JTERA (Jurnal Teknologi Rekayasa), Vol. 7, No. 2, Desember 2022, Hal. 267-274
Terakreditasi "**Peringkat 3**" oleh Kemenristek/BRIN, Nomor SK: 85/M/KPT/2020
DOI: 10.31544/jtera.v7.i2.2022.267-274
p-ISSN 2548-737X
e-ISSN 2548-8678

Kendali Suhu Air Dengan Pengendali PI Menggunakan Metode Ziegler-Nichols I, Chien Servo I, dan Chien Regulator I

Sofyan Muhammad Ilman[1#], Febi Ariefka Septian Putra[2], Irianto[3], Eka Prasetyono[4]
[1,2]Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung
Jl. Gegerkalong Hilir, Bandung Barat, Indonesia
[3,4]Departemen Teknik Elektro, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya
Kampus PENS, Jalan Raya ITS Sukolilo, Surabaya, Indonesia
[#]sofyan.muhammad@polban.ac.id

Abstrak

Pengendali suhu air sangat dibutuhkan dibeberapa industri dan gedung komersil. Pemanas air elektrik umumnya hanya dapat memamanaskan air dan tanpa adanya kendali suhu, salah satunya adalah peralatan komersil dispenser air minum. Penelitian ini penulis mengusulkan pengaturan suhu air panas pada dispenser yang dapat diatur dengan pengendalian Propotional-Integral (PI) dengan metode tunning Ziegler-Nichols I, Chien Servo I, dan Chien Regulator I dengan dua nilai *setpoint* yaitu pada suhu 80℃ atau di suhu 90℃. Sensor yang digunakan adalah RTD PT100 sebagai *sensing* suhu air panas pada tabung dispenser. Hasil penelitian menunjukkan bahwa suhu air panas dapat stabil di masing-masing *setpoint* tersebut dengan ketiga jenis penalaan kontrol PI. Metode Chien Regulator I memiliki *rise time* yang lebih cepat dan memiliki kestabilan yang baik dibandingkan dengan kedua metode lainnya dengan besarnya *error steady state* di bawah 2%.

Kata kunci: Proportional-Integral, Ziegler-Nichols, Chien Servo I, Chien Regulator I, RTD PT100

Abstract

Water temperature controller is needed in several industrial and commercial buildings. Electric water heaters are generally only able to heat water and without temperature control, one of which is a commercial drinking water dispenser. In this study, the authors propose to regulate the temperature of hot water in a dispenser that can be adjusted using Proportional-Integral (PI) control using the Ziegler-Nichols I, Chien Servo I, and Chien Regulator I tuning methods with two setpoint values, namely at 80°C or at 90°C. The sensor used is RTD PT100 as a temperature sensing of hot water in the dispenser tube. The results showed that the hot water temperature could be stable at each of these setpoints with the three types of PI control tuning. The Chien Regulator I method has a faster rise time and good stability compared to the other two methods with a steady state error below 2%.

Keywords: *Proportional-Integral, Ziegler-Nichols, Chien Servo I, Chien Regulator I, RTD PT100*

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi pada saat ini semakin pesat dan maju untuk meningkatkan kesejahteraan pada lapisan masyarakat sebagai pengguna teknologi tersebut. Seperti halnya peningkatan kebutuhan peralatan yang dapat bekerja secara otomatisasi di sektor industri besar, menengah, kecil maupun rumah tangga. Sebagai contoh adalah peralatan yang digunakan untuk memanaskan atau mendinginkan air minum. Dispenser tersebut merupakan peralatan elektronik yang bekerja secara otomatis yang difungsikan sebagai memanaskan atau mendinginkan air untuk keperluan konsumsi (minum). Umumnya alat tersebut yang tersedia dipasaran dapat mengatur penyediaan air dengan suhu dingin, normal atau panas tergantung dari spesifikasi yang dikeluarkan oleh industri penciptanya. Namun kondisi dilapangan dispenser tidak terdapat pengaturan khusus, pengaturan hanya bersifat on-off yang diatur menggunakan sensor suhu [1].

