

TUNING PID CONTROLLER BERBASIS ALGORITMA KECERDASAN BUATAN

Denny Irawan¹⁾, Syalahuddin Abdul Aziz Syah²⁾, Dwi Ovelita Cahyani³⁾

^{1), 2), 3)} Teknik Elektro UMG Gresik

Jl Sumatera No.101, Gn. Malang, Randuagung, Kec. Kebomas, Kabupaten Gresik, Jawa Timur 61121

Email : den2mas@umg.ac.id

Dikimkan: 01 April 2024.

Direvisi: 19 Agustus 2024.

Diterima: 20 Agustus 2024.

Abstrak

Pada sistem pengendalian otomatis (*closed loop system*) yang berbasis PID *controller*, respon output dari sistem tersebut sangat tergantung dari konstanta K_p , T_i dan T_d yang digunakan. Ketidak-tepatan penggunaan *setting* tersebut mengakibatkan resiko yang fatal akibat respon *controller* yang tidak sesuai dengan kebutuhan (bisa lebih cepat atau lebih lambat) terhadap perubahan masukan (input). Selama bertahun-tahun metode *setting* yang diandalkan diantaranya: *Trial and Error*, metode Ziegler-Nichols dan Chain Servo untuk mendapatkan respon pengendalian yang baik. PT Pertamina (Persero) Kilang RU VI Balongan adalah *supplier* utama stok BBM dan non BBM. dan sebagai suatu unit pengolahan minyak bumi, kebutuhan energi listriknya dipenuhi oleh unit yang bernama *utilities*, yang mengoperasikan *boiler* bertekanan uap tinggi (43 kg/cm^2). Salah satu proses pengendalian *boiler* adalah pada pengendalian *level steam drum* dengan sistem yang bertingkat (*Cascade*) berbasis PID *controller*. Fungsi dari *steam drum level control* yaitu mempertahankan *level drum* selalu pada *setpoint*-nya. Panas yang berlebihan (*overheated*) pada *boiler tubes* dapat terjadi karena terlalu rendahnya *level drum* sehingga menyebabkan disfungsi. Hasil *setting* konstanta Proporsional, Integral dan Derivatif pada PID *controller* yang mengendalikan *steam drum level* pada penelitian sebelumnya menggunakan algoritma *firefly* untuk *Feed Water Control Valve* adalah $K_p=1.2$, $T_i=0.4$, $T_d=0,6950$, kemudian untuk *Level Drum Control Valve* adalah $K_p=4.2$, $T_i=0.1617$, $T_d=0,0835$ memberikan respon paling baik dibandingkan dengan penentuan konstanta dengan metode yang lain. Penelitian ini akan menguji konstanta PID yang didapatkan dari algoritma *firefly* diatas dengan menggunakan beberapa algoritma kecerdasan buatan (*metaheuristic algorithm*) lainnya sehingga dapat dibandingkan dan didapatkan respon sistem yang terbaiki *upgrade* ke akun premium untuk mendapatkan fitur-fitur lebih banyak lagi pada tampilan aplikasi *blynk*.

Kata kunci: *level steam drum*, PID *controller*, kecerdasan buatan.

Abstract

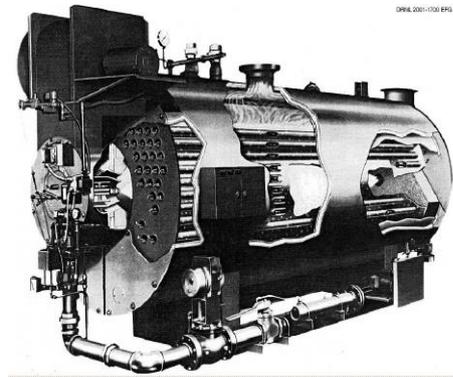
The RU VI Balongan refinery is one of the PT Pertamina (Persero) refineries which serves as the main supplier of fuel and non-fuel needs for the West Java, DKI Jakarta area, as well as export needs[1]. In a petroleum processing unit, the role of providing electricity as a power source at the refinery is borne by the utilities unit. The boiler is part of the utilities unit whose function is to produce/provide high pressure steam (43 kg/cm^2) for the operation of power plants and the production process of the UP VI Balongan Fuel Refinery. 4:2) One of the boiler control processes is controlling the steam drum level with a cascade control system (Cascade) based on a PID controller. This control includes controlling the boiler feed water flow, steam flow, and steam drum level. The purpose of steam drum level control is to keep the drum level at its set point. A drum level that is too low can cause overheating of the boiler tubes so that the tubes can become

damaged/bent/leak. The results of setting Proportional, Integral and Derivative constants on the PID controller which controls the steam drum level using an artificial intelligence algorithm are $K_p=1.2$, $T_i=0.4$, $T_d=0,6950$ for Feed Water Control Valve and $K_p=4.2$, $T_i=0.1617$, $T_d=0,0835$ for Level Drum Control Valve which gives the best response compared to determining constants using other methods.

