

---

---

# RANCANG BANGUN SISTEM PEMANAS AIR OTOMATIS PADA PENGUJIAN MESIN CUCI

## *Design Of Automatic Water Heating System For Washing Machine Testing*

Faqih Muhammad A<sup>1</sup>, Muhidin<sup>1</sup>, Fithri Muliawati<sup>1</sup>, Prayoga Bakti<sup>2</sup>,  
Iwan Sumirat<sup>3</sup>, Tyas Ari Wahyu Wijanarko<sup>4</sup>, Dwi Mandaris<sup>4</sup>, Irawan Sukma<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Elektro – Universitas Ibn Khaldun Bogor

Jl. KH Sholeh Iskandar Km. 2, Kedung Badak, Tanah Sereal, Bogor, Indonesia 16710

<sup>2</sup>Teknik Industri, Universitas Pamulang,

Jl. Puspitek, Buaran, Kec. Pamulang, Kota Tangerang Selatan, Banten 15314

<sup>3</sup>Pusat Riset Teknologi Deteksi Radiasi dan Analisis Nuklir – Badan Riset dan Inovasi Nasional,  
Kawasan PUSPIPTEK, Banten, Indonesia 15314

<sup>4</sup>Pusat Penelitian Teknologi Pengujian dan Standar – Badan Riset dan Inovasi Nasional,  
Kawasan PUSPIPTEK, Banten, Indonesia 15314

e-mail: irawansukma@brin.go.id

Diterima: 25 Juli 2022, Direvisi: 1 September 2022, Disetujui: 9 November 2022

### Abstrak

Setiap produk rumah tangga berbasis elektronik khususnya mesin cuci perlu dilakukan pengujian sesuai standar untuk keamanan dan keselamatan pengguna, Pada SNI IEC 60335-2-7 klausul 3.1.9 dijelaskan, bahwa untuk pengujian mesin cuci tanpa elemen pemanas perlu dioperasikan dengan air bersuhu 65 °C dengan toleransi  $\pm 5$  °C. Penelitian ini dirancang sistem pemanas air otomatis yang mampu menghasilkan suhu sesuai dengan parameter yang ditetapkan oleh standar, sehingga dapat memperbaiki kelemahan penelitian sebelumnya. Pembuatan sistem pemanas terdiri dari tangki pemanas air berbentuk tabung dengan panjang 60 cm dan lebar 41 cm berbahan *stainless steel*, dan di dalam tabung tersebut terdapat elemen pemanas listrik dengan daya 1200 Watt. Untuk memperoleh suhu air dengan presisi yang lebih baik, pengendalian suhu air dalam penelitian ini dirancang menggunakan metode *Proportional Integral Derivative* (PID). Hasil respon pengendali PID mendapatkan waktu awal kenaikan sekitar 4,08 detik dan mencapai keadaan tunak sekitar 4,83 detik dari pembacaan sensor. Respon tersebut juga menghasilkan suhu air yang stabil dan masih dalam batas toleransi yang ditentukan standar, yaitu 65 °C  $\pm 5$  °C.

**Kata kunci:** pemanas air, PID, suhu, standar, pengujian.

### Abstract

*Every electronic-based household product, especially washing machines, needs to be tested according to user safety and security standards. SNI IEC 60335-2-7 clause 3.1.9 explains that for testing, washing machines without heating elements need to be operated with water with a temperature of 65 °C and a tolerance of  $\pm 5$  °C. This study designed an automatic water heating system that can produce a temperature according to the desired standard parameters to improve previous studies' weaknesses. The heating system consists of a tubular water heater tank with a length of 60 cm and a width of 41 cm made of stainless steel. Inside the tube is an electric heating element with a power of 1200 Watt. To obtain water temperature with better precision, the water temperature control in this study was designed using the PID method. The results of the PID controller response get an initial time of increase of about 4.08 seconds and reach a steady state of about 4.83 seconds from sensor readings. This response also produces a stable water temperature and is still within the tolerance limits specified by the standard, which is 65 °C  $\pm 5$  °C.*

**Keywords:** water heater, PID, temperature, standards, testing.

## 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pada tahun 2018, berdasarkan survey dari CLASP, konsumsi listrik dari semua sektor di Indonesia adalah 256 Terawatthour (Twh). Sektor

rumah tangga merupakan pengguna listrik paling besar dengan 40 % dari total konsumsi, diikuti sektor industri dengan angka 37%, sektor komersil 23%, dan sektor transportasi 0,11%. Survey tersebut juga menunjukkan penggunaan alat elektronik pada rumah tangga, yaitu televisi

93 %, telepon seluler 78 %, setrika listrik 70%, kulkas 69%, penanak nasi 69%, kipas angin 64 %, pompa air 35 %, Mesin cuci 29 % dan blender 27 %(CLASP 2020).

Walaupun mesin cuci termasuk alat elektronik rumah tangga yang jarang digunakan oleh masyarakat Indonesia (CLASP 2020), para produsen peralatan elektronik di Indonesia selalu mengeluarkan produk terbaru mesin cuci dengan mengikuti perkembangan teknologi yang ada, sebagai contoh penggunaan logika fuzzy untuk mengatur banyaknya air yang digunakan saat mencuci (Suhada et al., 2021; Wulandari dan Abdullah 2018).

