00	83,50	Hidup	Hidup
60	860,29	29,40	90,60	Hidup	Hidup
90	850,12	30,20	92,90	Hidup	Hidup
120	854,93	31,10	93,80	Hidup	Hidup
150	844,56	32,00	94,10	Hidup	Hidup
...
2970	481,20	67,40	32,60	Hidup	Hidup
3000	482,74	67,60	32,20	Hidup	Hidup
3030	471,81	67,90	31,70	Hidup	Hidup
3060	463,88	68,30	31,10	Hidup	Hidup
3090	464,43	68,60	30,50	Hidup	Hidup
3120	458,61	69,10	29,70	Mati	Mati

Pada Tabel 11 menunjukkan pengujian yang dilakukan menggunakan bahan katun sebanyak 3 buah pakaian. Pakaian ini memiliki berat awal 145 gr, 145 gr dan 155 gr dengan berat total 445 gram. Berat basah awal yang di baca oleh loadcell 875,66 gram. Pengeringan dilakukan selama 3120 detik atau 52 menit dengan berat kering yang didapatkan 458,61 gram. Pada pengeringan awal, gas LPG yang digunakan sebesar 7,820 kg. Saat selesai pengeringan, gas LPG berkurang menjadi 7,470 kg. Untuk 1 kali proses pengeringan kaos merah ini mengurangi gas LPG sebesar 250 gram. Sebelumnya, telah dilakukan percobaan pengeringan tidak menggunakan fuzzy pada objek pengujian yang sama dengan perubahan berat awal Gas LPG 6,915 kg. Saat selesai pengeringan, gas LPG berkurang menjadi 6,760 kg. Untuk 1 kali proses pengeringan tersebut mengurangi gas LPG sebesar 155 gram.

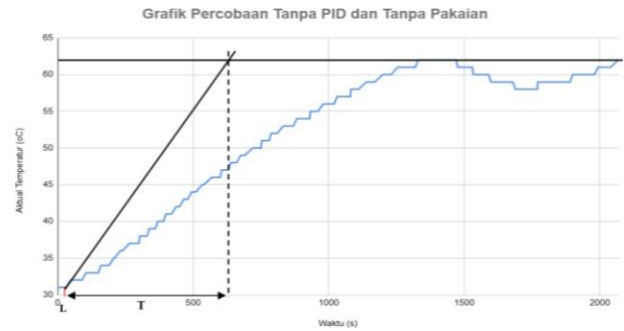
4.3 Analisa data hasil pengujian

4.3.1 Analisa Data Hasil Pengujian dengan Metode PID

Berdasarkan hasil pengujian yang diperoleh, maka dapat dilakukan perancangan kontrol PID menggunakan metode Ziegler Nichols I.

4.3.1.1 Perancangan Pengendalian PID Tanpa Pakaian

Perancangan dilakukan menggunakan metode Ziegler Nichols I, sehingga respon sistem yang diperoleh akan digambarkan seperti pada gambar 23 sebagai berikut.



Gambar 23 Implementasi Kurva Ziegler Nichols Pada Percobaan Tanpa PID dan Tanpa Pakaian
Sumber: Dokumen Pribadi

Berdasarkan Gambar 23 maka diperoleh $L=30$ detik dan $T=605$ detik. Maka dari parameter tersebut dapat ditentukan K_p , T_i dan T_d menggunakan rumus:

$$K_p = 1.2 \frac{T}{L} = 1.2 (20.167) = 24.2 \approx 24$$

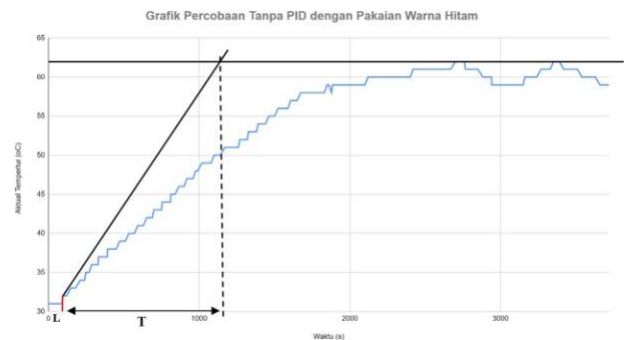
$$T_i = 2L = 2 \times 30 = 60$$

$$T_d = 0.5L = 15$$

Maka nilai $K_p = 24$; $T_i = 60$ dan $T_d = 15$.