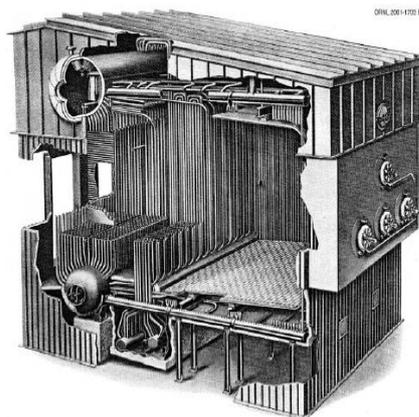
Keywords – level steam drum, PID controller, artificial intelligence

PENDAHULUAN

Konstruksi suatu boiler atau lebih dikenal dengan ketel merupakan suatu alat berupa tangki atau drum (*vessel*) yang tertutup dan dibentuk dari bahan baja yang berperan sebagai perantara panas hasil bahan bakar yang mengalami proses pembakaran misalkan : batubara, minyak bakar, gas dan sebagainya untuk memanaskan air sehingga kemudian dihasilkan uap panas (*steam*) dengan tekanan dan suhu tertentu[2]. Produksi uap panas digunakan untuk media pemanas jika tekanan yang dihasilkan rendah, kemudian untuk menggerakkan turbin uap pada pompa jika tekanan yang dihasilkan sedang, dan untuk penggerak turbin uap seperti yang dipakai pada pembangkit tenaga listrik jika tekanan yang dihasilkan tinggi.



Gambar 1 Boiler Pipa Api[2]



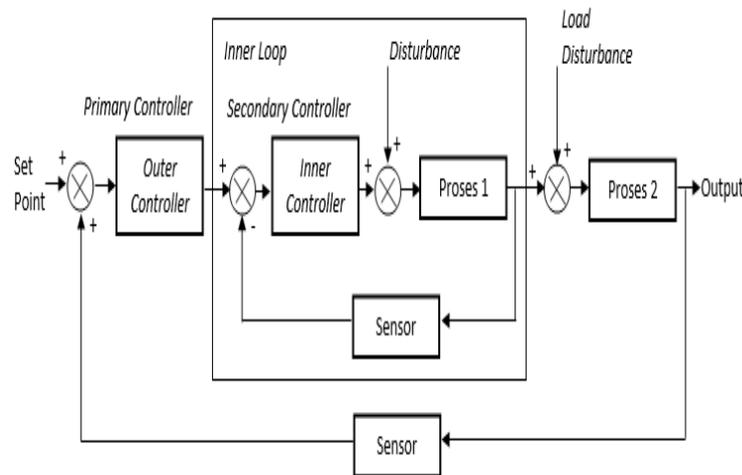
Gambar 2 Boiler Pipa Air[2]

Jika ditinjau berdasarkan perbedaan bentuk konstruksinya, klasifikasi *boiler* dapat dibagi menjadi dua: *boiler* pipa api (*fire tube boiler*) dan *boiler* pipa air (*water tube boiler*) [3]. *Boiler* pipa api adalah *boiler* yang memiliki kapasitas kecil dan produksi uap panas berada diluar *tube*. Sedangkan *boiler* pipa air adalah *boiler* yang memiliki kapasitas besar dan produksi uap panas berada didalam *tube*. Kedua jenis *boiler* dapat dilihat pada gambar 1 dan 2. *Boiler* adalah suatu alat atau mesin yang dikendalikan secara otomatis (*closed loop*

system) untuk menghasilkan produk berupa uap panas sesuai spesifikasi dan yang dibutuhkan, dengan menjaga boiler agar beroperasi secara aman dan efisien. Pengendalian pada boiler ini terdiri dari [4] : *Drum level, Combustion, Atomizing, Blowdown* dan *Steam Temperature*.