Selain itu, kunci sukses dalam penjualan produk baru mesin cuci di pasaran adalah dapat diterima oleh pengguna (Houde 2018; Rakhmawati et al. 2020). Salah satu hal yang mempengaruhi seorang pengguna mesin cuci adalah label informasi yang tertera pada mesin cuci, contohnya label Standar Nasional Indonesia (SNI) (Ahadi et al., 2018).

Pada peraturan Menteri Perindustrian, Permenperin No. 34 / M-IND / PER / 7 / 2013 disebutkan Kementerian Perindustrian (Kemenperin) sebagai badan regulasi mensyaratkan Standar Nasional Indonesia (SNI) untuk tiga produk elektronik rumah tangga yang diproduksi dalam negeri maupun impor dari luar negeri, salah satunya mesin cuci (Kementerian Perindustrian, 2013). Label SNI tersebut dapat diletakkan pada bagian peralatan maupun kotak pembungkus, disebutkan SNI yang diterapkan khusus untuk mesin cuci adalah SNI IEC 60335-2-7: 2009 (BSN, 2009). SNI tersebut merupakan terjemahan langsung dari *International Electrotechnical Commission* (IEC).

Dalam SNI tersebut, terdapat beberapa alat bantu yang dibutuhkan untuk pengujian. Salah satu contohnya untuk pengujian operasi normal pada klausul 3.1.9. Klausul tersebut menyatakan, untuk mesin cuci tanpa elemen pemanas dioperasikan dengan air bersuhu  $65 \pm 5$  °C (BSN, 2009).

Berdasarkan pengalaman pengujian di Pusat Penelitian Teknologi Pengujian Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (P2TP-LIPI) material plastik pada mesin cuci harus mampu menahan air sampai dengan suhu  $65 \pm 5$  °C, dikhawatirkan jika tidak mampu menahan suhu tersebut, dapat terjadi kebocoran air yang mengakibatkan kerusakan pada piranti mesin cuci. Agar dapat memenuhi persyaratan tersebut, maka dibutuhkan alat bantu berupa pemanas air untuk memanaskan air yang akan dituangkan ke dalam mesin cuci yang akan diuji. Alat tersebut harus dapat menghasilkan air dengan rentang suhu seperti yang ditentukan standar (Bakti et al., 2013).

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang sistem pemanas air otomatis yang mampu menghasilkan suhu sesuai dengan parameter yang ditetapkan standar. Adapun algoritma pengendali yang digunakan adalah kendali *Proportional Integral Derivative* (PID) berdasarkan SNI IEC 60335-2-7.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Pemanas Air Listrik

Pemanas air listrik berfungsi untuk memanaskan air dengan menggunakan elemen pemanas bertenaga listrik. Hasil dari pemanasan tersebut berupa suhu air yang akan sebanding dengan jumlah energi listrik yang dipasok ke sistem dan dikonversi menjadi energi panas (kalor) (Jayakanth et al., 2017). Pengendalian suhu hasil pemanasan dilakukan dengan cara mengatur atau memanipulasi jumlah pasokan daya listrik yang diberikan ke elemen pemanas (Jingjit et al., 2021).

Perubahan energi listrik ke energi pemanas merupakan salah satu contoh dari konversi energi. Energi yang timbul saat terjadinya perubahan suhu benda dari bagian panas ke bagian yang dingin, disebut kalor. Energi potensial listrik terjadi jika muatan listrik diam statis (diam), sedangkan muatan listrik yang dinamis (bergerak) menimbulkan arus listrik dan energi magnet. Muatan listrik yang mengalir tiap satuan waktu disebut arus listrik. Jika beda potensial  $V$ , kuat arus  $I$ , dan waktunya  $t$  maka persamaan untuk energi listrik ;

$$W = V \cdot I \cdot t \quad (1)$$

Dengan:

$W$  = Energi yang dilepaskan oleh sumber tegangan (Joule)

$V$  = Beda potensial (V)

$I$  = Kuat arus (A)

$t$  = Waktu (S)

Energi kalor dapat berpindah akibat adanya perbedaan suhu yang tinggi ke daerah suhu rendah, apabila terdapat dua benda dengan suhu yang beda bersentuhan akan terjadi pertukaran energi internal sampai suhu pada kedua benda tersebut seimbang (Salameh et al., 2021). Secara matematis jumlah panas dapat ditulis sebagai berikut (Yuningsih, 2018);

$$Q = mc\Delta T \quad (2)$$

Dengan:

$Q$  = Banyaknya kalor (J)

$m$  = Massa benda (Kg)

$c$  = Kalor jenis (J/Kg °C)  
 $\Delta T$  = Besar perubahan suhu (°C)

### 2.2 Pengendali PID Metode Pertama Ziegler Nichols

Penentuan parameter kendali PID untuk sistem yang tidak diketahui model matematisnya dapat menerapkan pengaturan Ziegler-Nichols. Pengaturan parameter secara Ziegler-Nichols dapat digabungkan dengan metode pengaturan manual setelah didapatkan nilai parameter awal (Ogata, 2010).