Diterima: 26 Oktober 2022; Direvisi: 12 Desember 2022; Disetujui: 31 Desember 2022

© 2022 JTERA (Jurnal Teknologi Rekayasa), Politeknik Sukabumi

Berbagai metode untuk pengendalian suhu air telah banyak dikembangkan oleh banyak peneliti. Pengendalian suhu air panas pada dispenser dengan suhu 80°-85°C dapat dilakukan dengan menggunakan kontrol on-off melalui media pencampuran antara air suhu normal dengan air suhu panas agar memperoleh suhu tertentu dengan range tersebut [2]-[3]. Namun metode ini memiliki kekurangan yaitu suhu air panas yang dihasilkan akan mengalami ketidakstabilan ketika dalam keadaan tunak (*steady state)* dan respon kinerja sistem cenderung lambat. Pada penelitian sebelumnya tentang dispenser pintar, yang mana system dari dispenser tersebut terhubung dengan IoT agar suhu air, ketersedian air pada dispenser tersebut dapat dipantau dengan jarak jauh [4], namun suhu air pada dispenser tersebut tidak dapat di kendalikan. Sistem pengendalian suhu air panas pada dispenser menggunakan thermoelektrik dapat digunakan [5] namun pada metode tersebut memiliki keterbatasan dalam pencapaian suhu air panas yang optimal. Penelitian mengenai pengendalian suhu air pada dispenser menggunakan kontrol PID dengan berbagai macam metode Penalaan seperti Ziegler-Nichols, *trial and error*, cohen-coon, dan lain sebagainya. Tipe sensor yang digunakan adalah termokopel tipe K sebagai sensing suhu air [6]-[11]. Perbandingan yang sidnifikan pada jenis sensor terutama pada tingkat sensitifitas dan linieritas, yaitu sensor suhu jenis RTD lebih baik dibandingkan sensor jenis termokopel [12]. Metode Penalaan chien servo I dan chien regulator I pada sistem pengeringan pelepah pisang digunakan [13] dengan hasil yang baik dan penelitian tentang kontrol PID sebagai pengatur temperatur air pada boiler dan pemanas air di industri telah digunakan [14]-[15].

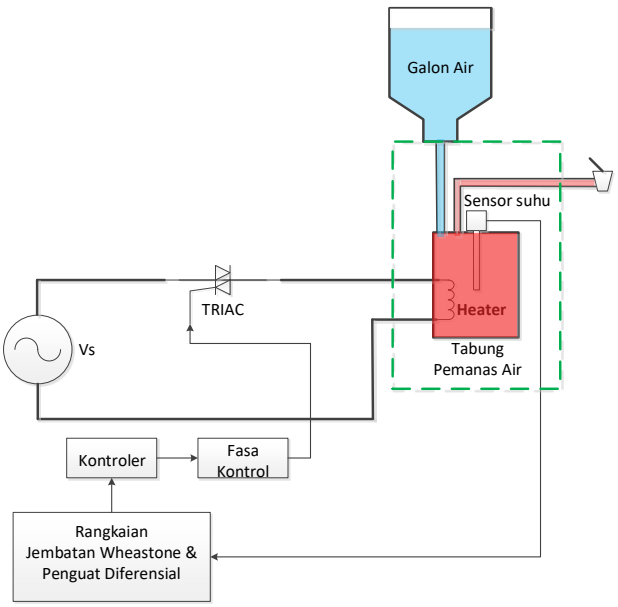
Tujuan penelitian ini adalah untuk memodifikasi pengaturan suhu air panas dengan menambahkan kontrol Propotional-Integral (PI) sebagai optimasi pengaturan/pengendalian suhu air pada dispenser. Kendali suhu air berdasarkan *setpoint* yang diinginkan (80° dan 90°C) dengan tiga jenis metode penalaan. Dengan mengatur sudut penyulutan pemicu TRIAC untuk menghasilkan tegangan output yang sesuai dengan nilai *setpoint*. Perbedaan dengan penelitian sebelumnya adalah pada metode penalaan kontrol PI pada penelitian ini menggunakan tiga jenis yaitu dengan metode Ziegler-Nichols tipe 1 (Ziegler-Nichols I), Chien Regulator I, dan Chien Servo I, lalu hasil dari ketiga metode penalaan tersebut dibandingkan untuk mempresentasikan hasil yang terbaik dari segi respon transien pada sistem, dan minimnya kesalahan kondisi tunak. Sensor suhu yang akan digunakan adalah jenis RTD PT100 yang mempunyai sensitifitas dan linearitas yang baik.

