

Perancangan Kontroler PID Level *Deaerator* Dan Kondensor Pada *Steam Power Plant* Berbasis Algoritma Genetika

Zaenal Abidin*, Eko Ihsanto

Teknik Elektro, Universitas Mercu Buana, Jakarta

*abie_zf7@gmail.com

Abstrak— Sistem air penambah pada PLTU berfungsi untuk mesuplai kekurangan fluida kerja dari luar siklus secara kontinyu yang diakibatkan adanya sistem *blowdown* untuk menjaga kualitas uap dan kebocoran yang terjadi didalam sistem. Didalam penelitian ini, dilakukan perancangan sistem kontrol PID untuk mengatur level *deaerator* dan kondensor dengan optimasi tuning menggunakan algoritma genetika. Berdasarkan metode osilasi Ziegler-Nichols, untuk pengendali level *deaerator* didapatkan konstanta $K_p = 53,8$, $K_i = 21,4$ dan $K_d = 33,9$, menghasilkan *maximum overshoot* sebesar 18,1%, *rise time* sebesar 1150 detik, *error steady-state* sebesar 0,3, sedangkan untuk pengendali level *hotwell* didapatkan konstanta $K_p = 28,2$, $K_i = 8,7$ dan $K_d = 22,8$, menghasilkan *maximum overshoot* sebesar 25,7%, *rise time* sebesar 1120 detik dan *error steady-state* sebesar 0,07. Hasil optimasi algoritma genetika untuk PID pengendalian level *deaerator*, didapatkan konstanta $K_p = 97,3$, $K_i = 15,6$ dan $K_d = 63,1$ dengan *fitness overshoot* sebesar 2,1%, *rise time* sebesar 1190 detik dan *error steady-state* sebesar 0,01 untuk PID pengendalian level *deaerator*. Sedangkan untuk PID pengendalian level *hotwell* didapatkan konstanta $K_p = 94,2$; $K_i = 20,7$ dan $K_d = 71,5$ dengan *maximum overshoot* sebesar 1,6%, *rise time* sebesar 1218 detik dan *error steady-state* sebesar 0,001. Penalaan PID dengan algoritma genetika menghasilkan *overshoot* dan *setling time* yang lebih cepat dibandingkan dengan metode osilasi Ziegler-Nichols, akan tetapi memiliki *rise time* yang lebih lambat. Untuk *error steady-state* kedua metode tersebut menghasilkan nilai <1% sehingga memenuhi syarat untuk pengontrolan sistem yang baik.

Kata Kunci— PID, GA, Optimasi, Tuning, Overshoot, Rise time

DOI: 10.22441/jte.2021.v12i3.009

I. PENDAHULUAN

Sistem air utama pada PLTU terbagi menjadi beberapa *sub-system*, yaitu *condensate water system*, *feed water system* dan *make-up water system*. *Condensate water system* mencakup rangkaian dari kondensor hingga *deaerator* dan *feed water system* mencakup rangkaian dari *deaerator* hingga *boiler drum*. Fluida kerja air dan uap bekerja dengan sirkulasi secara tertutup tetapi didalam sirkulasinya terjadi kehilangan massa air yang antara lain disebabkan oleh adanya sistem *blowdown* untuk menjaga kualitas uap dan adanya kebocoran *minor* yang terjadi

didalam sistem [1], sehingga dibutuhkan sistem air penambah yang berfungsi untuk memenuhi kebutuhan fluida kerja tersebut dari luar siklus secara kontinyu.

Pada PLTU NTB, terdapat sistem air penambah dengan tapping point terletak di *deaerator*. Pada saat unit pembangkit beroperasi, temperatur fluida didalam *deaerator* berkisar 150 °C dengan tekanan 8 kg/cm², sedangkan temperatur air penambah berkisar 36 °C [2]. Ketika dua fluida dengan deviasi temperatur yang besar bertemu, dapat berpotensi terjadinya *water hammer* dan *thermal stress* yang dapat menyebabkan kerusakan mekanis atau *catastrophic failure* pada *deaerator* dalam jangka panjang sehingga dapat mengurangi keandalan dan *life time* peralatan [3]. Sesuai *best practice*, sistem pengisian air dapat dialihkan ke *hotwell* dengan pertimbangan deviasi temperatur antara air kondensat dan air penambah tidak terlalu besar sehingga dapat meminimalisir potensi terjadinya *water hammer* [4].

Selain itu, proses aliran fluida dalam *condensate water system* bersifat *non-linier*, sehingga diperlukan pengendali yang handal dan *robust* dalam mengatur ketinggian air di *deaerator* dan kondensor. Kendali PID memiliki kelemahan terkait tuning dalam penentuan konstanta K_p , K_i dan K_d yang dilakukan secara manual, *trial and error* untuk memperoleh performansi sistem yang optimal [5]. Untuk itu, perlu dilakukan optimasi penalaan kontroler PID untuk mendapatkan konstanta K_p , K_i dan K_d yang optimal dengan metode algoritma genetika untuk memenuhi spesifikasi kontrol yang diinginkan.

II. PENELITIAN TERKAIT

Perkembangan proses tuning PID diawali dengan metode tuning konvensional, seperti Ziegler-Nichols, Cohen-Coon, Astrom-Hagglund, Poulin-Pomerleau [6]. Selain itu, beberapa metode optimasi juga digunakan untuk optimasi konstanta PID seperti *Particle Swarm Optimization* (PSO), *Firefly Algorithm*, algoritma genetika dan *neural network* untuk mendapatkan spesifikasi pengontrolan yang paling baik [7].