4.3.1.2 Perancangan Pengendalian PID Menggunakan Pakaian Hitam

Digambarkan garis singgung pada respon sistem tanpa menggunakan PID dengan pakaian warna hitam sebagai berikut.



Gambar 24 Implementasi Kurva Ziegler Nichols Pada Percobaan Tanpa PID dan Pakaian Warna Hitam
Sumber: Dokumen Pribadi

Berdasarkan gambar 24 maka diperoleh $L=60$ detik dan $T=1140$ detik. Maka dari parameter tersebut dapat ditentukan K_p , T_i dan T_d menggunakan rumus :

$$K_p = 1.2 \frac{T}{L} = 1.2 (19) = 22.8 \approx 23$$

$$T_i = 2L = 2 \times 60 = 120$$

$$T_d = 0.5L = 30$$

Maka nilai $K_p = 23$; $T_i = 120$ dan $T_d = 30$.

4.3.1.3 Perancangan Pengendalian PID Menggunakan Pakaian Putih

Digambarkan garis singgung pada respon sistem tanpa menggunakan PID dengan pakaian warna putih sebagai berikut.



Gambar 25 Implementasi Kurva Ziegler Nichols Pada Percobaan Tanpa PID dan Pakaian Warna Putih
Sumber: Dokumen Pribadi

Berdasarkan gambar 25 maka diperoleh $L = 30$ detik dan $T = 478$ detik. Maka dari parameter tersebut dapat ditentukan K_p , T_i dan T_d menggunakan rumus:

$$K_p = 1.2 \frac{T}{L} = 1.2 (15.9) = 19.1 \approx 19$$

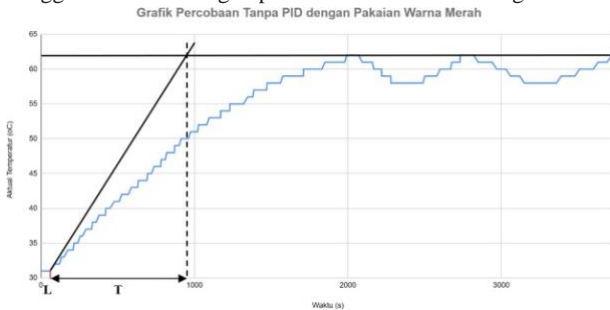
$$T_i = 2L = 2 \times 30 = 60$$

$$T_d = 0.5L = 15$$

Maka nilai $K_p = 19$; $T_i = 60$ dan $T_d = 15$.

4.3.1.4 Perancangan Pengendalian PID Menggunakan Pakaian Merah

Digambarkan garis singgung pada respon sistem tanpa menggunakan PID dengan pakaian warna merah sebagai berikut.



Gambar 26 Implementasi Kurva Ziegler Nichols Pada Percobaan Tanpa PID dan Pakaian Warna Merah

Berdasarkan gambar 26 maka diperoleh $L = 60$ detik dan $T = 955$ detik. Maka dari parameter tersebut dapat ditentukan K_p , T_i dan T_d menggunakan rumus:

$$K_p = 1.2 \frac{T}{L} = 1.2 (15.9) = 19.1 \approx 19$$

$$T_i = 2L = 2 \times 60 = 120$$

$$T_d = 0.5L = 30$$

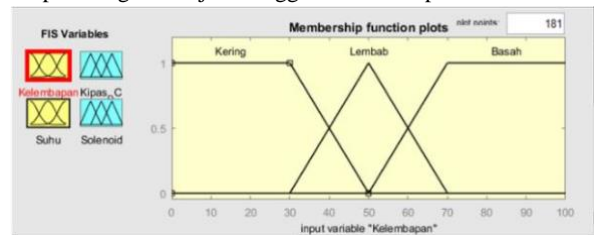
Maka nilai $K_p = 19$; $T_i = 120$ dan $T_d = 30$.