II. METODE PENELITIAN

Tahap pada penelitian ini yang diusulkan akan dibagi menjadi dua bagian, yaitu perangkat keras dan perangkat lunak. Untuk perangkat keras akan dibahas tentang pengendalian daya pada *heater* dispenser dan untuk tahapan perangkat lunak akan dibahas bagaimana tahapan mendapatkan kurva S sistem pada kondisi *open loop* dan tahapan mendapatkan konstanta-konstanta Penalaan kontrol PI yang dirancang.

A. Perangkat Keras

Pada Gambar 1 menunjukkan skema sistem secara keseluruhan pengendalian suhu yang diusulkan. Ada tiga bagian utama pada sistem ini, yaitu masukan, pengendalian daya, dan keluaran. Untuk sistem kerja keseluruhan secara umum adalah dengan mengatur tegangan keluaran yang mensuplai *heater* pemanas air pada tabung, maka panas yang dihasilkan akan bervariasi sesuai *setpoint* yang diinginkan. Pada bagian masukan berupa sensor suhu sebagai pembacaan suhu air panas dengan jenis sensor yang dipakai adalah RTD PT100 yang difungsikan sebagai pembacaan suhu air didalam tabung pemanas. Prinsip dasar kerja RTD PT100 adalah perubahan tahanan listrik atau resistansi logam yang dipengaruhi oleh perubahan suhu. Perubahan tahanan yang dipengaruhi suhu pada sensor tersebut sangat linear, dalam artian perubahan resistansi kecil, maka sensor tersebut membutuhkan perangkat tambahan berupa rangkaian jembatan wheatstone dan penguat sinyal jenis penguat diferensial yang difungsikan membaca perbedaan tegangan keluaran dari rangkaian wheatstone tersebut. Setelah tegangan keluaran dari rangkaian jembatan whetstone dibandingkan oleh penguat diferensial, maka hasil tegangan keluaran dari penguat tersebut dihubungkan pada mikrokontroler (kontroler) untuk dikonversikan tegangan tersebut melalui fasilitas *analog to digital converter* (ADC) dengan *setpoint* suhu yang sudah ditentukan yaitu 80° dan 90°C. Dari data *setpoint* suhu yang sudah di proses, maka kontrol PI mengolah sinyal *digital to analog converter* (DAC) sebagai pengaturan sudut trigger pada modul TCA 785 yang nantinya sinyal tersebut diteruskan menuju komponen pensaklaran berupa TRIAC untuk mengatur besarnya tegangan suplai pada *heater*.

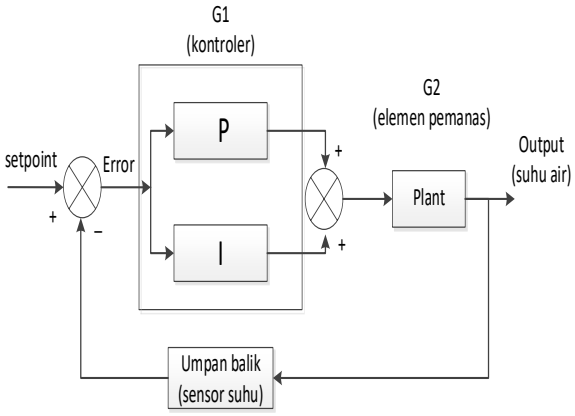


Gambar 1. Skema sistem pengendalian suhu air

Untuk pengendalian daya pada *heater* digunakan converter jenis AC-AC konverter, pengendalian daya dilakukan dengan cara mengatur besarnya tegangan keluaran pada konverter tersebut. Dimana rangkaian tersebut berfungsi untuk pengaturan daya AC dengan cara mengatur besarnya sudut penyulutan TRIAC dengan perangkat fasa kontrol. Perangkat kontrol yang terdiri dari *digital to analog converter* (DAC) dengan rangkaian R2R, modul IC TCA 785, dan optoisolator. Kontroler memberikan perintah berupa sinyal digital yang telah diproses dari data ADC yang sudah dikonversikan kedalam nilai suhu, kemudian diproses dengan *driver* DAC yang memiliki resolusi 8 bit, lalu sinyal yang berupa tegangan tersebut di hubungkan dengan modul IC TCA 785 pada kaki nomor 11 untuk kontrol tegangan. Dengan mengaturr besarnya tegangan pada modul tersebur maka besarnya sinyal penyulutan diatur, yang kemudian sinyal tersebut diteruskan menuju optoisolator dan gate pada TRIAC. Pada sisi keluaran, tegangan AC untuk suplai *heater* pada dispenser dapat diatur.