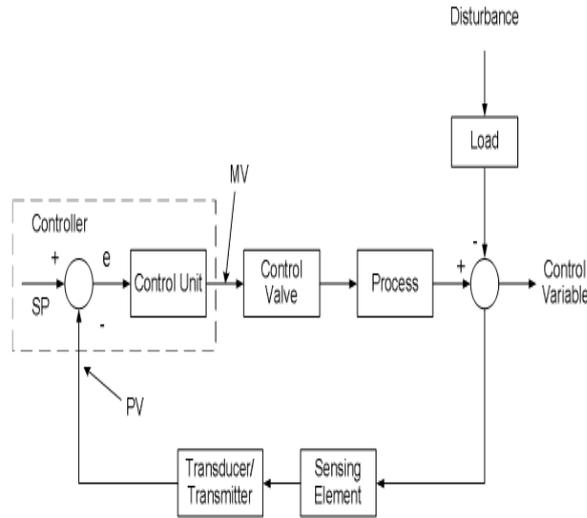
Fungsi dari pengendalian *drum level* [4] adalah sebagai penyetabil level dengan mempertahankan level tangki selalu pada *setpoint*-nya meskipun terjadi dinamika beban atau adanya gangguan (*disturbance*), karena akibat terlalu rendahnya *level drum* dapat mengakibatkan kerusakan pada *tubes*-nya. Sebaliknya, efek terlalu tingginya *level drum* adalah destilasi atau pemisahan air dengan uap panas didalam tangki menjadi tidak sempurna yang pada akhirnya menyebabkan kualitas uap panas yang dihasilkan berkurang karena lebih banyak mengandung air/basah.

Proses pengendalian suatu sistem seperti ditunjukkan pada gambar 3 adalah agar variabel yang dikendalikan (*process variable*) selalu berada pada nilai tertentu (*setpoint*) dengan menggabungkan beberapa komponen yang mempunyai fungsi tertentu. Perbedaan yang mendasar untuk pengendalian otomatis dengan pengendalian manual adalah pada pengendalian secara otomatis, sistem yang dibentuk pasti *closed loop system*, menggunakan sensor sebagai umpan balik pengukuran output dibandingkan dengan input dimana selisihnya adalah *error*., kemudian menggunakan unit *controller* untuk pemrosesan berdasarkan algoritma yang ditanam didalamnya (*Embedded*). *Error* yang terjadi bisa disebabkan adanya dinamika beban (*load*) ataupun gangguan (*disturbance*), Kontroler yang baik adalah kontroler yang dapat mencapai kestabilan dengan tanpa adanya osilasi untuk semua kondisi operasi, memiliki respon yang cepat sehingga tanpa adanya *delay* ketika menanggapi perubahan, dan tepat untuk selalu beroperasi pada nilai *set point*-nya [5].



Gambar 3 Blok Diagram Sistem Kontrol Proses

Suatu rangkaian kontrol dapat tersusun secara bertingkat (*cascade*) terkait dengan sistem yang akan dikendalikan seperti yang ditunjukkan pada gambar 4. Rangkaian kontrol kombinasi (*cascade*) minimal memiliki dua *loop* pengendalian, yang satu sebagai *loop* pengendalian primer atau *master loop*, dan yang lain sebagai pengendalian sekunder atau *slave loop*. Pada pengendalian sistem *cascade*, keluaran dari sisi *master* digunakan untuk memanipulasi *set point* untuk *loop* pengendalian sekundernya secara fungsional. Penggabungan *master* dan *slave* tersebut menghasilkan *output* yang dengan respon perbaikan kesalahan yang lebih cepat. Sistem ini juga terdiri dari dua unit atau *dual sensing element*, sehingga membuatnya menjadi lebih sensitif jika dibandingkan dengan sistem pengendalian tunggal [6][7].



Gambar 4 Diagram Blok *Cascade Control* Dalam Industri Proses

Resiko yang dapat merugikan dari sistem pengendalian *cascade* adalah jika terjadi elemen proses pada *primary loop* yang lebih cepat daripada elemen proses yang ada pada *secondary loop*, maka sistem tersebut akan cenderung mengalami osilasi yang diakibatkan dari adanya interaksi keduanya sehingga sistem pengendalian kombinasi (*cascade*) ini secara khusus hanya diimplementasikan untuk proses dengan elemen *primary* yang memiliki respon jauh lebih lambat daripada elemen pada *secondary*-nya[8].