Optimasi penalaan PID menggunakan algoritma genetika digunakan dalam berbagai objek, seperti untuk optimasi kontroler PID dalam pelacakan energi angin dengan menggunakan daya inersia rotasi sebuah rotor [8], sistem kontrol untuk pencampuran gas berdasarkan aliran massa untuk mengatasi cacat presisi yang buruk dan waktu pengendapan yang lama dari campuran gas [9], pengendali kecepatan motor DC agar tetap stabil dengan berbagai variasi pembebanan [10] [11], dan pengendalian level fluida pada bejana atau tangki.

Secara prinsip, pengendalian level fluida memiliki kesamaan dengan dilakukan pengaturan besaran volume fluida yang masuk dibandingkan dengan fluida yang keluar dari tangki tersebut. Dari perancangan sistem pengendalian level fluida tersebut didapatkan konstanta K_p , K_i dan K_d yang optimum dengan fungsi *fitness Integral of Absolute Error (IAE)*, *Integral of Squared Time Weighted Error (ISE)* dan *Integral of Time-weighted Absolute Error (ITAE)* [12].

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Permodelan Matematis Sistem Pengaturan Level

Perilaku dan sifat-sifat dari sistem dapat diwakili dalam bentuk model matematis. Model matematis dapat memberi gambaran hubungan fungsional antara masukan dan keluaran dari suatu proses dan merupakan gambaran perilaku dinamik sebuah sistem. Permodelan matematis ini dibuat sesuai proses masukan dan keluaran yang terjadi pada *deaerator* dan kondensor sebagai pendekatan *real plant* untuk dapat disimulasikan.

a. Permodelan Tangki Kondensor

Ketinggian air di kondensor ditentukan oleh keseimbangan aliran air kondensasi, kuantitas uap kondensasi dan aliran air penambah. Level air kondensat kondenser dapat diturunkan dengan hukum kesetimbangan massa sebagai berikut [13]:

[akumulasi massa per satuan waktu] = [massa masuk persatuan waktu] – [massa keluar persatuan waktu]

$$\rho \frac{dV}{dt} = F_{in} \rho_{in} + m_s - F_{out} \rho_{out} \quad (1)$$

dimana : V = Volume (m^3)
 F_{in} = Flow atau laju aliran massa yang masuk ke tangki (kg/s)
 F_{out} = Flow atau laju aliran massa yang keluar dari tangki (kg/s)
 m_s = Laju aliran steam (kg/s)
 ρ = Massa jenis cairan diasumsikan konstan (kg/m^3)

Dengan pendekatan model bentuk tangki adalah tabung, maka hubungan antara volume dan ketinggian adalah :

$$dV = A dh = Wt L dh \quad (2)$$

dimana : A = Luas permukaan water dalam tabung (m^2)
 h = Ketinggian tangki (m)
 Wt = Luas permukaan cairan (m^2)
 L = Panjang tabung (m)

Dengan mengasumsikan bahwa massa jenis kondensat tetap, maka Persamaan 1 dapat disubstitusikan ke Persamaan 2, maka dihasilkan persamaan berikut ini:

$$A \frac{dh}{dt} = F_{in} + \frac{m_s}{\rho} - F_{out} \quad (3)$$

Hubungan aliran keluaran air kondensat F_{out} dengan ketinggian tangki h adalah sebagai berikut :

$$F_{out} = \frac{h}{R}, R = konstant \quad (4)$$

Dari Persamaan 4 didiferensialkan maka akan menjadi :

$$A \frac{dh}{dt} + \frac{h}{R} = F_{in} + \frac{m_s}{\rho} \quad (5)$$

$$RA \frac{dh}{dt} + h = R F_{in} + \frac{R m_s}{\rho} \quad (6)$$

Dengan mentransformasikan kedalam transformasi Laplace maka didapatkan persamaan 7

$$(RAS + 1) H(s) = R F_{in}(s) + \frac{R}{\rho} m_s(s) \quad (7)$$

Selanjutnya Persamaan 7 disederhanakan, maka akan didapat fungsi alih dari proses kondenser yakni:

$$H(s) = \frac{R}{RAS + 1} F_{in}(s) + \frac{R}{(RAS + 1) \rho_{kondensat}} m_s(s) \quad (8)$$

Berdasarkan data spesifikasi, data komisioning dan parameter operasi kondensor, maka luas permukaan air dapat diturunkan sebagai berikut :

$$A = length \times width = 5 m \times 5 m = 25 m^2 \quad (9)$$

Keluaran air kondensat dari hotwel ke *deaerator* adalah $94,9 m^3/h$ pada bukaan MCV 45,5%. Dengan Persamaan 4 dapat didapatkan konstanta R. Untuk menjaga level kondensor maka diasumsikan aliran masuk air kondensat sama dengan aliran keluaran kondensat adalah sebagai berikut :

$$F_{out} = \frac{h}{R} \quad (10)$$

$$R = \frac{h}{F_{out}} = \frac{1,2}{94,9} = 45,52 \frac{s}{m^2} \quad (11)$$

Dengan nilai R dan luasan permukaan air A yang telah diketahui, maka dengan menggunakan Persamaan 8 didapatkan respon sistem sebagai berikut :

$$H(s) = \frac{45,5}{1137,5s + 1} q_{in}(s) + \frac{0,0455}{1137,5s + 1} m_s(s) \quad (12)$$

b. Permodelan Tangki Deaerator

Pendekatan model *deaerator* dilakukan dengan pendekatan kesetimbangan massa adalah akumulasi selisih dari laju aliran yang masuk dengan laju aliran yang keluar sehingga diketahui laju massa yang terakumulasi dalam sistem per satuan waktu. Dengan pendekatan model bentuk tangki adalah tabung dan berdasarkan data spesifikasi *deaerator*, maka luas permukaan air di *deaerator* didapatkan sebagai berikut :

$$A = 2(\pi r^2) + 2\pi r t \quad (13)$$

$$A = 2 \left(3,14 \cdot \left(\frac{2,6}{2} \right)^2 \right) + (2 \times 3,14 \times \left(\frac{2,6}{2} \right) \times 10,2) = 28,9 m^2 \quad (14)$$