4.3.2 Analisa Data Hasil Pengujian dengan Metode Fuzzy Logic Tsukamoto

4.3.2.1 Pembuatan Himpunan Fuzzy

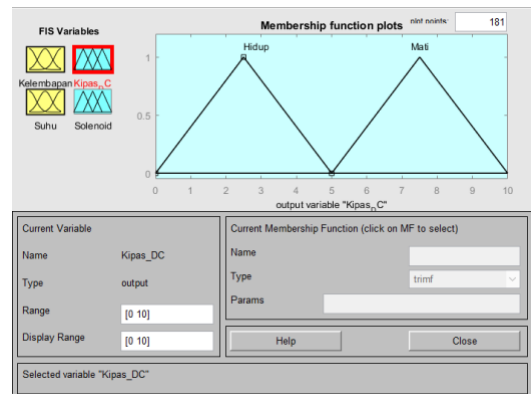
Pada analisis ini menggunakan nilai input kelembapan 43% dan suhu 63°C. Pertama dilakukan perhitungan pada himpunan fuzzy suhu sebagai berikut:

Kemudian, dilakukan perhitungan pada himpunan fuzzy kelembapan dengan derajat keanggotaan nilai input 43%.



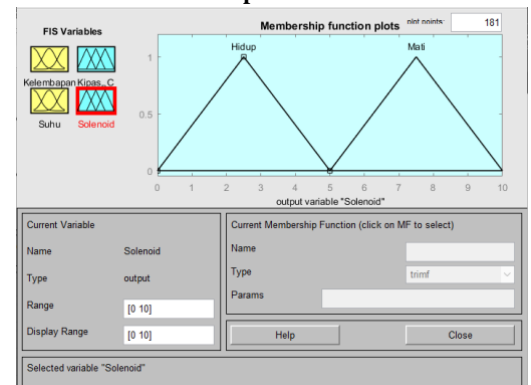
Gambar 27 Derajat Keanggotaan Kelembapan

Kemudian, membuat nilai *output* dengan range 0-10 dengan ketentuan 0-5 Kipas DC **Hidup** dan 5-10 Kipas DC **Mati**.

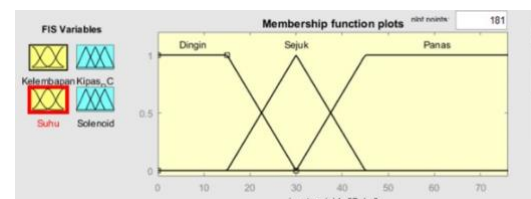


Gambar 28 Derajat Keanggotaan Output Kipas DC

Kemudian, membuat nilai *output* dengan range 0-10 dengan ketentuan 0-5 Solenoid **Hidup** dan 5-10 Solenoid **Mati**.

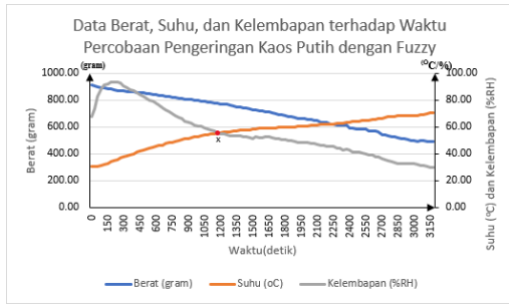


Gambar 29 Derajat Keanggotaan Output Solenoid Valve



4.3.2.2 Analisa Waktu Rata-rata Pengeringan pada Masing-masing Jenis Pakaian yang di Keringkan

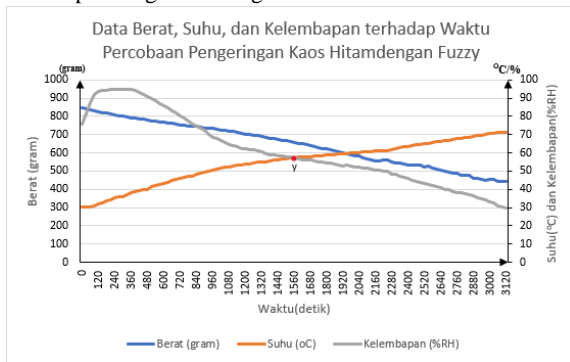
Pada masing-masing pengujian pengeringan pakaian terdapat perbedaan waktu menuju kering diantaranya sebagai berikut :



Gambar 31 Grafik Pengeringan Kaos Putih Bahan Katun Polyester

Pada gambar 31 terdapat titik potong yang ditandai dengan titik x. Pada percobaan tersebut, titik perpotongan ini terjadi pada 1170 detik dengan suhu 55,50 °C dan kelembapan 55,60%.