Transfer Function dari komponen kontrol[9]

Control Valve

Pemodelan matematis untuk komponen *control valve* dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$\frac{M_b(s)}{U(s)} = \frac{K_v}{\tau_v s + 1} \dots \dots \dots (1)$$

$$K_v = \frac{\text{Span Output (Flow)}}{\text{Span Input (Arus)}} \times \frac{\text{Span Output I/P(Pneumatik)}}{\text{Span Input I/P(Arus)}} \dots \dots \dots (2)$$

Dimana :

$M_b(s)$ = Laju aliran (*flow*) BFW (kg/s)

$U(s)$ = Sinyal masukan (Amp)

K_v = Gain

τ_v = Time constant (s)

Controller

Gain dari *controller* dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$mv_{(s)} = K_p \left[1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right] \dots \dots \dots (3)$$

Dimana:

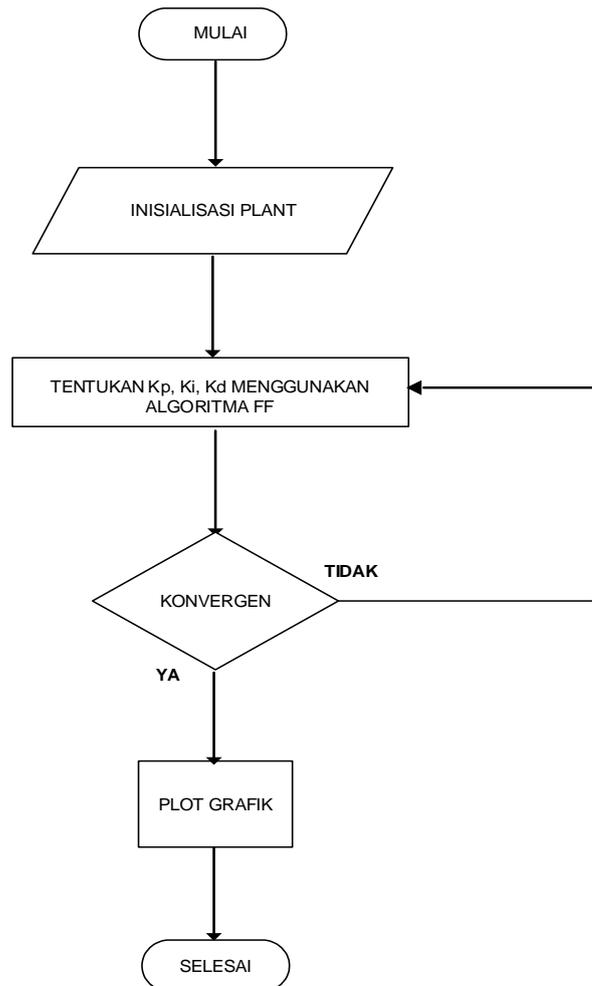
K_p = Konstanta Proportional

T_i = Integral time

T_d = Derivative time

Artificial Intelligence

Algoritma kecerdasan buatan digunakan untuk optimalisasi suatu fungsi dan mendapatkan nilai-nilai yang diharapkan [10] seperti pada gambar 5 *flowchart* berikut.



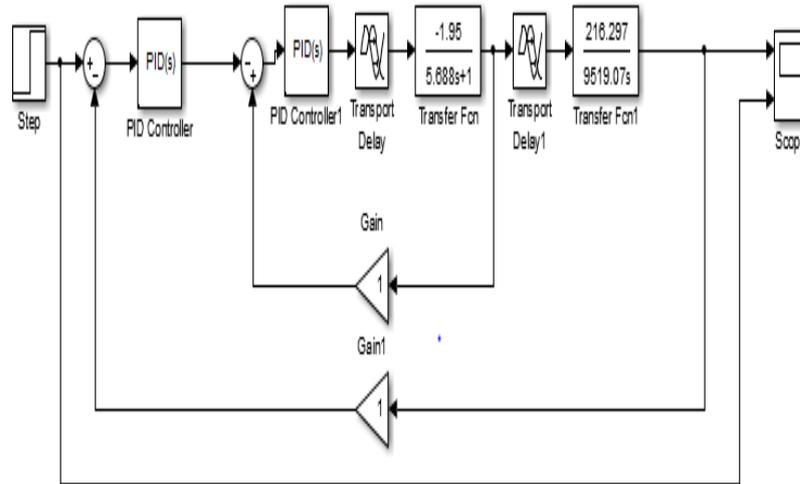
Gambar 5 Diagram Alur Metode *Artificial Intelligence*

Metaheuristic Algorithm atau algoritma kecerdasan buatan berbasis fenomena atau perilaku hewan atau tanaman yang digunakan untuk mendapatkan konstanta PID yang optimal antara lain : *Ant Colony Algorithm* dan *Bat Algorithm*[11].

METODE PENELITIAN

Pemodelan matematik pada kontrol level *Steam Drum*

Blok diagram *system level drum control* seperti disajikan pada gambar 6 berikut[12][13].



Gambar 6. Blok Diagram Sistem

Fungsi Alih Feed Water Control Valve 52-FV-211A[14].