Keluaran *feedwater* dari *deaerator* ke boiler adalah $107,5 m^3/h$ pada bukaan LCV 48,9%. Dengan Persamaan 4 dapat didapatkan konstanta R. Untuk menjaga level *deaerator* maka diasumsikan aliran masuk air kondensat sama dengan aliran keluaran *feedwater* adalah sebagai berikut :

$$R = \frac{h}{F_{out}} = \frac{10,2}{107,5} = 87,07 \frac{s}{m^2} \quad (15)$$

Dengan nilai R dan luasan permukaan air A yang telah diketahui, maka dengan menggunakan Persamaan 8 didapatkan respon sistem sebagai berikut :

$$H(s) = \frac{87,07}{2523,04s + 1} q_{in}(s) + \frac{0,087}{2523,04s + 1} m_s(s) \quad (16)$$

c. Permodelan Level Transmitter

Transmitter yang digunakan untuk mengukur ketinggian fluida didalam tangki *deaerator* dan kondensor adalah *differensial pressure transmitter*. Dari data spesifikasi, level *transmitter deaerator* bekerja dalam range 0 - 260 cm dan level *transmitter kondensor* bekerja dalam range 0 - 120 cm, sedangkan keluarannya adalah sinyal listrik dengan range 4 - 20 mA. Untuk menghitung *gain transmitter (GL)* adalah :

$$GL = \frac{\text{Span Output (mA)}}{\text{Span Input (meter)}} \quad (17)$$

Span Input merupakan kesalahan dari setting ketinggian yang digunakan *transmitter* dan span output merupakan besaran arus (4-20 mA) yang ditransmit ke DCS, sehingga didapatkan *gain transmitter* adalah sebagai berikut :

a. Level transmitter deaerator

$$GL = \frac{\text{Span Output (mA)}}{\text{Span Input (meter)}} = \frac{(20 - 4) \text{ (mA)}}{(260 - 0) \text{ (cm)}} = 0,062 \text{ mA/cm} \quad (18)$$

b. Level transmitter kondensor

$$GL = \frac{\text{Span Output (mA)}}{\text{Span Input (meter)}} = \frac{(20 - 4) \text{ (mA)}}{(120 - 0) \text{ (cm)}} = 0,13 \text{ mA/cm} \quad (19)$$

Fungsi alih dari *level transmitter* dapat didekati dengan sistem orde 1 sebagaimana persamaan dibawah ini:

$$\frac{L_L(s)}{I_L(s)} = \frac{G_L}{T_C(s) + 1} \quad (20)$$

dimana : $G_L = \text{Gain transmitter}$
 $T_C = \text{Time constant transmitter}$

Dengan T_C merupakan konstanta waktu untuk *transmitter* yang didapat dari spesifikasi alat, yaitu besarnya adalah 2 second. Berdasarkan data spesifikasi dari level *transmitter* yang digunakan dan Persamaan 20, fungsi alih dari level *transmitter* adalah sebagai berikut :

a. Fungsi transfer level transmitter deaerator

$$\frac{L_L(s)}{I_L(s)} = \frac{G_L}{T_C(s) + 1} = \frac{0,062}{2s + 1} \quad (21)$$

b. Fungsi transfer level transmitter kondensor

$$\frac{L_L(s)}{I_L(s)} = \frac{G_L}{T_C(s) + 1} = \frac{0,13}{2s + 1} \quad (22)$$

d. Pemodelan Matematis Control Valve

Dalam sistem kontrol ini, elemen pengendali akhir berupa *control valve* yang digunakan untuk memanipulasi laju aliran suatu fluida proses sehingga dapat melakukan pengendalian level pada tangki agar tetap pada range normalnya. Dengan mengasumsikan *Condensate Extraction Pump* beroperasi dengan laju *flow* sesuai kemampuan pompa dari manufaktur dan mengangap output dari level *control valve* [14] adalah *flow-rate* air kondensat sebesar 165 m³/jam atau ekuivalen dengan 41,5 kg/s dan input dari *control valve* adalah 4-20 mA, sedangkan *flow* minimum diasumsikan 0 m³/jam pada kondisi

control valve tertutup, maka untuk menghitung *gain level Condensate Water Control Valve (CCV)* adalah

$$K_{tot} = \frac{0 - 100\%}{(20 - 4) \text{ mA}} \times \frac{41,5}{0 - 100\%} = \frac{41,5}{16} = 2,6 \text{ kg/s/mA} \quad (23)$$

Konstanta waktu dari CCV diperoleh berdasarkan waktu stroke, perubahan fraksional terhadap bukaan *valve* dan perbandingan konstanta waktu pada stroking time *valve* sebesar 2 s dan harga time constant *control valve* adalah 2,06 s, maka fungsi alih dari CCV adalah sebagai berikut:

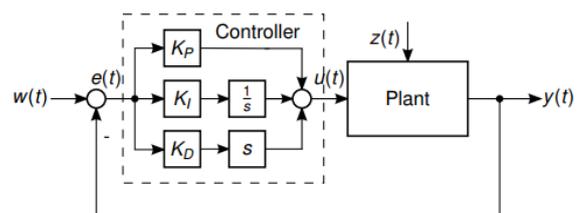
$$G_{cv} = \frac{K_{tot}}{\tau_{CV} s + 1} = \frac{2,6}{2,06 s + 1} \quad (24)$$