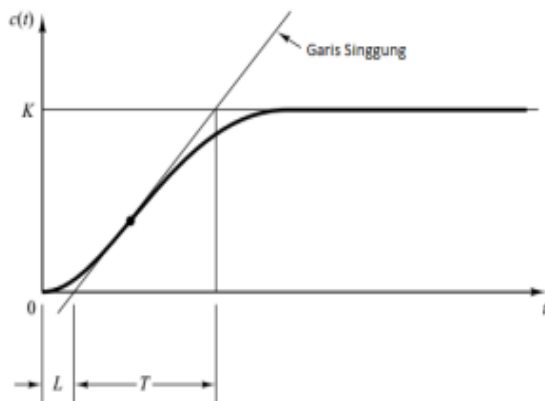
Kendali PID memiliki respon yang cepat untuk mendapatkan *steady state error* nol. Keluaran sinyal kendali PID dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut (Chopra et al., 2014);

$$u(t) = K_p e(t) + K_I e(t)dt + K_D \frac{de(t)}{dt} \quad (3)$$

Dengan:

- $u(t)$  = Sinyal kendali
- $e(t)$  = Sinyal error
- $K_p$  = Konstanta proporsional
- $K_I$  = Konstanta integral
- $K_D$  = Konstanta derivatif

Penggunaan metode pertama didasarkan pada respon sistem terhadap masukan nilai *step* menghasilkan respon seperti kurva huruf S, yang ditunjukkan oleh Gambar 1 (Kusnadi et al., 2018).



Gambar 1 Respon sistem kurva S.

Berdasarkan kurva S, persimpangan garis singgung dengan sumbu waktu dan garis  $c(t)$  menghasilkan nilai K. Metode pertama Ziegler-Nichols juga memiliki dua karakteristik lain berupa

konstanta waktu tunda ( $L$ ) dan konstanta waktu ( $T$ ). Perhitungan nilai  $T$  dan  $L$  dapat dihitung apabila garis yang bergerak ke atas menyentuh nilai K dan yang bergerak ke bawah menyentuh sumbu t. Untuk menentukan parameter  $K_p$ ,  $T_i$  dan  $T_d$  dapat dihitung dengan aturan pada Tabel 1 (Ardiatna et al., 2022). Untuk kendali PID yang dirancang dalam paralel atau tiga aksi terpisah maka  $T_i$  dan  $T_d$  harus konversi untuk mendapatkan  $K_I$  dan  $K_D$  dengan rumus persamaan sebagai berikut (Bados and Morejon, 2020);

$$K_I = \frac{K_p}{T_i} \quad (4)$$

$$K_D = \frac{K_p}{T_d} \quad (5)$$

Dengan:

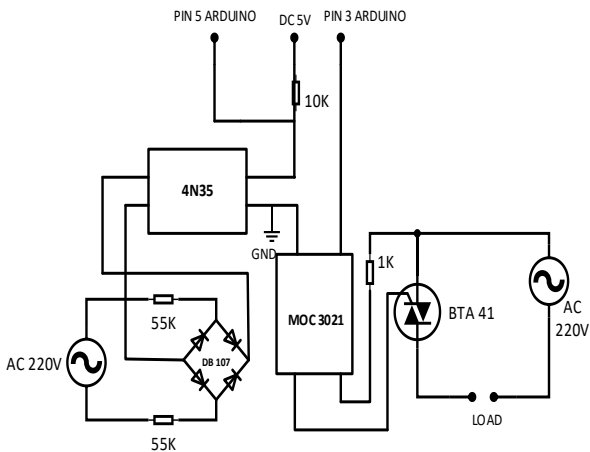
- $K_p$  = Konstanta proporsional
- $K_I$  = Konstanta integral
- $K_D$  = Konstanta derivatif
- $T_i$  = Waktu integral
- $T_d$  = Waktu derivatif

Tabel 1 Perhitungan nilai  $K_p$ ,  $T_i$  dan  $T_d$  berdasarkan aturan Ziegler-Nichols metode pertama.

Tipe Pengendali	$K_p$	$T_i$	$T_d$
P	$\frac{T}{L}$	$\infty$	0
PI	$0,9 \frac{T}{L}$	$\frac{L}{0,3}$	0
PID	$1,2 \frac{T}{L}$	$2 L$	$0,5 L$

### 2.3 Sistem Dimmer

Rangkaian *dimmer* yang akan digunakan memiliki beberapa komponen elektronik. Komponen yang dimaksud, yaitu IC 4N35 yang berfungsi sebagai *zero cross detector*, IC MOC 3021 optocoupler, dioda untuk penyearah dan *TRIAC* sebagai saklar untuk tegangan VAC (Bakti and Rusmin, 2018). Skematik rangkaian *dimmer* dan mikrokontroler ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Skematik rangkaian *dimmer* dan mikrokontroler.