B. Perancangan Pengendali

Untuk diagram blok sistem kendali Gambar 2 menunjukkan proses pengendalian menggunakan kontrol PI. *Input/setpoint* merupakan nilai suhu yang menjadi acuan. Terdapat dua nilai *setpoint* yaitu 80° dan 90°C. Untuk kontroler (G1) merupakan kontroler PI dengan menggunakan tiga metode Penalaan, yaitu metode Ziegler-Nichols I, chien regulator I, dan chien servo I. Kemudian untuk *heater* (G2) yang digunakan untuk



Gambar 2. Diagram blok sistem kendali

memanaskan air dalam sebuah tabung, dan umpan balik berupa sensor suhu yang sebagai pembacaan suhu air pada tabung pemanas.

Pada tahapan perancangan sistem kendali terdapat dua tahap yang dilakukan, yang pertama memodelkan sistem dalam bentuk *loop* terbuka (*open loop)* dan *loop* tertutup (*close loop)*, untuk tahap kedua adalah mengetahui karakteristik respon sistem yang disajikan dalam bentuk kurva S. Kurva tersebut dihasilkan secara empiris dari sistem yang telah diimplementasikan. Pada kurva S tersebut terdapat dua konstanta, yaitu waktu tunda/keterlambatan transportasi proses (L), waktu konstan proses (T), dan gain statis proses (K). Penentuan waktu tunda dan waktu konstan pada kurva S dengan menggambar garis singgung pada titik belok dari kurva tersebut.

Dari diagram blok sistem kendali, G1 dan G2 dapat dimodelkan secara matematis sebagai berikut.

$$G2 = \frac{C(S)}{K(S)} = \frac{K}{\tau s+1} \qquad (1)$$

Pada persamaan (1) merupakan model dari plant, untuk model dari kontol PI didefinisikan sebagai

$$G1 = Kp\left[\frac{\tau is+1}{\tau is}\right] \qquad (2)$$

Metode Ziegler-Nichols I, Chien Servo I, dan Chien Regulator I digunakan sebagai Penalaan kontol PI pada proses kendali sistem orde satu. Tabel 1 merupakan persamaan yang digunakan pada ketiga metode tersebut. Tabel 2 menunjukkan parameter dan keterangan persamaan pada metode Penalaan kontrol PI. Nilai dari Kp dan Ki yang nantinya akan di proses dalam tahap pengendalian dalam sebuah *software* perangkat lunak pemograman.

Tabel 1. Persamaan metode penalaan kontrol PI

Metode penalaan	Kp	Ti	Ki
Ziegler-Nichols I	$\frac{0.9T}{KL}$	$\frac{0.9T}{KL}$	$\frac{Kp}{Ti}$
Chien Servo I	$\frac{0.35T}{KL}$	1,17L	
Chien Regulator I	$\frac{0.6T}{KL}$	4L	

Tabel 2. Parameter dan keterangan persamaan

Parameter	Keterangan
L	Keterlambatan transportasi proses
K	Gain statis proses
T	Waktu konstan proses
Kp	Konstanta Propotional
Ki	Konstanta Integral

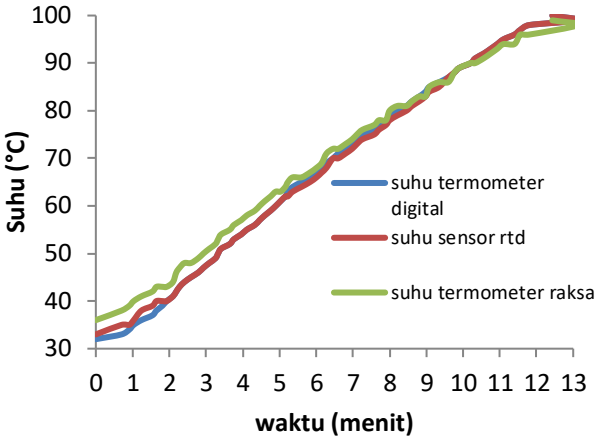
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk melihat kinerja dari sistem kendali yang telah diusulkan, maka pengujian dibagi menjadi dua macam yaitu, pengujian secara perangkat keras dan pengujian perangkat lunak. Pengujian keras meliputi pengujian pembacaan sensor suhu RTD PT100 yang dibandingan dengan pengukuran *thermometer* air raksa dan digital, dan untuk pengujian perangkat lunak meliputi pengujian kontrol. Untuk pengujian kontrol dibagi menjadi dua yaitu pengujian respon suhu tanpa kontroler (*open loop*) dan pengujian respon suhu dengan kontroler (*close loop*).