Dengan mengasumsikan kemampuan kondensor dalam mengkondensasikan uap dari turbin menjadi air ideal dan tingkat kevakuman kondensor stabil, maka untuk mengatur jumlah aliran dari *Make Up Water Tank (MWT)* ke *hotwell* dikontrol oleh *Make Up Water Control Valve (MCV)* didapatkan K_{tot} sebesar 1,48 kg/s/mA, maka fungsi alih dari MCV adalah sebagai berikut :

$$G_{cv} = \frac{K_{tot}}{\tau_{CV} s + 1} = \frac{1,48}{2,06 s + 1} \quad (25)$$

B. Perancangan Kontroler PID

Fungsi kontroler PID adalah memperoleh informasi nilai masukan dari *measuring device* yaitu sinyal *Process Variable (PV)* dan keluaran sistem secara keseluruhan, membandingkan dengan *Setpoint (SP)*, menentukan penyimpangan, mengeluarkan sinyal koreksi (*Manipulated Variable, MV*) untuk ditransmisikan dan menghasilkan sinyal kontrol dengan mengurangi penyimpangan menjadi nilai nol atau nilai minimum.



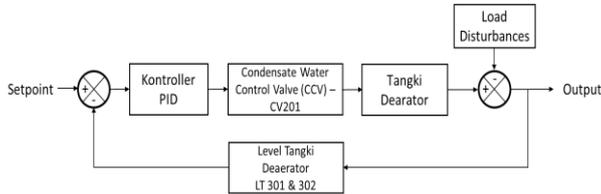
Gambar 1. Diagram Blok Sistem Kontrol PID Close Loop

Dengan rumus pengontrolan PID ditulis sesuai Persamaan (1) berikut :

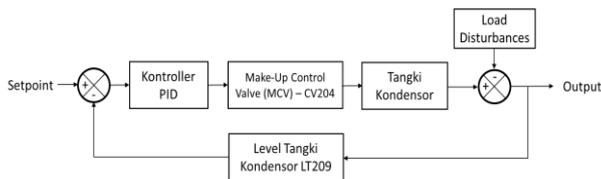
$$u(t) = K_P e(t) + K_I \int_0^t e(\tau) d\tau + K_D \frac{d}{dt} e(t) \quad (26)$$

dimana : $K_P = \text{Gain Proporsional}$
 $K_I = \text{Gain Integral}$
 $K_d = \text{Gain Derivatif}$
 $e = \text{Error} = Y_{sp} - Y_m$
 $Y_{sp} = \text{Setpoint}$
 $Y_m = \text{Variabel proses}$
 $t = \text{Waktu}$
 $\tau = \text{Variabel integrasi}$

Untuk memenuhi kebutuhan air di dalam *deaerator* dibutuhkan sistem kontrol air penambah dengan *tapping point* di *hotwell* yang bekerja secara kontinyu dengan melakukan pengaturan aliran air kondensat dari *hotwell* ke *deaerator* melalui *Condensate Water Control Valve (CCV)* sehingga persentase level *deaerator* tetap terjaga dalam batas normalnya. Selain itu, level *hotwell* sendiri harus selalu dikontrol agar tidak mengganggu proses kondensasi uap dari turbin, pengontrolan tersebut dilakukan melalui *Make Up Water Control Valve (MCV)* untuk mengatur besarnya volume air penambah yang masuk dari *make up water tank* ke *hotwell*.



Gambar 2. Diagram Blok Pengendali Level Deaerator



Gambar 3. Diagram Blok Pengendali Level Kondensor

Fungsi penalaan konstanta PID adalah agar didapatkan sistem kontrol yang handal, efisien dan kontinyu dengan karakteristik yaitu *rise time* yang cepat, *overshoot* yang rendah dan *error steady-state* yang kecil.

a. Penalaan PID dengan Ziegler-Nichols

Pada penalaan PID, metode tuning yang digunakan adalah tuning Ziegler-Nichols dengan metode osilasi. Langkah awal adalah menghitung nilai *critical gain* (K_{cr}) dan *Period Gain* (P_{cr}). K_{cr} adalah nilai P_{cr} saat terjadi osilasi berkesinambungan sedangkan P_{cr} adalah periode kesinambungan dari respon.

Untuk kontroler PID level *deaerator*, dari permodelan tangki dan *control valve* dilakukan penyederhanaan fungsi alih sebagai berikut :

$$G(s) = \frac{6739 s + 89,7}{5197 s^2 + 2525 s + 1} \quad (27)$$

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{739 K_{cr} s + 89,7 K_{cr}}{5197 s^2 + (2525 + 6739 K_{cr}) s + (K_{cr} + 89,7)} \quad (28)$$

Untuk mendapatkan K_{cr} dan P_{cr} digunakan metode kestabilan Routh Hurwitz. Dari perhitungan tersebut didapatkan $K_{cr} = 89,7$. Selanjutnya untuk mendapatkan nilai P_{cr} yaitu dengan mensubstitusikan persamaan *denominator* menggunakan kompleks domain, sehingga didapatkan nilai $P_{cr} = 5,04$.