Sistem pengendalian level yang akan dianalisis menggunakan *final element feed water control valve* 52-FV-211A. Sinyal 4-20 mA dari kontroler 52-FC-211A akan diubah menjadi sinyal pneumatik 0.2-1.0 kg/cm² atau 3-15 psig oleh *I/P converter* 52-FY-211A. Jadi dalam pengoperasiannya, sinyal masukan *control valve* berupa arus listrik akan diubah menjadi sinyal tekanan oleh *I/P converter* untuk menggerakkan *stem control valve*. *Control valve* 52-FV-211A merupakan *Air To Close (ATC) valve*. Pertimbangan pemilihan jenis ATC didasarkan dari sisi *safety*, apabila terjadi kegagalan sistem maka valve harus terbuka untuk memberikan masukan pada *steam drum* dan panas berlebih pada *boiler* yang diakibatkan sisa panas dari *burner* dapat dihindari. Berdasarkan data pada *DCS fluida* yang mengalir pada *boiler feed water* memiliki laju alir maksimum 150 ton/hours dan laju aliran minimum 0 ton/hours. *Final element* yang digunakan adalah *control valve* ATC, sehingga pada saat sinyal 4 mA *control valve* membuka dan pada saat sinyal 20 mA *control valve* menutup. Berdasarkan *time constant* dari valve 52-FV-211-A adalah 5,688s. Model matematik untuk *control valve* dapat dijabarkan pada persamaan 4 berikut.

$$\frac{m_b(s)}{u(s)} = \frac{K_v}{\tau_v s + 1} \dots \dots \dots (4)$$

Untuk menghitung *gain control valve* (Kv) dengan menggunakan persamaan 5 :

$$K_v = G_v \cdot G_t \dots \dots \dots (5)$$

$$= \left(\frac{\text{Span Output CV}}{\text{Span Input CV}} \right) \times \left(\frac{\text{Span Output I to P converter}}{\text{Span Input I to P converter}} \right)$$

$$= \left(\frac{0 - 41,66 \frac{\text{kg}}{\text{s}}}{20 - 4 \text{ mA}} \right) \times \left(\frac{15 - 3 \text{ psig}}{20 - 4 \text{ mA}} \right)$$

$$= 2,603751 \times 0,75$$

$$= 1,95$$

Jadi,

$$\frac{m_b(s)}{u(s)} = \frac{K_v}{\tau_v s + 1} = \frac{-1,95}{5,688 s + 1} \dots \dots \dots (6)$$

Fungsi Alih Level Drum Control Valve 52-LV-201A pada Boiler[14].

Model matematik untuk sistem *level drum control* pada *boiler* didasarkan pada hukum neraca massa yang disusun dari hukum kekekalan massa (*law conservation of mass*), yaitu “*mass can neither be created or destroyed*”. Persamaan 7 adalah persamaan umum neraca massa untuk suatu sistem proses boiler :

$$\left[\begin{matrix} \text{laju massa} \\ \text{di dalam} \\ \text{steamdrum} \end{matrix} \right] = \left[\begin{matrix} \text{laju massa} \\ \text{feedwater} \end{matrix} \right] - \left[\begin{matrix} \text{laju massa} \\ \text{steam} \end{matrix} \right]$$

$$\rho_w \frac{dV_L}{dt} + \rho_v \frac{dV_v}{dt} = \dot{m}_w - \dot{m}_v \dots \dots \dots (7)$$

Dalam penentuan fungsi level air dalam *steam drum boiler*, perlu dimodelkan *boiler steam drum*. Pada pemodelan kali ini, *steam drum* dianggap sebagai sebuah bola dan sebuah tabung yang digabungkan menjadi satu dan memiliki diameter yang sama sehingga didalamnya dapat diasumsikan berupa ruang kosong, dan pendekatan matematisnya dapat dituliskan pada persamaan 8:

$$V_{total} = V_{bola} + V_{tabung}$$

$V_{total} =$

$$\left(\frac{\pi}{3} \right) \cdot h^2 \cdot (3R - h) + \frac{1}{2} R^2 L \left[2 \arccos \frac{R-h}{R} - \sin \left(2 \arccos \frac{R-h}{R} \right) \right]$$

untuk fungsi linearitas dapat ditulis sesuai persamaan 9 :

$$\frac{dV_L}{dt} = 12,922 \frac{dh}{dt} - 0,6367 \dots \dots \dots (9)$$

Dari persamaan 8 dan 9 didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$\rho_w \frac{dV_L}{dt} + \rho_v \frac{dV_v}{dt} = \dot{m}_w - \dot{m}_v$$