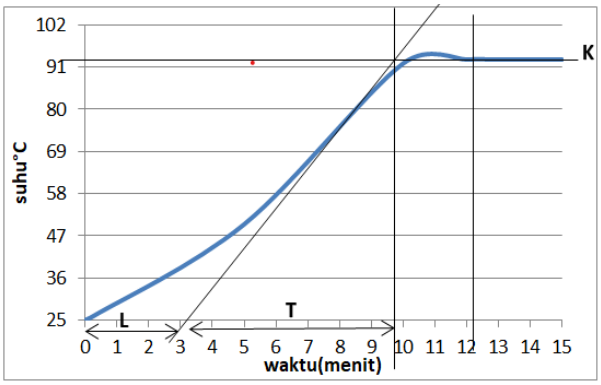
A. Pengujian Sensor Suhu

Pada pengujian ini disajikan data pengujian sensor suhu jenis RTD PT100 pada Gambar 3. Pada tahap ini bertujuan untuk membandingkan pembacaan suhu oleh sensor RTD PT100 dengan thermometer raksa dan digital.

Garis berwarna biru menunjukkan data pembacaan alat ukur suhu berupa thermometer digital, garis berwarna merah merupakan pembacaan sensor RTD dan garis berwarna hijau merupakan pembacaan alat ukur suku berupa thermometer raksa. Dari perbandingan alat ukur dan pembacaan sensor RTD menunjukkan bahwa relatif mendekati atau sama dengan pembacaan alat ukur thermometer yang artinya memiliki akurasi yang relatif mendekati alat ukur aslinya yaitu untuk *error* rata-rata pembacaan yang dihasilkan dari termometer air raksa dengan sensor RTD mencapai 3,5% dan 0,04% pembacaan termometer digital dengan sensor dengan sensor RTD.



Gambar 3. Grafik hasil pengujian perbandingan pembacaan suhu



Gambar 4. Kurva S respon suhu tanpa kontroler

B. Pengujian Respon Suhu Tanpa Kontroler

Pada tahapan pengujian ini *heater* diberikan suplai tegangan AC sebesar 220V konstan. Tujuan pengujian ini adalah ingin melihat seberapa lama waktu yang akan dicapai untuk mencapai *setpoint* (80° dan 90℃), seberapa mampu *heater* dapat memanaskan air (suhu maksimal) dan memperoleh grafik dari respon suhu tanpa kontroler yang disajikan dalam kurva S. Gambar 4 menunjukkan respon suhu tanpa kontrol yang mana dihasilkan parameter L, T dan K. Dari grafik diatas suhu *steady* berada pada 93℃.

C. Pengujian Respon Suhu Dengan Kontroler

Pada pengujian tahap ini yang mengacu pada Gambar 4 maka besarnya nilai Kp dan Ki dapat dihitung dengan menggunakan metode yang diusulkan. Tabel 3 menunjukkan nilai dari parameter-parameter yang diketahui dari grafik kurva S. Ketika suhu mencapai 93℃ pada pembacaan sensor menghasilkan nilai tegangan keluaran sensor sebesar 4,69V, pada suhu air mencapai 90℃ nilai tegangan keluaran sensor 4,54V, dan suhu air 80℃ dengan nilai tegangan keluaran sensor 80℃.