Untuk kontroler PID level kondensor, dilakukan penyederhanaan fungsi alih sebagai berikut :

$$G(s) = \frac{1777 s + 47}{2343 s^2 + 1140 s + 1} \quad (29)$$

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{1777 K_{cr} s + 47 K_{cr}}{2343 s^2 + (1140 + 1777 K_{cr}) s + (K_{cr} + 47)} \quad (30)$$

Dengan menggunakan metode kestabilan Routh Hurwitz, didapatkan nilai $K_{cr} = 47$ dan $P_{cr} = 6,46$. Selanjutnya untuk proses tuning PID dengan metode Ziegler-Nichols kurva osilasi dilakukan perhitungan untuk mendapatkan K_p , K_i , dan K_d dengan acuan seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Penalaan Paramater PID Dengan Metode Osilasi

Type Kontroler	K_p	T_i	T_d
P	$0,5 K_{cr}$	-	-
PI	$0,45 K_{cr}$	$1/2 P_{cr}$	-
PID	$0,6 K_{cr}$	$0,5 P_{cr}$	$0,125 P_{cr}$

Karena menggunakan kontroler PID, sesuai dengan aturan Ziegler-Nichols dalam menetapkan nilai K_p , T_i dan T_d berdasarkan nilai kritis penguatan dan mengacu pada Tabel 1, sehingga didapatkan nilai K_p , T_i dan T_d adalah sebagai berikut

Tabel 2. Hasil Perhitungan Konstanta PID dengan metode Ziegler-Nichols

Deaerator	Kondensor
$K_p = 0,6 \times K_{cr}$ $= 0,6 \times 89,7 = 53,8$	$K_p = 0,6 \times K_{cr}$ $= 0,6 \times 47 = 28,2$
$T_i = 0,5 \times P_{cr}$ $= 0,5 \times 5,04 = 2,52$	$T_i = 0,5 \times P_{cr}$ $= 0,5 \times 6,46 = 3,23$
$K_i = K_p / T_i$ $= 53,8 / 2,52 = 21,4$	$K_i = K_p / T_i$ $= 28,2 / 3,23 = 8,7$
$T_d = 0,125 \times P_{cr}$ $= 0,125 \times 5,04 = 0,63$	$T_d = 0,125 \times P_{cr}$ $= 0,125 \times 6,46 = 0,807$
$K_d = K_p \times T_d$ $= 53,8 \times 0,63 = 33,9$	$K_d = K_p \times T_d$ $= 28,2 \times 0,807 = 22,8$

b. Penalaan PID dengan Algoritma Genetika

Algoritma genetika merupakan salah satu teknik optimasi dengan pendekatan algoritma *metaheuristik* yang biasa digunakan untuk mendapatkan nilai yang optimal dari suatu permasalahan matematis. Metode ini bekerja dengan sebuah populasi yang terdiri dari beberapa individu dengan sebuah nilai *fitness* pada masing-masing individunya. [15]

a. Pembangkitan populasi awal

Populasi awal terdiri dari beberapa individu dengan nilai K_p , K_i dan K_d yang dilakukan secara acak dengan fungsi *random*.

b. Fungsi Evaluasi

Dalam fungsi evaluasi, terdapat dua hal yang harus dilakukan dalam melakukan evaluasi kromosom, yaitu evaluasi fungsi objektif dan konversi fungsi objektif kedalam fungsi *fitness*. Pada penelitian ini, fungsi *fitness* yang digunakan adalah fungsi minimum, dengan kriteria *rise time* yang cepat, *overshoot* dan *error steady-state* paling kecil.

c. Seleksi

Seleksi akan menentukan individu-individu yang akan dipilih untuk dilakukan rekombinasi untuk membentuk *offspring*. Metode seleksi dari induk yang digunakan adalah *rank-based fitness assignment*.

d. Pindah silang (*crossover*)

Individu dengan nilai *fitness* yang rendah akan digantikan dengan individu lain hasil dari persilangan individu terbaik.

Persilangan yang digunakan adalah metoda interpolasi dari individu dalam populasi. Pada simulasi dilakukan dengan berbagai percobaan populasi, banyaknya generasi dan nilai batas.

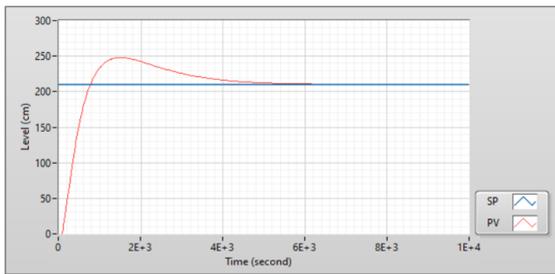
e. Mutasi

Mutasi berperan untuk menggantikan gen yang hilang dari populasi akibat proses seleksi. Melalui mutasi individu dapat diciptakan dengan melakukan modifikasi terhadap satu atau lebih gen pada individu yang sama.

IV. HASIL DAN ANALISA

A. Pengujian Sistem Kontroler PID dengan Metode Ziegler-Nichols

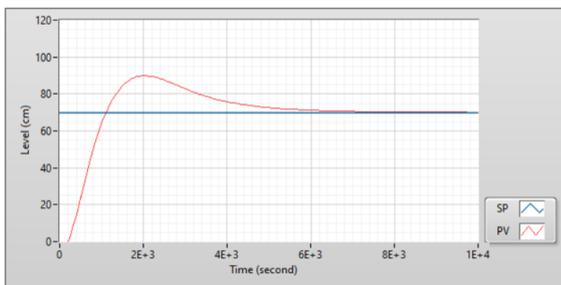
Berdasarkan pengujian dengan tuning menggunakan Ziegler-Nichols metode osilasi seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2, untuk pengendali level *deaerator* didapatkan konstanta $K_p = 53,8$, $T_i = 2,52$ detik ($K_i = 21,4$) dan $T_d = 0,63$ ($K_d = 33,9$). Dengan memberikan nilai *setpoint* sebesar 210, didapatkan respon sinyal sistem pengendali level *deaerator* dengan *maximum overshoot* = 18,1%, *rise time* = 1150 detik, *error steady-state* = 0,3 dan *settling time* = 4730 detik.



Gambar 4. Respon Sinyal Pada Kendali Level *Deaerator* Dengan Tuning Metode Ziegler-Nichols

Untuk pengendali level kondensor didapatkan konstanta $K_p = 28,2$, $T_i = 3,23$ detik ($K_i = 8,7$) dan $T_d = 0,807$ ($K_d = 22,8$).