$$\rho_w \frac{dV_L}{dt} + \rho_v \frac{dV_{total} - V_L}{dt} = \dot{m}_w - \dot{m}_v$$

$$\rho_v \frac{dV_{total}}{dt} + (\rho_w - \rho_v) \frac{dV_L}{dt} = \dot{m}_w - \dot{m}_v$$

$$\rho_v \frac{dV_{total}}{dt} + (\rho_w - \rho_v) \left(12,922 \frac{dh}{dt} - 0,6367 \right) = \dot{m}_w - \dot{m}_v$$

$$\frac{d}{dt} \left[\rho_v \frac{d16,43}{dt} + (\rho_w - \rho_v) \left(12,922 \frac{dh}{dt} - 0,6367 \right) \right] = \frac{d}{dt} (\dot{m}_w - \dot{m}_v)$$

$$\frac{d}{dt} 17,0667 \rho_v - \frac{d}{dt} 0,6367 \rho_w + (\rho_w - \rho_v) 12,922 \frac{d^2h}{dt} = \frac{d}{dt} (\dot{m}_w - \dot{m}_v)$$

$$(\rho_w - \rho_v) 12,922 \frac{d^2h}{dt} = \frac{d}{dt} (\dot{m}_w - \dot{m}_v) - \frac{d}{dt} 17,0667 \rho_v + \frac{d}{dt} 0,6367 \rho_w$$

$$[(\rho_w - \rho_v) 12,922] s^2 H = (\dot{m}_w - \dot{m}_v) s - (17,0667 \rho_v) s + (0,6367 \rho_w) s$$

$$H = \frac{(\dot{m}_w - \dot{m}_v) - (17,0667 \rho_v) + (0,6367 \rho_w)}{[(\rho_w - \rho_v) 12,922] s} \dots (10)$$

Berdasarkan data di lapangan pada tanggal 7 Februari 2015 jam 13.51, diperoleh data –data teknis sebagai berikut:

- $\rho_w = 752,07 \text{ kg/m}^3$ (pada tekanan 63,5 kg/cm²)
- $\rho_v = 15,4138 \text{ kg/m}^3$ (pada suhu 380,91oC dan tekanan 43,21 kg/cm²)
- $\dot{m}_w = 88 \text{ T/H} = 24,44 \text{ kg/s}$
- $\dot{m}_v = 86,1 \text{ T/H} = 23,92 \text{ kg/s}$

Dari persamaan 10 dapat diturunkan fungsi alih untuk proses level *steam drum* sebagai berikut :

$$H = \frac{(24,44 - 23,92) - (17,0667 \times 15,4138) + (0,6367 \times 752,07)}{[(752,07 - 15,4138) 12,922] s}$$

$$H = \frac{0,52 - 263,063 + 478,84}{9519,07 s}$$

$$H = \frac{216.297}{9519.07s} \dots\dots\dots(11)$$

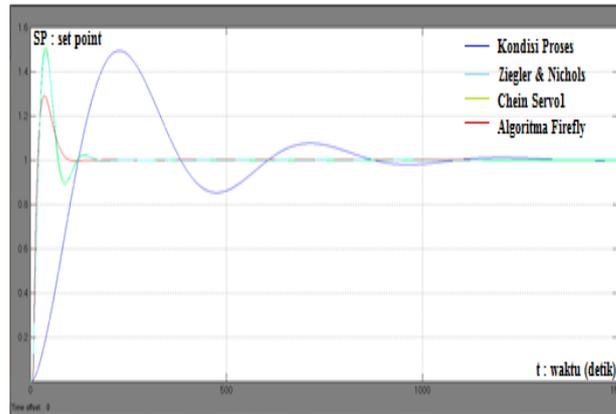
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian sebelumnya[14] dihasilkan data sesuai tabel 1 dibawah, dimana dapat disimpulkan bahwa respon yang lebih cepat ketika terjadi perubahan SV adalah dengan implementasi hasil *tuning* menggunakan metode algoritma *firefly* dibandingkan dengan metode Ziegler-Nichols, Chain Servo 1 dan kondisi operasi, jika dianalisis dari lamanya waktu tanjakan (*rise time*) 10.8 detik, dan untuk waktu stabil (*settling time*) mencapai 140 detik, dan *overshoot* yang lebih kecil yaitu 20.4% pada detik 32.7. Hasil lengkap perbandingan implementasi *tuning PID controller* yang masing-masing berdasarkan kondisi operasi, metode Ziegler-Nichols, metode Chain-Servo dan algoritma *firefly* disajikan pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil *Tuning* Sebelumnya[14]