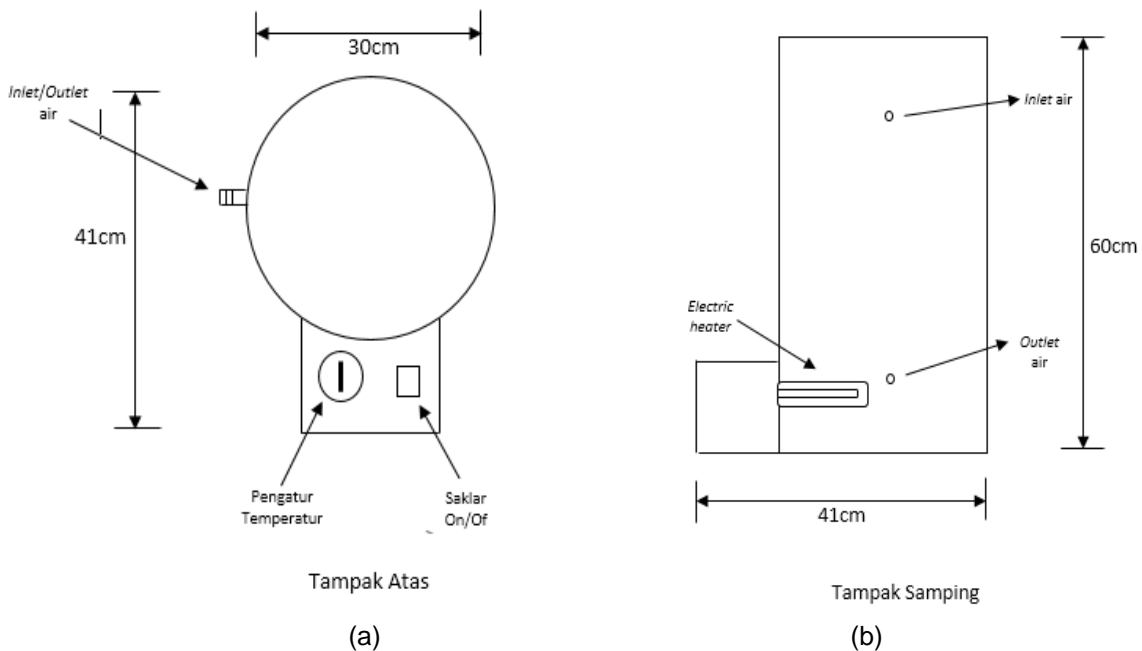
Menurut (Salam et al., 2019) prinsip kerja rangkaian *dimmer* adalah apabila kaki *gate* dari *TRIAC* mendapatkan suatu sinyal *trigger*, maka *TRIAC* akan konduksi dan menghantarkan arus. *TRIAC* juga berfungsi menunda waktu penyalaan

untuk mengantarkan arus ke *load* yang terdapat pada rangkaian *dimmer*. Waktu penundaan penyalaan yang dilakukan *TRIAC* dapat dihitung dengan membagi setengah gelombang sinusoidal, yang memerlukan periode waktu 10 detik menjadi 128 langkah. Dari langkah penyalaan tersebut, setiap satu langkah memerlukan waktu tunda 75 detik.

### 3. METODE PENELITIAN

#### 3.1 Sistem Pemanas Air

Desain tangki pemanas air yang akan dikendalikan berbentuk tabung dengan panjang 60 cm dan lebar 41 cm berbahan *stainless steel*, di dalam tabung tersebut terdapat elemen pemanas listrik dengan daya 1200 Watt, Penempatan sensor suhu DS18B20 dipasang secara vertikal di dalam tabung pemanas air (sesuai dengan Gambar 3) dengan jarak 10 cm dari elemen pemanas listrik. (Bakti et al., 2013)

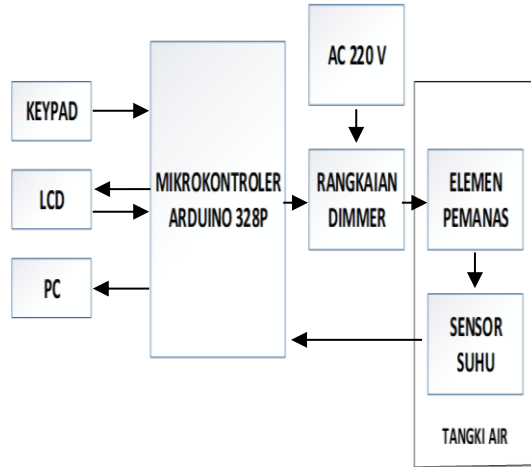


Gambar 3 Desain bentuk fisik tabung pemanas (a) Tampak Atas ; (b) Tampak Samping.