Dengan memberikan nilai *setpoint* sebesar 75, didapatkan respon sinyal sistem pengendali level *deaerator* dengan *maximum overshoot* sebesar 25,7%, *rise time* sebesar 1120 detik, *error steady-state* sebesar 0,07 dan *settling time* untuk kriteria *error* 1% sebesar 6020 detik.



Gambar 5. Respon Sinyal Pada Kendali Level *Hotwell* Dengan Tuning Metode Ziegler-Nichols

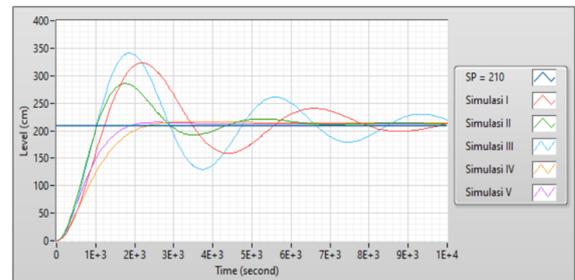
B. Pengujian Sistem dengan Optimasi Penalaan Algoritma Genetika

Dalam melakukan optimasi, dilakukan penentuan nilai populasi yang disimulasikan masing-masing adalah 10, 15 dan 20, untuk banyak generasi digunakan dari 50, 75, 100, 300 dan 300, batas minimal dan maksimal konstanta PID. Hasil dari

percobaan didapatkan seperti pada Tabel 3 dan Tabel 4 berikut ini.

Tabel 3. Optimasi Kriteria Algoritma Genetika Pada Kontrol Level Air *Deaerator*

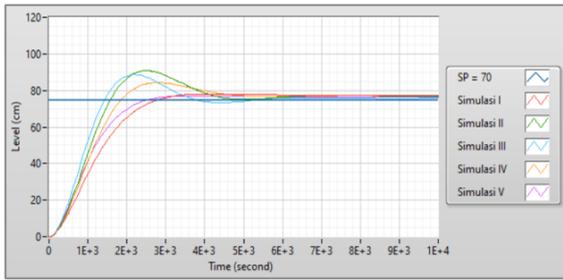
Parameter	Simulasi				
	I	II	III	IV	V
Populasi	10	15	20	10	10
Generasi	50	75	100	200	300
K_p (minimal)	0	0	0	0	50
K_p (maksimal)	200	200	200	200	200
K_i (minimal)	0	0	0	0	0
K_i (maksimal)	100	100	50	50	30
K_d (minimal)	0	0	0	50	50
K_d (maksimal)	200	200	100	100	100
Mutate Random size	-1,5 dan 1,5	-1,5 dan 1,5	-1,5 dan 1,5	-2 dan 2	-1,5 dan 1,5
Best Parent					
K_p (Proportional gain)	65,3	84,6	36,6	60,8	97,3
K_i (Integral gain)	41,3	71,8	10,5	18,3	15,6
K_d (Derivative gain)	1,9	19,8	0,93	56,3	63,1
Fitness Score					
Overshoot (%)	77,1	23,35	85,2	1,73	2,1
Rise Time (detik)	1112	952	949	1655	1190
Error Steady-state	0,005	0,006	0,012	0,007	0,01



Gambar 6. Respon Sinyal Hasil Optimasi Untuk Level *Deaerator* Menggunakan Algoritma Genetika

Tabel 4. Optimasi Kriteria Algoritma Genetika Pada Kontrol Level Air Kondensor

Parameter	Simulasi				
	I	II	III	IV	V
Populasi	10	15	20	10	10
Generasi	50	75	100	200	300
K_p (minimal)	25	25	25	25	50
K_p (maksimal)	200	200	200	200	200
K_i (minimal)	0	0	0	0	0
K_i (maksimal)	100	100	50	50	30
K_d (minimal)	25	25	25	25	50
K_d (maksimal)	200	200	100	100	100
Mutate Random size	-1,5 dan 1,5	-1,5 dan 1,5	-1,5 dan 1,5	-2 dan 2	-1,5 dan 1,5
Best Parent					
K_p (Proportional gain)	67,8	73,9	39,3	71,9	94,2
K_i (Integral gain)	20,1	42,2	14,5	29,8	20,7
K_d (Derivative gain)	63,5	33,4	25,5	43,7	71,5
Fitness Score					
Overshoot (%)	1,5	5,3	4,9	3,2	1,6
Rise Time (detik)	1164	1048	1044	1130	1218
Error Steady-state	0,002	0,004	0,002	0,003	0,001

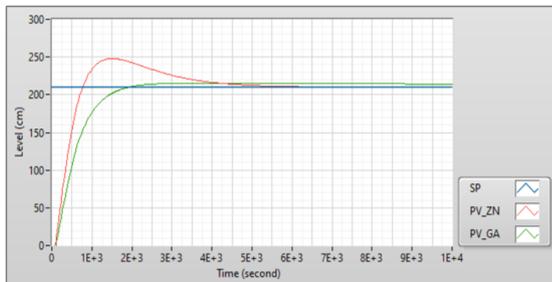


Gambar 7. Respon Sinyal Hasil Optimasi Untuk Level Hotwell Menggunakan Algoritma Genetika

Dari hasil simulasi, didapatkan nilai yang maksimal dengan nilai populasi sebesar 10 dan nilai generasi sebesar 300, sedangkan batas konstanta K_p antara 50-200, K_i antara 0-30, dan konstanta K_d antara 50-100. Nilai optimum untuk PID pengendalian level *deaerator* didapatkan $K_p = 97,3$; $K_i = 15,6$ dan $K_d = 63,1$ dengan *maximum overshoot* = 2,1%, *rise time* = 1190 detik dan *Ess* = 0,01. Sedangkan untuk PID pengendalian level kondensor didapatkan konstanta $K_p = 94,2$; $K_i = 20,7$ dan $K_d = 71,5$ dengan *maximum overshoot* = 1,6%, *rise time* = 1218 detik dan *Ess* = 0,001.