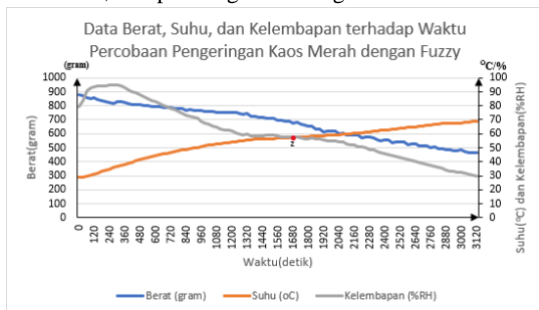
1. Pada pengeringan pakaian kedua berdasarkan Tabel 10, didapatkan grafik sebagai berikut.



Gambar 32 Grafik Pengeringan Kaos Hitam Bahan Katun Polyester

Pada gambar 32 terdapat titik potong yang ditandai dengan titik y. Pada percobaan tersebut, titik perpotongan ini terjadi pada 1560 detik dengan suhu 57,4°C dan kelembapan 57,3%.

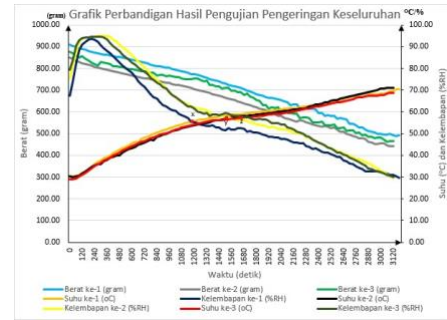
2. Pada pengujian pengeringan pakaian ketiga, berdasarkan Tabel 11, didapatkan grafik sebagai berikut.



Gambar 33 Grafik Pengeringan Kaos Merah Bahan Polyester

Pada Gambar 33 terdapat titik potong yang ditandai dengan titik z. Pada percobaan tersebut, titik perpotongan ini terjadi pada 1680 detik dengan suhu 57,4 °C dan kelembapan 57,4%.

3. Ketiga grafik diatas disatukan seperti pada gambar dibawah ini.



Gambar 34 Grafik Gabungan Seluruh Percobaan

Dengan pertemuan titik antara suhu dan kelembapan pada gambar 34 yang ditandai pada titik x, y, dan z, dapat di temukan waktu rata-rata pengeringan dari awal sampai dengan titik perpotongan, kemudian waktu rata-rata pengeringan dari titik perpotongan sampai dengan kondisi dianggap kering oleh fuzzy dan dapat ditemukan waktu rata-rata pengeringan dari percobaan tersebut. Waktu rata-rata yang dibutuhkan dapat dihitung menggunakan rumus berikut ini:

$$\text{Waktu rata - rata} = \frac{\text{Percobaan 1} + \text{Percobaan 2} + \text{Percobaan 3}}{3}$$

Untuk waktu rata-rata pada pengeringan dari awal sampai dengan titik perpotongan dapat dihitung:

$$\begin{aligned} \text{Waktu rata - rata awal ke titik potong} &= \frac{1170 + 1560 + 1680}{3} \\ &= \frac{4410}{3} = 1470 \text{ detik} = 24,5 \text{ menit} \end{aligned}$$

Untuk waktu rata-rata pada pengeringan dari titik perpotongan sampai dengan selesai pengeringan dapat dihitung:

$$\begin{aligned} \text{Waktu rata - rata titik potong}^s/d \text{ selesai} &= \frac{2010 + 1560 + 1440}{3} \\ &= \frac{5010}{3} = 1670 \text{ detik} = 27,8 \text{ menit} \end{aligned}$$