#### 3.2 Perancangan Perangkat Keras Elektronik

Blok diagram perangkat keras sistem ditunjukkan pada Gambar 4. Sistem terdiri dari Mikrokontroler sebagai pengendali utama yang akan digunakan untuk ditanamkan algoritma pengendali. Mikrokontroler mendapatkan masukan dari *keypad* (Hidayat et al., 2015). Untuk menampilkan data suhu, digunakan sebuah LCD dengan jenis

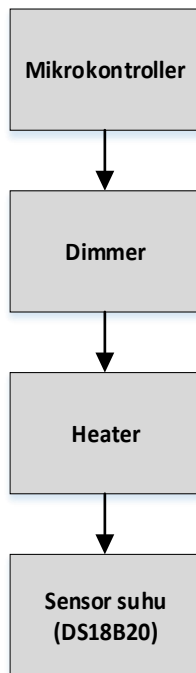
16 x 2. Penanaman algoritma ke dalam mikrokontroler dilakukan dengan menggunakan PC, selain itu PC juga dapat menampilkan data suhu dan lainnya. Untuk mendapatkan umpan balik digunakan sensor suhu DS18B20. Elemen pemanas diatur suhunya dengan mengatur tegangan melalui *dimmer*. *Dimmer* mendapatkan *supply* tegangan dari jala-jala PLN, untuk pengaturan besar tegangannya diatur oleh mikrokontroler (Bakti dan Rusmin 2018).



Gambar 4 Blok diagram perangkat keras.

### 3.3 Perancangan Kendali PID

Penelitian ini menggunakan Ziegler-Nichols metode pertama yang dimana diperlukan pengoperasian sistem secara *open loop* sebagai langkah awal untuk mendapatkan nilai parameter berupa waktu tunda ( $L$ ) dan konstanta waktu ( $T$ ). Diagram blok sistem *open loop*, seperti ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5 Diagram blok sistem *open loop*.

Berdasarkan Gambar 5, mikrokontroler disematkan algoritma *open loop*. Diberikan

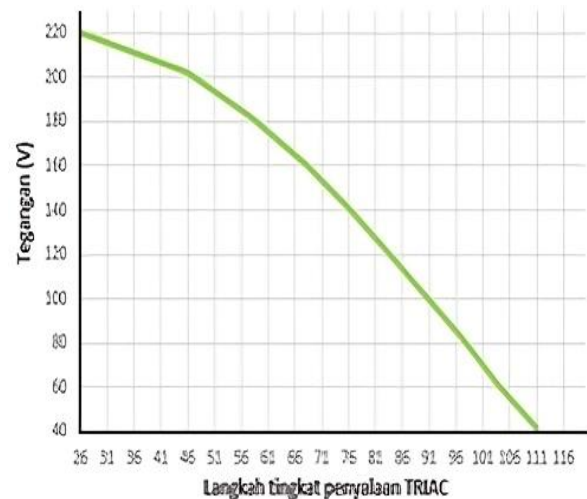
masukan berupa nilai step. Nilai tersebut akan menyalakan *dimmer* yang telah memiliki tegangan masukan dari jala-jala PLN, energi listrik yang telah diatur oleh *dimmer* akan memanaskan *heater* pada tangki air. Suhu air akan dideteksi oleh sensor DS18B20, namun tidak di umpan balikkan ke mikrokontroler.

## 4. HASIL DAN BAHASAN

Pada penelitian yang dilakukan oleh (Aisuwarya dan Hidayati, 2019) tentang pengujian sistem pemanas air menggunakan kendali PID dengan metode Ziegler-Nichols, ada kendala dalam mencapai *set-point* yang ditentukan, kecuali pada *setpoint* 100°C. Sedangkan dalam penelitian ini yang juga menggunakan metode Ziegler-Nichols, *setpoint* berhasil dicapai.

### 4.1 Hasil pengujian sistem

Sistem *dimmer* yang telah dirancang, diuji keluaran dan hasilnya berupa kurva seperti ditunjukkan Gambar 6. Kurva ini merupakan hubungan antara fungsi kerja *TRIAC* dengan tegangan keluaran pada *dimmer*. Terlihat bahwa semakin besar nilai tingkat penyalaan, maka tegangan yang dihasilkan semakin kecil. Begitu juga dengan kebalikannya, untuk mendapatkan tegangan yang besar maka nilai tingkat penyalaannya harus semakin kecil. Hal ini menunjukkan bahwa *dimmer* dapat berfungsi dengan baik.

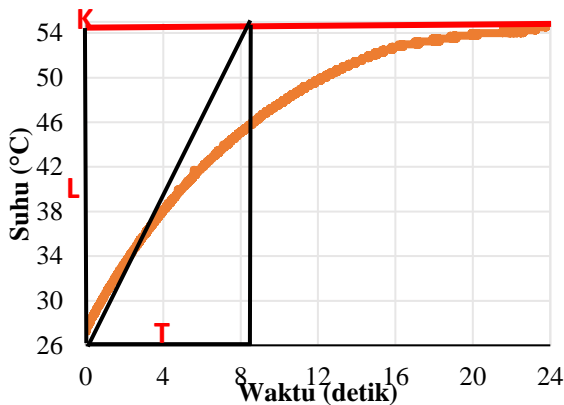


Gambar 6 Kurva *dimmer* dengan tegangan AC.