Tabel 3. Nilai dari parameter kurva S

Parameter	Nilai
L	3,1 menit
Ts	12,2 menit
T	6,7 menit
Suhu *Steady*	93°C
Setpoint	80°C dan 90°C
Yss (93°C)	4,69V
Xss (90°C)	4,54V
Xss (80°C)	4,1V

Tabel 4. Hasil konstanta kontroler ketiga metode dengan *setpoint* 90°C

Suhu awal air (°C)	*Setpoint* (°C)	*Kp*	*Ti*	*Ki*	Metode penalaan
25	90	1,85	10,33	0,17	Ziegler-Nichols I
24	90	0,72	3,627	0,19	Chien Servo I
25	90	1,23	12,4	0,099	Chien Regulator I

Tabel 5. Hasil konstanta kontroler ketiga metode dengan *setpoint* 80°C

Suhu awal air (°C)	*Setpoint* (°C)	*Kp*	*Ti*	*Ki*	Metode penalaan
25	80	1,41	10,33	0,13	Ziegler-Nichols I
25	80	0,55	3,627	0,15	Chien Servo I
25	80	0,94	12,4	0,075	Chien Regulator I

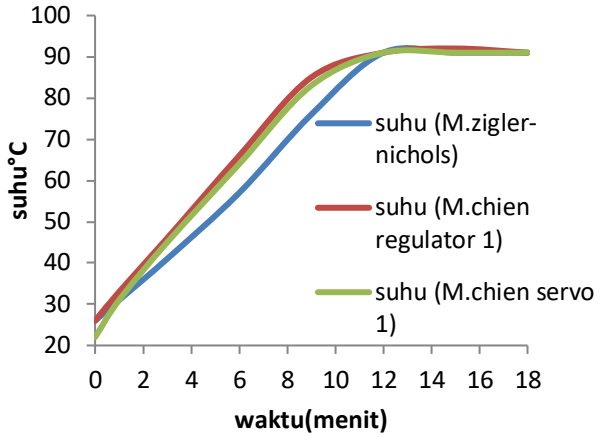
Untuk mencari nilai K dapat menggunakan persamaan di bawah ini.

$$K = \frac{Yss}{Xss} \quad (3)$$

Setelah didapatkan nilai K, maka nilai tersebut dimasukan kedalam persamaan pada tabel 1. Untuk besarnya nilai Ki makadidapatkan persamaan,

$$Ki = \frac{Kp}{\tau i} \quad (4)$$

Dengan menghitung parameter yang ada pada Tabel 3 yang di subtitusikan ke persamaan pada Tabel 1, persamaan (3) dan (4), maka diperoleh hasil nilai Kp, Ki dan Ti masing-masing metode yang disajikan pada Tabel 4 dan Tabel 5.



Gambar 5. Grafik ketiga metode penalaan kontrol PI pada *setpoint* 90°C

Tabel 6. Hasil analisa respon kendali ketiga metode penalaan dengan *setpoint* 90°C

Metode penalaan	*Rise time* (menit)	*Error steady state* (%)	*Overshoot* (%)
Ziegler-Nichols I	11	1,23	0
Chien Servo I	10	1,39	0
Chien Regulator I	9	1,36	2

Tabel 4 dan Tabel 5 menyajikan hasil perhitungan konstanta kontroler pada masing-masing metode. Tersaji data suhu mula air masing-masing metode dan *setpoint* yaitu 24-25°C. Untuk Hasil tersebut yang nantinya dimasukan kedalam persamaan (2) dengan memperhitungkan nilai *error* dari selisih pembacaan *setpoint* dan sensor suhu.

Hasil respon suhu dengan ketiga metode penalaan untuk *setpoint* 90°C dan 80°C akan dibandingkan seperti yang terlihat pada Gambar 5 dan Gambar 6. Dimana tujuan adalah untuk membandingkan *rise time* suhu terbaik dari ketiga metode penalaan tersebut dari masing-masing *setpoint*. Hasil respon pengendalian suhu untuk metode Ziegler-Nichols I terlihat pada garis grafik berwarna biru, untuk metode Chien Regulator I terlihat pada garis grafik berwarna merah dan metode Chien Servo I terlihat pada garis grafik berwarna hijau.

Berdasarkan Gambar 5 diketahui bahwa besarnya nilai *rise time* untuk metode Ziegler-Nichols I adalah 11 menit dan pada kondisi *steady state* suhu mencapai 90°C besarnya *error steady state* adalah 1,23%. Kondisi tersebut cukup stabil dengan besarnya *error steady state* relatif kecil.