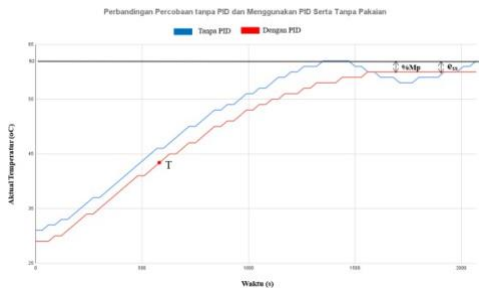
Untuk waktu rata-rata pengeringan dari awal sampai dengan selesai pengeringan dapat dihitung:

$$\begin{aligned} \text{Waktu rata - rata awal}^s/d \text{ selesai} &= \frac{3180 + 3120 + 3120}{3} \\ &= \frac{9420}{3} = 3140 \text{ detik} = 52,3 \text{ menit} \end{aligned}$$

4.4 Analisa Perbandingan Respon Sistem

4.4.1 Perbandingan respon sistem tanpa dan menggunakan PID tanpa pakaian

Setelah dilakukan pengujian dan perhitungan nilai Kp, Ti dan Td pada plant menggunakan PID dan tanpa PID dengan kondisi lemari pengering kosong atau tanpa pakaian, maka diperoleh grafik perbandingan yang dapat dilihat pada gambar 35.



Gambar 35 Grafik Perbandingan Percobaan Tanpa dan Menggunakan PID Tanpa Pakaian
Sumber: Dokumen Pribadi

Berdasarkan gambar 4.23 percobaan yang menggunakan nilai $K_p = 24$; $T_i = 60$ dan $T_d = 15$, memiliki hasil bahwa respon sistem yang menggunakan PID memiliki *rise time* (T) yang lebih cepat yaitu 594 detik yang diperoleh menggunakan metode kurva reaksi Ziegler Nichols. Sedangkan tanpa menggunakan PID nilai *rise time* sebesar 605 detik pada gambar 4.9. Nilai error steady state (e_{ss}) dapat diperoleh dengan rumus:

$$e_{ss} = \frac{\text{Nilai Target} - \text{Nilai Hasil}}{\text{Nilai Target}} \times 100\%$$

Maka dapat dihitung nilai e_{ss} untuk grafik menggunakan PID:

$$e_{ss} = \frac{62 - 60}{62} \times 100\% = 3,22\%$$

Selain itu, terdapat nilai Mp yang dihitung agar tidak melebihi 25%. Maka dapat dihitung percobaan menggunakan PID dengan rumus :

$$\%Mp = \frac{60 - 62}{62} \times 100\% = -3.22\%$$

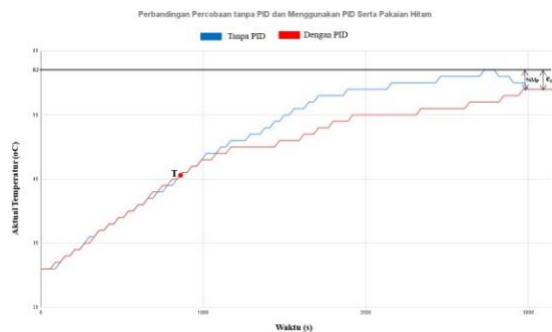
Perhitungan Mp untuk percobaan Tanpa PID:

$$\%Mp = \frac{62 - 62}{62} \times 100\% = 0\%$$

Berdasarkan hasil perhitungan dan gambar 35 bahwa grafik berada di bawah setpoint dan sesuai dengan setpoint, sehingga dapat diperoleh nilai %Mp adalah 0%.

4.4.2 Perbandingan respon sistem tanpa PID dan menggunakan PID dengan Pakaian Warna Hitam

Setelah dilakukan pengujian pada plant menggunakan PID dan tanpa PID dengan pakaian berwarna hitam, maka diperoleh grafik perbandingan yang dapat dilihat pada gambar 36.



Gambar 36 Perbandingan Percobaan tanpa PID dan Menggunakan PID serta Pakaian Warna Hitam
Sumber: Dokumen Pribadi