C. Perbandingan Metode Ziegler-Nichols dengan Algoritma Genetika

Untuk mengevaluasi hasil optimasi tuning PID dengan algoritma genetika, maka dilakukan komparasi hasil respon dengan metode osilasi Ziegler-Nichols.

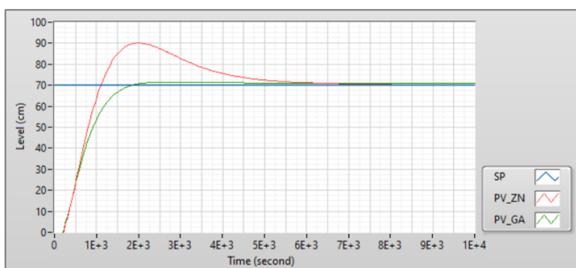


Gambar 8. Komparasi penalaan metode Ziegler-Nichols dengan Algoritma Genetika untuk Level Deaerator

Tabel 5. Karakteristik Sistem Kontrol Level Deaerator

Parameter	Metode Osilasi Ziegler Nichols	Algoritma Genetika
<i>Overshoot</i> (%)	18,1%	2,1%
<i>Rise time</i> / Waktu Naik (s)	1150	1190
<i>Error Steady-state</i>	0,3	0,01
<i>Settling time</i> (s)	4730	2850

Hasil yang didapatkan untuk pengendali kondensor hampir sama dengan pengendali level *deaerator*.



Gambar 9. Komparasi penalaan metode Ziegler-Nichols dengan Algoritma Genetika untuk Level Kondensor

Tabel 4.4 Karakteristik sistem untuk pengendali level kondensor

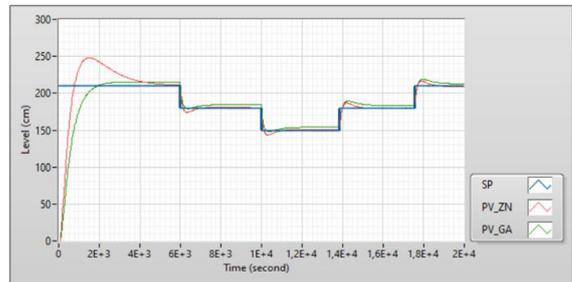
Parameter	Metode Osilasi Ziegler Nichols	Algoritma Genetika
	<i>Overshoot</i> (%)	25,7
<i>Rise time</i> / Waktu Naik (s)	1120	1218
<i>Error Steady-state</i>	0,07	0,001
<i>Settling time</i> (s)	6020	2200

Secara keseluruhan hasil optimasi dari algoritma genetika lebih baik dan stabil dibandingkan metode osilasi Ziegler-Nichols. Respon sistem hasil penalaan algoritma genetika menghasilkan *overshoot* yang lebih kecil dan *setling time* yang lebih cepat dibandingkan dengan osilasi Ziegler-Nichols, akan tetapi memiliki *rise time* yang lebih lambat. Untuk *error steady-state* kedua metode tersebut menghasilkan nilai <1%.

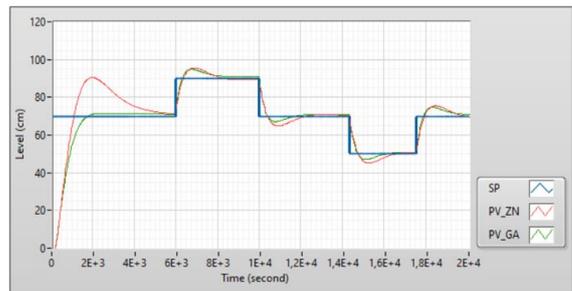
D. Pengujian Sistem dengan Disturbance

a. Perubahan Setpoint

Pengujian sistem dengan melakukan perubahan setpoint atau yang dikenal dengan istilah *tracking point* bertujuan untuk mengetahui performansi dan dinamika sistem pengendali ketika jika diberikan *setpoint* yang berubah-ubah.



Gambar 10. Respon Sistem Terhadap Tracking Setpoint Untuk Level Deaerator



Gambar 11. Respon Sistem Terhadap Tracking Setpoint Untuk Level Kondensor

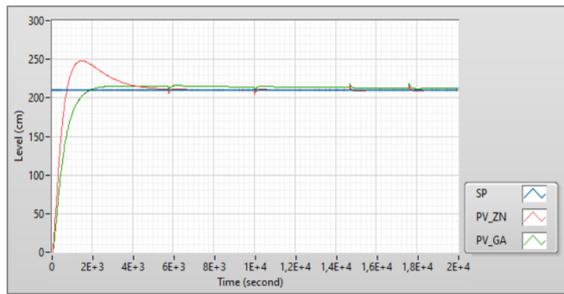
Hasil menunjukkan bahwa kontroler PID mampu mengikuti perubahan *setpoint* yang diberikan dengan baik. Hasil penalaan algoritma genetika memiliki respon sistem yang lebih cepat dibandingkan dengan metode osilasi Ziegler-Nichols.