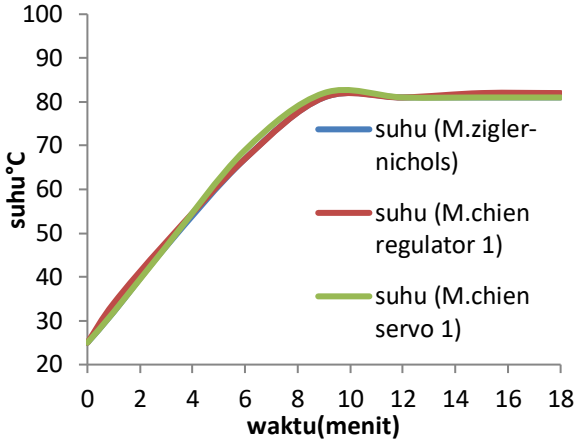
Untuk metode Chien Servo I berdasarkan Gambar 5 diketahui bahwa besarnya nilai *rise time* adalah 10 menit. Pada kondisi *steady state* suhu

mencapai 90℃ dengan besarnya *error steady state* adalah 1,39%, kondisi tersebut cukup stabil dengan besarnya *error steady state* relatif kecil.

Pada metode Chien Regulator I diketahui bahwa besarnya nilai *rise time* adalah 9 menit. Pada kondisi *steady state* suhu mencapai 90℃, kondisi tersebut cukup stabil dengan besarnya *error steady state* relatif kecil pula yaitu 1,36%. Pada Tabel.6 merupakan sajian data hasil analisa respon kendali dari ketiga metode penalaan dengan *setpoint* 90℃.

Pada Tabel 6 menyajikan data analisa respon kendali suhu air dengan *setpoint* 90℃, dimana metode chien regulator 1 memiliki respon *rise time* paling cepat dibandingkan dengan metode Ziegler Nichols, dan metode chien servo 1, dengan waktu untuk mencapai adalah 9 menit, dan besarnya *error steady state* ketiga metode penalaan relatif kecil dibawah 2%.

Hasil pengujian respon suhu dengan *setpoint* 80℃ pada ketiga metode penalaan dapat ditunjukkan pada Gambar 6, yang mana pada gambar tersebut terlihat respon transien hingga sampai keadaan tunak dari ketiga metode tersebut masing-masing berbeda. Dari Gambar 6, perbandingan ketiga metode penalaan tersebut disajikan untuk melihat respon transien suhu terbaik dari ketiga metode tersebut.



Gambar 6. Grafik ketiga metode penalaan kontrol PI pada *setpoint* 80 ℃

Tabel 7. Hasil analisa respon kendali ketiga metode penalaan dengan *setpoint* 80℃

Metode penalaan	*Rise time* (menit)	*Error steady state* (%)	*Overshoot* (%)
Ziegler-Nichols I	8	1,35	3,12
Chien Servo I	8	0,98	3,5
Chien Regulator I	7	1,7	2

Hasil dari Gambar 6 dan Tabel 7 diketahui besarnya nilai *rise time* untuk metode Chien Regulator I yaitu mencapai 7 menit. Pada kondisi *steady state* suhu mencapai 80℃, kondisi tersebut cukup stabil dengan besarnya *error steady state* ketiga metode penalaan relatif kecil dibawah 2%.

Hasil dari Grafik pada Gambar 6 dan Tabel 7 telah didapatkan perbandingan respon dari ketiga metode *tunning* kontrol PI tersebut dengan *setpoint* 80 ℃, metode Chien Servo 1, dengan metode Ziegler Nichols, dan metode Chien Regulator 1 memiliki respon yang hampir sama cepatnya, akan tetapi metode Chien Regulator 1 lebih cepat dalam segi *rise time* dan waktu respon transien dibandingkan kedua metode tersebut.

IV. KESIMPULAN

Kendali suhu air menggunakan kontrol Propotional-Integral dengan metode penalaan Ziegler-Nichols I, Chien Servo I, dan Chien Regulator I telah berhasil diimplementasikan. Dari hasil ketiga metode Penalaan kontrol PI tersebut setelah dibandingkan hasil dari besarnya *rise time* dan *error steady state*, kontrol PI dengan metode Penalaan Chien Regulator I memiliki *rise time* yang lebih cepat dibandingkan metode penalaan lainnya dengan waktu mencapai *setpoint* 90 ℃ adalah 9 menit, dan besarnya *error steady state* 1,36%, untuk *setpoint* 80 ℃ metode penalaan Chien Regulator I memiliki respon transien yang cepat yaitu 7 menit dengan *error steady state* 1,7% dengan besarnya *error steady state* dibawah 2%. Penelitian lebih lanjut akan dilakukan dengan pengembangan metode kontrol Fuzzy-PI dan penambahan kontrol suhu air dingin.