### 4.2 Hasil Perancangan Kendali PID

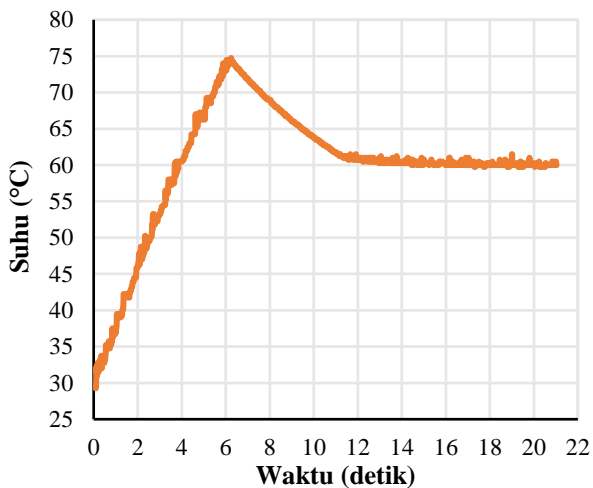
Kurva hasil *open loop* dengan metoda pertama Ziegler-Nichols ditunjukkan pada Gambar 7. Kurva tersebut didapatkan dengan memberikan

nilai penyalan sebesar 60. Dari kurva tersebut didapat nilai  $K = 54$ .



Gambar 7 Kurva sistem *open loop* terhadap masukan nilai step.

Nilai parameter  $K_p$ ,  $T_i$ , dan  $T_d$  dihitung dengan memasukan nilai  $K$ ,  $L$  dan  $T$  ke dalam Tabel 1. Dari hasil perhitungan didapatkan nilai;  $K_p = 97,33$ ,  $T_i = 180$  dan  $T_d = 45$ . Nilai yang dihasilkan oleh perhitungan tersebut dapat dikonversi menggunakan persamaan 7 dan 8, maka didapat hasil  $K_i = 0,54$  dan  $K_d = 2,162$ . Respon sistem *closed loop* setelah menggunakan nilai parameter  $K_p$ ,  $K_i$  dan  $K_d$ , ditunjukkan oleh Gambar 8.

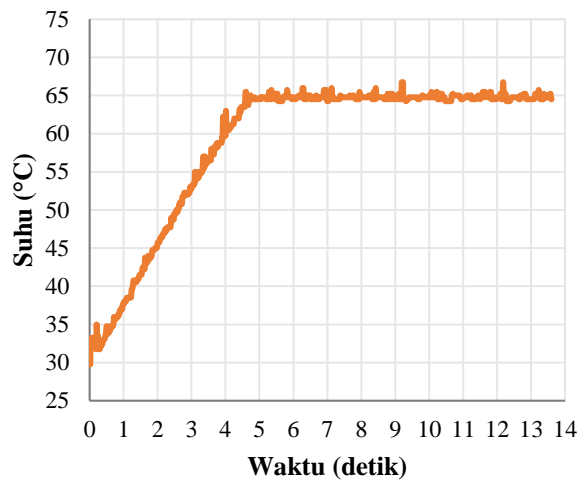


Gambar 8 Respon sistem *closed loop*.

Berdasarkan Gambar 8 diperoleh respon sistem *closed loop* dengan *setpoint* yang diatur 60°C menghasilkan *Rise Time* = 3,09 detik. Respon tersebut memiliki lonjakan *Overshoot* = 25%, dan diperlukan waktu *Settling Time* = 11,745 detik untuk mencapai stabilitas.

### 4.3 Respon sistem setelah dilakukan tuning Parameter PID

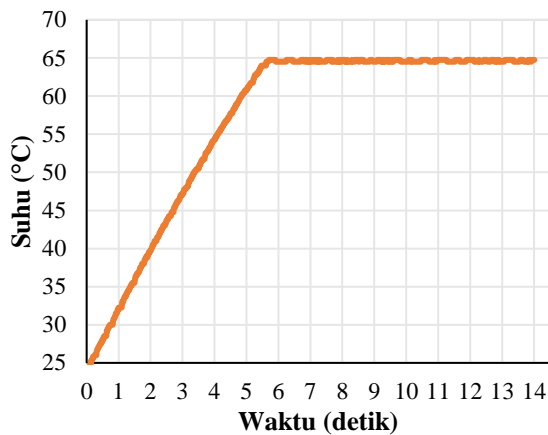
Setelah didapat nilai parameter PID dengan metode Ziegler-Nicols, percobaan pada tahap ini dilakukan dengan cara *manual tuning* untuk mendapatkan nilai parameter  $K_p$ ,  $K_i$  dan  $K_d$ , sehingga diperoleh sebuah sistem kendali dengan respon yang optimal. Data - data yang diperoleh dari nilai konstanta kendali, adalah sebagai berikut:  $K_p = 75$ ;  $K_i = 0,0054$ ; dan  $K_d = 1$ . Setelah dimasukan ke sistem *closed loop*, maka diperoleh respon t seperti Gambar 9.



Gambar 9 Respon sistem dengan nilai acuan 65°C.