Berdasarkan gambar 36 menggunakan nilai PID dengan $K_p = 23$, $T_i = 120$ dan $T_d = 30$ memiliki hasil bahwa respon sistem yang menggunakan PID memiliki T yang lebih cepat yaitu 924 detik yang diperoleh menggunakan metode kurva reaksi Ziegler Nichols. Sedangkan tanpa menggunakan PID nilai T sebesar 1.140 detik. Maka dapat dihitung nilai e_{ss} untuk grafik menggunakan PID:

$$e_{ss} = \frac{62 - 60}{62} \times 100\% = 3,22\%$$

Selain itu, terdapat nilai Mp yang dihitung agar tidak melebihi 25%. Maka dapat dihitung untuk percobaan menggunakan PID:

$$\%Mp = \frac{60 - 62}{62} \times 100\% = -3.22\%$$

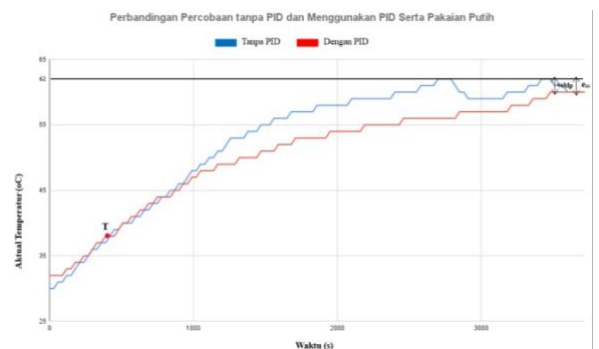
Perhitungan Mp untuk percobaan Tanpa PID:

$$\%Mp = \frac{62 - 62}{62} \times 100\% = 0\%$$

Berdasarkan hasil perhitungan dan gambar 36 bahwa grafik berada di bawah setpoint dan sesuai dengan setpoint, sehingga dapat diperoleh nilai %Mp adalah 0%.

4.4.3 Perbandingan respon sistem tanpa PID dan menggunakan PID dengan Pakaian Warna Putih

Setelah dilakukan pengujian pada plant menggunakan PID dan tanpa PID dengan pakaian berwarna putih, maka diperoleh grafik perbandingan yang dapat dilihat pada gambar 37.



Gambar 37 Perbandingan Percobaan tanpa PID dan Menggunakan PID serta Pakaian Warna Putih
Sumber: Dokumen Pribadi

Berdasarkan gambar 37 menggunakan nilai PID dengan $K_p = 19$, $T_i = 60$ dan $T_d = 15$ memiliki hasil bahwa respon sistem yang menggunakan PID memiliki T yang lebih cepat yaitu 410 detik yang diperoleh menggunakan metode kurva reaksi Ziegler Nichols. Sedangkan tanpa menggunakan PID nilai T sebesar 478 detik. Maka dapat dihitung nilai e_{ss} untuk grafik menggunakan PID:

$$e_{ss} = \frac{62 - 60}{62} \times 100\% = 3,22\%$$

Selain itu, terdapat nilai Mp yang dihitung agar tidak melebihi 25%. Maka dapat dihitung untuk percobaan menggunakan PID:

$$\%Mp = \frac{60 - 62}{62} \times 100\% = -3,22\%$$

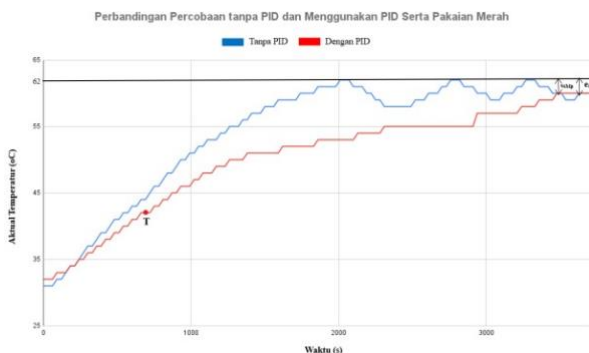
Perhitungan Mp untuk percobaan Tanpa PID:

$$\%Mp = \frac{62 - 62}{62} \times 100\% = 0\%$$

Berdasarkan hasil perhitungan dan gambar 4.25 bahwa grafik berada di bawah setpoint dan sesuai dengan setpoint, sehingga dapat diperoleh nilai %Mp adalah 0%.

4.4.4 Perbandingan respon sistem tanpa PID dan menggunakan PID dengan Pakaian Warna Merah

Setelah dilakukan pengujian pada plant menggunakan PID dan tanpa PID dengan pakaian berwarna putih, maka diperoleh grafik perbandingan yang dapat dilihat pada gambar 38.