REFERENSI

[1] Y. A. Putra and K. Prawiroredjo, "Pengatur Temperatur Pada Dispenser Berbasis Arduino Mega 2560," *Jetri : Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, vol. 15, no. 1, pp. 29–40, 2017.

[2] F. Ariyanto and S. Nuryadi, "Rancang bangun dispenser dengan pengaturan suhu berbasis arduino," *Teknik Elektro Universitas Teknologi Yogyakarta*, vol. 2, no. 2, pp. 123–127, 2018.

[3] D. P. Karomi, "Rancang bangun sistem pengatur suhu dan volume otomatis pada dispenser berbasis Arduino Uno," *Skripsi UIN Sunan Gunung Djati Bandung*, 2020.

[4] Y. Gong and K. Zhao, "Smart water dispenser," *US Patent App. 29/671,655*, no. April 2019, 2020.

[5] C. Hommalee, S. Wiriyasart, and P. Naphon, "Development of cold-hot water dispenser with thermoelectric module systems," *Heat Transfer - Asian Research*, vol. 48, no. 3. pp. 854–863, 2019.

[6] M. K. A. Rosa, I. N. Anggraini, A. Herawati, and N. Ramadhan, "Perancangan Dispenser Air Panas Terprogram Dengan Kontrol PID," *Open Journal System Universitas Bengkulu*, pp. 112–118, 2019.

[7] H. Yulita, "Rancang Bangun Sistem Pengaturan Suhu Air Panas Pada Dispenser Menggunakan Metode Proportional Integral Derivative (PID)," *Skripsi Universitas Andalas*, 2019.

[8] R. Aisuwarya and Y. Hidayati, "Implementation of ziegler-nichols PID tuning method on stabilizing temperature of hot-water dispenser," *2019 16th International Conference on Quality in Research, QIR 2019 - International Symposium on Electrical and Computer Engineering*, no. July 2019, 2019.

[9] K. Nemati, B. T. Murray, and B. Sammakia, "Experimental Characterization and Modeling of a Water-Cooled Server Cabinet," *Fourteenth Intersociety Conference on Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems (ITherm)*, May 27-30, 2014.

[10] A. Burta, R. Szabo, and A. Gontean, "Temperature Measurements with Thermocouples Used in a Thermo-electric Hybrid Solar System," *Proceedings of the World Conference on Smart Trends in Systems, Security and Sustainability (WorldS4 2020)*, July 27-28, 2020.

[11] V. Msomi and O. Nemraoui, "Improvement of the Performance of Solar Water Heater based on Nanotechnology," *The 6th IEEE International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA 2017): San Diego, CA, USA*, 05-08 November 2017.

[12] C. Bolin, R. J. Kee, G. Irwin, S. F. McLoone, and P. C. Hung, "On Generalisation of Dual-Thermocouple Sensor Characterisation to RTDs," *15th IEEE Mediterranean Electrotechnical Conference*, Valletta, Malta, 26-28 April 2010.

[13] I. Irianto, S. Suhariningsih, and V. R. Dewanti, "Rancang Bangun Alat Pengering Pelepah Pisang(Menggunakan Metode Controller Chien Regulator I dan Chien Servo I Sebagai Tuning Kontrol PI)," *JEEE-U (Journal of Electrical and Electronic Engineering-UMSIDA)*, vol. 2, no. 1, pp. 1–7, 2018.

[14] K. Mimura and T. Shiotsuki, "Temperature Control of Deionized (DI) Water Heater by Combination of PID Control and Modern Control Theory," *IEEE International Conference on Mechatronics : Kumamoto, Japan,* 8-10, May 2007.

[15] L. Liu, Q. Wang, X. Fu, and X. Liu, "Water Temperature Control of An Electrically Heated Boiler Based on Robust PID," *International Conference on Mechatronic Sciences, Electric Engineering and Computer (MEC), Shenyang, China*, 20-22 Dec. 2013.