Berdasarkan Gambar 9 dapat dijelaskan, bahwa dari kurva respon sistem dengan memasukan nilai acuan 65°C diperoleh waktu untuk memulai sistem *Rise Time* = 3,72 detik. Respon tersebut memiliki lonjakan *Overshoot* = 2,69%. Terdapat *Steady State Error* = 1,75% dan untuk mencapai stabilitas diperlukan waktu *Settling Time* = 4,68 detik. Respon yang diperoleh pada Gambar 9 menunjukkan masih terdapat suhu yang tidak stabil.

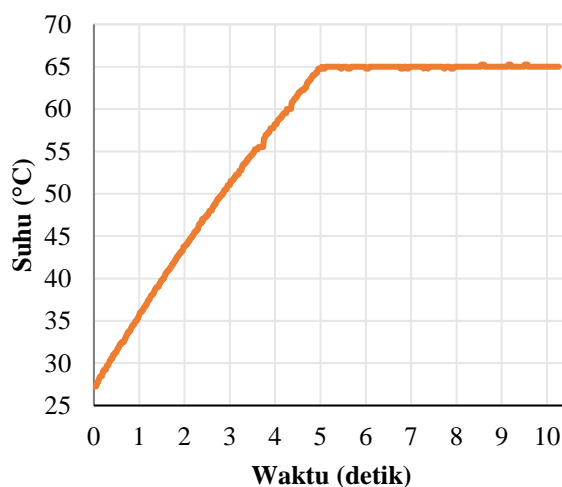
Data - data yang peroleh dari *manual tuning*, adalah sebagai berikut:  $K_p = 65$ ;  $K_i = 0,004$ ; dan  $K_d = 1$ . Setelah dimasukan ke sistem *closed loop*, maka diperoleh respon seperti Gambar 10.



Gambar 10 Respon sistem PID.

Berdasarkan Gambar 10 dapat dijelaskan bahwa dari kurva respon sistem dengan memasukan nilai acuan 65°C diperoleh waktu untuk memulai sistem  $Rise\ Time = 4,635$  detik. Respon tersebut memiliki lonjakan  $Overshoot = 0\%$ . Terdapat  $Steady\ State\ Error = 0,7\%$  dan untuk mencapai stabilitas diperlukan waktu  $Settling\ Time = 5,46$  detik. Jika dibandingkan dengan Gambar 9, perubahan masukan parameter nilai PID pada respon ini terlihat lebih stabil, tetapi suhu tersebut tidak mencapai 65°C.

Data - data yang diperoleh dari manual tuning, adalah sebagai berikut:  $K_p = 75$ ;  $K_i = 0,0084$ ; dan  $K_d = 1$ . Setelah dimasukan ke sistem *closed loop*, maka diperoleh respon seperti Gambar 11.



Gambar 11 Respon sistem PID.

Berdasarkan Gambar 11 dapat dijelaskan bahwa dari kurva respon sistem dengan memasukan nilai acuan 65°C diperoleh waktu

untuk memulai sistem  $Rise\ Time = 4,08$  detik. Respon tersebut memiliki lonjakan  $Overshoot = 0\%$ . Terdapat  $Steady\ State\ Error = 0,25\%$  dan untuk mencapai stabilitas diperlukan waktu  $Settling\ Time = 4,83$  detik.

Dari tiga percobaan yang dilakukan, masukan nilai parameter PID pada percobaan ketiga menghasilkan respon yang lebih baik seperti ditunjukkan pada Gambar 11. Grafik pada Gambar 11 menunjukkan bahwa, sistem dapat mencapai suhu 65°C dan stabil.

## 5. KESIMPULAN

Hasil penelitian ini dapat diterapkan dalam pengujian mesin cuci berdasarkan standar SNI IEC 60335-2-7: 2009. Hasil yang diperoleh dalam penelitian ini menunjukkan bahwa pengendalian sistem pemanas air otomatis dengan metode kontrol PID Ziegler-Nichols menghasilkan respon sesuai dengan yang diharapkan, yaitu 65°C dan tidak melebihi nilai toleransi yang ditetapkan standar sebesar  $\pm 5^\circ\text{C}$ . Selain itu, berdasarkan nilai parameter PID, nilai  $K_i$  yang semakin besar dapat mengurangi *steady state error* pada sistem.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini. Ucapan terimakasih disampaikan kepada Kepala Pusat Penelitian Teknologi Pengujian yang telah memberikan kesempatan untuk melaksanakan penelitian ini. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada para staf peneliti di Pusat Penelitian Teknologi Pengujian dan Standar – Badan Riset dan Inovasi Nasional yang telah banyak membantu dan memberikan saran terkait penulisan ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ahadi, Khalif, Tri Anggono, and Dedi Suntoro. 2018. "Usulan Penetapan Nilai Standar Dan Label Energi Untuk Mesin Cuci Pada Sektor Rumah Tangga." *Jurnal Standardisasi* 19(2): 127.
- Aisuwarya, Ratna, and Yulita Hidayati. 2019. "Implementation of Ziegler-Nichols PID Tuning Method on Stabilizing Temperature of Hot-Water Dispenser." In *2019 16th International Conference on Quality in Research, QIR 2019 - International Symposium on Electrical and Computer Engineering*, IEEE, 1–5.