Gambar 38 Perbandingan Percobaan tanpa PID dan Menggunakan PID serta Pakaian Warna Merah Sumber: Dokumen Pribadi

Berdasarkan gambar 4.16 menggunakan nilai PID dengan $K_p = 19$, $T_i = 120$ dan $T_d = 30$ memiliki hasil bahwa respon sistem yang menggunakan PID memiliki *rise time* (T) yang lebih cepat yaitu 690 detik yang diperoleh menggunakan metode kurva reaksi Ziegler Nichols. Sedangkan tanpa menggunakan PID nilai T sebesar 955 detik. Maka dapat dihitung nilai e_{ss} untuk grafik menggunakan PID:

$$e_{ss} = \frac{62 - 60}{62} \times 100\% = 3,22\%$$

Selain itu, terdapat nilai Mp yang dihitung agar tidak melebihi 25%. Maka dapat dihitung untuk percobaan menggunakan PID:

$$\%Mp = \frac{60 - 62}{62} \times 100\% = -3,22\%$$

Perhitungan maksimum overshoot untuk percobaan Tanpa PID:

$$\%Mp = \frac{62 - 62}{62} \times 100\% = 0\%$$

Berdasarkan hasil perhitungan dan gambar 4.26 bahwa grafik berada di bawah setpoint dan sesuai dengan setpoint, sehingga dapat diperoleh nilai %Mp adalah 0%.

4.4.5 Analisa Perbandingan Efisiensi Penggunaan Gas LPG dengan Menggunakan Metode Fuzzy Logic Tsukamoto

Pada data hasil pengeringan pertama dan data hasil pengeringan kedua terdapat perubahan berat gas LPG sebelum dilakukan pengeringan dan setelah dilakukan pengeringan. Data tersebut dapat dilihat pada Tabel 15 sebagai berikut:

No	Pengujian	Dengan Fuzzy	Hasil Pengurangan (gram)
1	Kaos Putih	YA	225
2	Kaos Putih	TIDAK	245
3	Kaos Hitam	YA	100
4	Kaos Hitam	TIDAK	205
5	Kaos Merah	YA	250
6	Kaos Merah	TIDAK	155

Pada tabel 15 dapat ditemukan rata-rata penggunaan gas LPG dengan menggunakan rumus:

$$\text{Rata-rata Penggunaan} = \frac{\text{Percobaan 1} + \text{Percobaan 2} + \text{Percobaan 3}}{3}$$

Dengan menggunakan rumus tersebut didapatkan hasil rata-rata penggunaan gas LPG dengan metode Fuzzy:

$$\begin{aligned} \text{Rata-rata Penggunaan} &= \frac{225 + 100 + 250}{3} = \frac{575}{3} \\ &= 191,67 \text{ gram} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan tersebut, dapat dicari nilai efisiensi penggunaan gas LPG menggunakan rumus berikut:

$$\text{Efisiensi}\% = 100\% - \left(\frac{\text{Rata-rata fuzzy}}{\text{Rata-rata tanpa fuzzy}} \times 100\% \right)$$

Didapatkan nilai efisiensi penggunaan gas LPG sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Efisiensi}\% &= 100\% - \left(\frac{191,67}{201,67} \times 100\% \right) = 100\% - (0,950 \times 100\%) \\ &= 100\% - 95,0\% = 5\% \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas, didapatkan perhitungan efisiensi penggunaan gas LPG dengan metode fuzzy logic Tsukamoto dibandingkan dengan tanpa menggunakan metode fuzzy logic Tsukamoto adalah 5 %.

5. KESIMPULAN

Adapun kesimpulan yang dapat diambil dari pengujian yang sudah dilakukan yaitu:

- Percobaan pengeringan terdiri dari tanpa kontrol PID dan menggunakan Kontrol PID. Berdasarkan hasil uji coba menggunakan kurva reaksi metode Ziegler Nichols untuk ketiga pakaian. Pakaian warna merah menggunakan nilai $K_p = 19$, $T_i = 120$ dan $T_d = 30$ didapatkan *rise time* sebesar 690 detik.
- Rata-rata error steady state dari ketiga warna pakaian sebesar 3,22%. Kemudian maksimum *overshoot* yang diperoleh 0%.
- Berdasarkan data pengujian menggunakan metode fuzzy logic Tsukamoto, waktu pengeringan rata-rata 3.140 detik atau 52,3 menit.
- Berdasarkan analisa data pengujian efisiensi gas LPG, penggunaan metode fuzzy logic Tsukamoto efisien sebesar 5 % dibandingkan tanpa menggunakan fuzzy logic Tsukamoto.