Parameter	Kondisi Operasi	Tuning Ziegler Nichols	Tuning Chain Servo 1	Tuning Algoritma Firefly
Parameter PID				
Kp 52-FC-211A	0.1	0.679935449	0.680615385	1.2
Ti 52-FC-211A	20	6.8256	6.6549	0.4
Td 52-FC-211A	-	-	-	0.0690
Kp 52-LC-201A-	1.4	2.929824561	2.894736842	4.2
Ti 52-LC-201A	300	22	22.6	0.1617
Td 52-LC-201A	-	-	-	0.0835
Saat Perubahan SV				
Offset	0	0	0	0
Waktu tanjakan (<i>rise time</i>)				
	121.4 s	19.62 s	20.97 s	16 s
<i>Overshoot</i>				
	51.05%	50.15%	49%	20%
Waktu Penetapan (<i>settling time</i>)				
	1400 s	170 s	180s	53 s

Dan perbandingan pengujian respon sistem seperti ditunjukkan pada gambar 8.



Gambar 8 Scope proses gabungan kontrol level pada 52-B-101A

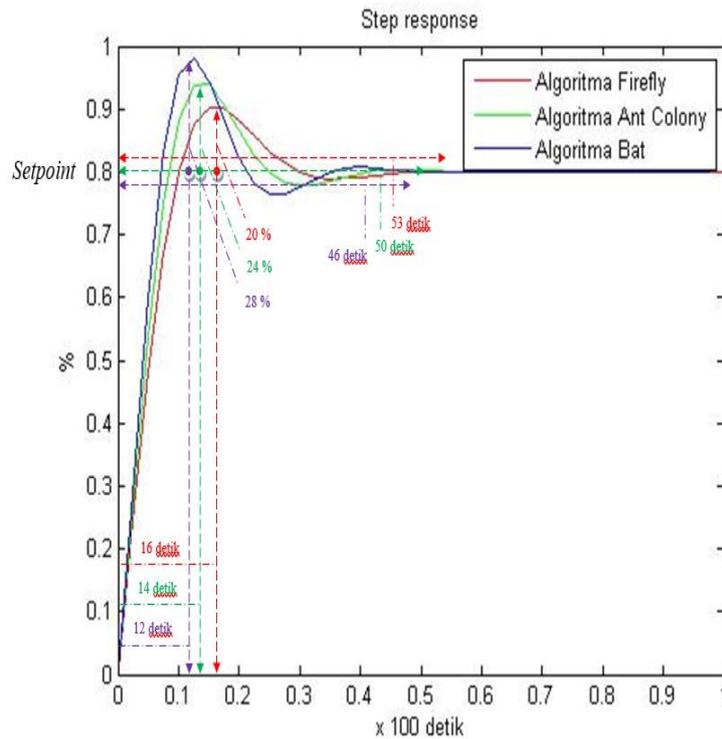
Dari gambar 8 dapat dijelaskan bahwa *tuning* konstanta PID *controller* menggunakan algoritma *firefly* menghasilkan respon yang paling baik, sehingga metode lainnya tidak perlu digunakan.

Pengujian berikutnya adalah dengan menggunakan beberapa algoritma kecerdasan buatan yang lain dan akan dibandingkan dengan penggunaan algoritma *firefly* untuk *tuning*.

Tabel 2. Update Hasil Tuning

Parameter	Tuning Dengan Algoritma Firefly	Tuning Dengan Algoritma Ant Colony	Tuning Dengan Algoritma Bat
Parameter PID			
Kp 52-FC-211A	1.2	1.265	1.31
Ti 52-FC-211A	0.4	0.412	0.419
Td 52-FC-211A	0.0690	0.0693	0.0698
Kp 52-LC-201A-	4.2	4.326	4.511
Ti 52-LC-201A	0.1617	0.1619	0.1621
Td 52-LC-201A	0.0835	0.086	0.0891
Saat Perubahan SV			
Offset	0	0	0
Waktu tanjakan (rise time)	16 s	14 s	12 s
Overshoot	20%	24%	28%
Waktu Penetapan (settling time)	53 s	50 s	46s

Dan perbandingan pengujian respon sistem seperti ditunjukkan pada gambar 9.