- Ardiatna, Wuwus et al. 2022. "Proportional Integral Derivative-Based Aneroid Sphygmomanometer Testing Method." *Telkomnika (Telecommunication Computing Electronics and Control)* 20(3): 672–79.
- Bados, Jhon Stalin Figueroa, and Iralmy Yipsy Platero Morejon. 2020. "Design of a PID Control System for a Wastewater Treatment Plant." In *International Conference on Robotics, Control and Automation Engineering*, IEEE, 31–35.
- Bakti, Prayoga, and Pranoto H Rusmin. 2018. "Perancangan Dan Implementasi Sistem Chamber Untuk Pengujian Energi Efisiensi Lemari Pendingin." *Jurnal Standardisasi* 20(1): 1–10.
- Bakti, Prayoga, Hari Tjahjono, and Junaid Sadrach. 2013. "Analisis Homogenitas Temperatur Tabung Pemanas Air Sebagai Alat Bantu Pengujian Mesin Cuci Berdasarkan Standar SNI IEC 60335-2-27:2009." In *Annual Meeting on Testing and Quality (AMTeQ)2013*, Surabaya: Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, 79–83.
- BSN. 2009. "SNI IEC 60335-2-7:2009." : 32. <https://pesta.bsn.go.id/produk/detail/8600-sniiec60335-2-72010>.
- Chopra, Vikram, Sunil K. Singla, and Lillie Dewan. 2014. "Comparative Analysis of Tuning a PID Controller Using Intelligent Methods." *Acta Polytechnica Hungarica* 11(8): 235–49.
- CLASP. 2020. "Indonesia Residential End Use Survey." : 193. <https://clasp.ngo/publications/indonesia-residential-end-use-survey> (February 20, 2021).
- Hidayat, siddiq wahyu, Wuwus Ardiatna, and Irawan Sukma. 2015. "Alat Penguatifikasi Siklus Kerja Peralatan HF Surgical Menggunakan Arduino." In *Annual Meeting on Testing and Quality (AMTeQ)2015*, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, 171–77.
- Houde, Sébastien. 2018. "How Consumers Respond to Product Certification and the Value of Energy Information." *RAND Journal of Economics* 49(2): 453–77.
- Jayakanth, J J, S Ramasubramanian, M Chandrasekaran, and S Manavalan. 2017. "Investigation of Solar Water Heater by Using Flat Plate Collector and Evacuated Tubes." In *International Conference on Emerging Trends in Engineering Research*, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 1–6.
- Jingjit, Suttinee, Md Hafiz All Amin, and Kua Anan Techato. 2021. "Alternative Water Heating Technologies Replaced Instantaneous Water Heater in Hotel Sector – a SWOT-AHP Analysis." *TEM Journal* 10(2): 498–507.
- Kementrian Perindustrian. 2013. "Permenperin No.34/M-IND/PER/7/2013." : 11. [http://jdih.kemenperin.go.id/site/baca\\_peraturan/1513](http://jdih.kemenperin.go.id/site/baca_peraturan/1513) (May 4, 2020).
- Kusnadi, A Damar Aji, and Edwin Adi Eka Nanda. 2018. "Analisa Metode PID Pada Plant Water Heater Dengan Karakteristik FOPDT ( First Orde Plus Dead Time )." In *Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro*, Politeknik Negeri Jakarta, 151–57.
- Ogata, K. 2010. Prentice Hall *Modern Control Engineering*. 5th ed.
- Rakhmawati, T. et al. 2020. "The Important Level of Washing Machine Quality Dimensions in 4.0 Industrial Era Based on the Perception of a Laundry Business: A Preliminary Investigation." *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 722(1): 0–11.
- Salam, Rahmat Awaludin et al. 2019. "A Simple Solar Simulator with Highly Stable Controlled Irradiance for Solar Panel Characterization." *Measurement and Control (United Kingdom)* 52(3–4): 159–68.
- Salameh, Wassim et al. 2021. "On the Optimization of Electrical Water Heaters: Modelling Simulations and Experimentation." *Energies* 14(13): 1–12.
- Suhada, Kartika, Winda Halim, and Kelvin Kelvin. 2021. "Rancangan Mesin Cuci Hemat Energi, Ekonomis Dan Ramah Lingkungan Dengan Memperhatikan Aspek Ergonomi." *Jurnal Rekayasa Sistem Industri* 10(1): 67–72.
- Wulandari, N., and A. G. Abdullah. 2018. "Design and Simulation of Washing Machine Using Fuzzy Logic Controller (FLC)." *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 384(1): 0–8.
- Yuningsih, Nani. 2018. "Optimasi Besaran Fisis Yang Mempengaruhi Proses Konversi Energi (Studi Kasus Percobaan Tara Kalor Mekanik Dan Hukum Joule)." In *Seminar Nasional Fisika*, Uiversitas Negeri Jakarta, 77–84.