b. Uji Perubahan Parameter Plant

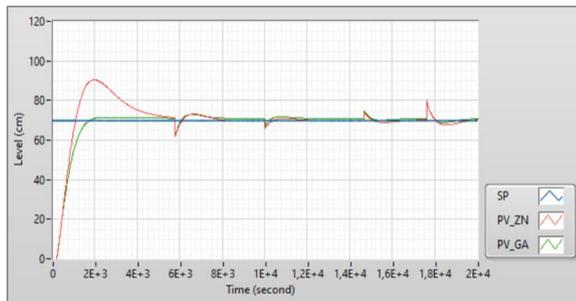
Perubahan pembeban diberikan pada saat respon telah mencapai kondisi tunak. Perubahan disimulasikan dengan perubahan beban 100%, 90% dan 80% secara bertahap. Kebutuhan steam untuk beban 100% = 107,5 m³/jam, beban 90% = 104,3 m³/jam dan beban 80% = 99,7 m³/jam.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ridwan, "Peralatan Energi Panas: Boiler & Pemanas Fluida Termis" UNEP. <https://www.energyefficiencyasia.org>, diakses 29 Maret 2021
- [2] Munarto, dkk., "Mengoperasikan Sistem Air Kondensat, PT Indonesia Power", 2014.
- [3] R. K. Singh, S. K. Sinha, and A. Rama. Rao, "Study of incident water hammer in an engineering loop under two-phase flow experiment," *Nuclear Engineering and Design*, vol. 240, no. 8, pp. 1967–1974, Aug. 2010, doi: 10.1016/j.nucengdes.2010.04.019.
- [4] S. Basu and A. K. Debnath, "Power Plant Instrumentation and Control Handbook : A Guide to Thermal Power Plants", *Academic Press*, ISBN: 978-0-12-800940-6. Elsevier
- [5] M. J. Mahmoodabadi, M. Taherkhorsandi, and M. Talebipour, "Adaptive robust PID sliding control of a liquid level system based on multi-objective genetic algorithm optimization," *Control and Cybernetics*, vol. 46, no. 3, 2017.
- [6] M. O. Ali, S. P. Koh, K. H. Chong, S. K. Tiong, and Z. A. Obaid, "Genetic algorithm tuning based PID controller for liquid-level tank system," In *Proceedings of the International Conference on Man-Machine Systems (ICoMMS)*, pp. 11-13, 2009.
- [7] A. T. El- El-Deen, A. H. Mahmoud, and El-Sawi, A. R, "Optimal PID tuning for DC motor speed controller based on genetic algorithm," *Int. Rev. Autom. Control*, vol. 8, no.1, pp. 80-85, 2015.
- [8] J. Li and W. Li, "On-Line PID Parameters Optimization Control for Wind Power Generation System Based on Genetic Algorithm," in *IEEE Access*, vol. 8, pp. 137094-137100, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3009240.
- [9] W. Jianguo, "Heat-engine Plant Condenser and *Deaerator* Water Level Control System Based on Multivariable Self-tuning PID". Science & Technology Information, 2013
- [10] I. Khadari, "Simulasi Kontroler Pid Tuning Menggunakan Logika Fuzzy Dan Algoritma Genetika Sebagai Pengendali Kecepatan Motor DC," *Setrum: Sistem Kendali-Tenaga-elektronika-telekomunikasi-komputer*, vol. 8, no. 2, 186-196, 2019
- [11] R. A. Krohling and J. P. Rey, "Design of optimal disturbance rejection PID controllers using genetic algorithms," in *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, vol. 5, no. 1, pp. 78-82, Feb 2001, doi: 10.1109/4235.910467.
- [12] A. P. Yadav, A. Kumar, and R. Kumar, "PID Controller Tuning using Genetic Algorithm for Coupled Tank System," *International Journal of Engineering Research & Technology*, vol. 4, no. 15, Apr. 2018.
- [13] G. G. Adiarte, "Analisis Pemodelan Sistem Pengendalian Level Air Condenser 5MAG01 Dan Optimalisasi Performance Melalui Auto Tuning PID Controller Di Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) Unit 5," *Laporan Kerja Praktik*, Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia, 2019.
- [14] T. Pangaribowo, "Perancangan Simulasi Kendali Valve Dengan Algoritma Logika Fuzzy Menggunakan Bahasa Visual Basic," *Jurnal Teknologi Elektro*, vol. 6, no. 2, May 2015, doi: 10.22441/jte.v6i2.799.
- [15] B. Priambodo, "Pengembangan Aplikasi Penjadwalan Kuliah Semester I Menggunakan Algoritma Genetika," *Jurnal Ilmiah FIFO*, vol. 7, no. 1, Mei 2015.



Gambar 12. Respon Sistem Terhadap Perubahan Pembebanan Untuk *Deaerator*



Gambar 13. Respon Sistem Terhadap Perubahan Pembebanan Untuk Kondensator

Dari hasil simulasi didapatkan *settling time* yang cukup cepat dalam mengembalikan level tangki sesuai *setpoint*-nya, sehingga dapat disimpulkan respon kontroler PID dapat beradaptasi dengan baik dan stabil terhadap perubahan atau dinamika yang terjadi didalam sistem.

V. KESIMPULAN

Dari hasil simulasi terhadap penalaan dengan metode Ziegler-Nichols dan algoritma genetika, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Penalaan PID dengan algoritma genetika menghasilkan *error steady-state* yang lebih kecil, *maximum overshoot* dan *settling time* yang lebih cepat dibandingkan dengan metode osilasi Ziegler-Nichols, akan tetapi memiliki *rise time* yang sedikit lebih lambat dengan deviasi sekitar 40-70 detik.
2. Algoritma genetika mampu melakukan optimasi dalam penalaan PID dengan baik sehingga menghasilkan sistem pengontrolan level yang handal dan stabil terhadap perubahan beban.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Dr. Ir. Eko Ihsanto, M.Eng selaku dosen pembimbing atas arahan, masukan dan dukungannya sehingga penelitian ini dapat terselesaikan dengan baik, serta ucapan terima kasih terhadap tim editorial Jurnal Teknologi Elektro atas dipublikasikannya penelitian ini.