Gambar 9 Scope proses gabungan kontrol level pada 52-B-101A berbasis *metaheuristic algorithm*

Semua konstanta baik K_p , T_i dan T_d didapatkan dari hasil *training* optimalisasi fungsi alih boiler dimana fungsi alih adalah mewakili suatu sistem secara fisik, dengan menggunakan algoritma *firefly*, *ant colony* dan *bat* dan memberikan batasan atas (*upper band*) ataupun batasan bawah (*lower band*) yang sama. *Tuning* konstanta PID Controller yang sebelumnya menggunakan algoritma *firefly* dan menghasilkan respon yang paling baik jika dibandingkan dengan *Trial and Error*, *Ziegler-Nichols* maupun *Chien-Servo*, maka jika dianalisis dengan algoritma kecerdasan buatan yang lain yaitu *Ant Colony* ataupun *Bat* seperti yang ditunjukkan *step response* pada gambar 9 yang di *plot* dari hasil optimalisasi nilai konstanta K_p , T_i dan T_d pada tabel 2 memberikan perubahan sebagai berikut:

1. *Overshoot* minimal 20% dan maksimal 28% sehingga selisih rata-rata *overshoot* untuk tiap algoritma adalah 4%.
2. Waktu tahanan (*rise time*) minimal 12s dan maksimal 16s sehingga selisih rata-rata waktu tahanan tiap algoritma adalah 2s.

Waktu penetapan (*settling time*) minimal 46s dan maksimal 53s sehingga selisih rata-rata waktu tahanan tiap algoritma adalah 3s.

KESIMPULAN

Sistem pengendalian dan *monitoring* beban pada kWh meter Prabayar berbasis *internet of things* ini dapat melakukan penghematan energi dengan cara pengendalian beban secara manual dan otomatis, baik dari jarak dekat maupun jarak jauh. Semakin besar daya yang digunakan maka energi yang terpakai akan semakin besar begitu juga biaya yang digunakan akan besar. Perbandingan antara alat *monitoring* dengan *multifunction* meter mempunyai rata-rata error tegangan 0,64%, rata-rata error arus 1,17%, rata-rata error cos phi 1%, rata-rata error daya 0,59% dan rata-rata error energi 0%. Berdasarkan hasil pengujian keseluruhan antara alat *monitoring* dengan alat ukur *multifunction* adalah 99,32%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. Iskandar, "Presentasi PT Pertamina (Persero) RU VI Balongan," Balongan, 2012.
- [2] PT Pertamina, *Manual Book: Pedoman Operasi Boiler Part III Unit 52*. Balongan: PT Pertamina, 1993.
- [3] PT Pertamina, "Presentasi Boiler," Balongan, 2006.
- [4] PT Pertamina, *Tata Kerja Penggunaan Alat Steam Generator (Boiler) 52-B-101A/B/C/D/E, Utilities Production RU VI*. Balongan: PT Pertamina, 2010.
- [5] W. Bolton, *Sistem Instrumentasi dan Sistem Kontrol*. Jakarta : Erlangga, 2006.
- [6] I. Setiawan, *Kontrol PID untuk proses industri*. Jakarta: Elex Media Komputindo, 2008.
- [7] H. Faradila, "Analisa pengendalian temperatur dengan feedback feedforward kontrol pada heater treater PT. Vico Indonesia," 2015.
- [8] PT Pertamina, *Bimbingan Profesi Sarjana Teknik (BPST) Direktorat Pengolahan Angkatan XVII*. Balongan : PT Pertamina, 2007.
- [9] R. Naulita, "Studi dan Analisis Kestabilan Sistem Pengendalian Three Element pada Unit Steam Drum V-0201 dengan Metode Routh Hurwitz di PT Kaltim Parna Industri ," Instut Teknologi Sepuluh November, Surabaya.
- [10] D. P. B. Pertiwi, "Pendekatan Firefly Algoritm (FA) Untuk Menyelesaikan Pengepakan Tiga Dimensi," *Universitas airangga: Surabaya*, 2016.
- [11] X.-S. Yang, *Engineering optimization: an introduction with metaheuristic applications*. John Wiley & Sons, 2010.
- [12] T. W. D. Hartanto and Y. W. A. Prasetyo, *Analisis dan Desain sistem kontrol dengan Matlab*. Andi Yogyakarta, 2003.
- [13] D. Hanselman and B. Littlefield, "Matlab Bahasa Komputasi Teknis," *Penerbit Andi Yogyakarta*, 2000.
- [14] M. Ar-Ridho and D. Irawan, "Tuning PID Steam Drum Level Controller pada Boiler 52-B-101A di PT Pertamina (Persero) RU VI Balongan BERBASIS ALGORITMA FIREFLY," *E-Link: Jurnal Teknik Elektro dan Informatika*, vol. 13, no. 2, pp. 43–48, 2018.