DAFTAR PUSTAKA.

- [1] Radillah, T., Sofiyan, A, "PROTOTYPE LEMARI PENERING PAKAIAN OTOMATIS," *Jurnal Informatika, Manajemen dan Komputer*, Vol. 10, Issue 1, 2018.
- [2] Badan Pusat Statistik, "Jumlah Usaha Provinsi Lampung 2016." 22 Desember 2022, Badan Pusat Statistik.
- [3] N. W. A. Sudiartini, A. A. E. Astari, N. P. A. D. Laksmi, and N. L. P. Damayanti, *Studi Kelayakan Bisnis Pada Usaha Sari Merta Laundry Di Desa Guwang Kecamatan Sukawati*, 2nd ed., vol. 6. *Jurnal Penelitian Ekonomi dan Akuntansi (JPENSI)*, 2021, pp. 116–142. Available: <https://jurnalekonomi.unisla.ac.id/index.php/jpensi>
- [4] R. Treybal, *Mass Transfer Operations*. 1981.
- [5] K. Burhani and R. Fitri Naryanto, "Pengembangan Media Pembelajaran Perpindahan Panas Radiasi Dengan Variasi Beda Perlakuan Permukaan Spesimen Uji," *Journal of Mechanical Engineering Learning*, vol. 3, no. 2, pp. 86–93, 2014, [Online]. Available: <http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/jmel>
- [6] F. Puspasari, T. P. Satya, U. Y. Oktawati, I. Fahrurrozi, and H. Prisyanti, "Analisis Akurasi Sistem Sensor DHT22 berbasis Arduino terhadap Thermohygrometer Standar," *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, vol. 16, no. 1, pp. 40–45, Feb. 2020, doi: 10.12962/j24604682.v16i1.5717.
- [7] W. Wajiran, S. D. Riskiono, P. Prasetyawan, and M. Iqbal, "Desain Iot Untuk Smart Kumbung Dengan Thinkspeak Dan Nodemcu," *POSITIF: Jurnal Sistem dan Teknologi Informasi*, vol. 6, no. 2, p. 97, Dec. 2020, doi: 10.31961/positif.v6i2.949.
- [8] A. Wagya, J. Teknik Elektro, P. Negeri Jakarta, J. G. Siwabessy, and K. U. Depok, "Prototipe Modul Praktik untuk Pengembangan Aplikasi Internet of Things(IoT)," *Jurnal Ilmiah Setrum Article In Press*, vol. 8, no.2, pp. 238–247, 2019.
- [9] A. Lestari and O. Candra, "Prototype Sistem Pensortir Barang di Industri Menggunakan Loadcell berbasis Arduino Uno," *JTEV (Jurnal Teknik Elektro dan Vokasional)*, vol. 7, no. 1, p. 27, Mar. 2021, doi: 10.24036/jtev.v7i1.111504.
- [10] A. Wibowo and L. A. Supriyono, "Analisis Pemakaian Sensor Loadcell Dalam Perhitungan Berat Benda Padat Dan Cair berbasis Microcontroller," 2019.
- [11] M. Natsir, D. Bayu Rendra, and A. Derby Yudha Anggara, "Implementasi Iot Untuk Sistem Kendali Ac Otomatis Pada Ruang Kelas Di Universitas Serang Raya," vol. 6, no. 1, 2019, [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/en/Products/Counterfeit>
- [12] *Walmart.com*, 25 Juni 2023, walmart.com
- [13] *Bukalapak.com*, 25 Juni 2023, bukalapak.com
- [14] Shaikh, M.J. and ANSARI, M, "Design and Fabrication of Table Top Injection Moulding Machine," 2021.
- [15] *Tokopedia.com*, 25 Juni 2023, tokopedia.com
- [16] M. H. Syukur, "sitasi1 perawatan gas LPG," *Forum Teknologi*, vol. 01, no. 2, pp. 1–14.