

OPTIMASI PENALAAN KONTROLER PID PADA INSTALASI PENGOLAHAN AIR GAMBUT

OPTIMIZATION TUNING PID CONTROLLER FOR PEAT WATER TREATMENT PLANT

Sutrisno Salomo Hutagalung

Pusat Penelitian Sistem Mutu dan Teknologi Pengujian

Lembaga Ilmu Pengetahuan Indoensia

Posel: salomo15314@yahoo.com

ABSTRAK

Optimasi penalaan parameter kontroler PID selalu didasarkan pada karakteristik suatu proses *plant*, maka perilaku *plant* harus diketahui terlebih dahulu sebelum optimasi penalaan parameter PID dilakukan. Penggunaan fundamental desain dan penalaan parameter kontroler PID dilakukan untuk mendapatkan optimasi proses. Hasil parameter optimasi proses dibandingkan dengan metode Ziegler-Nichols untuk kurva reaksi proses dan osilasi serta metode Cohen-Coon. Kedua metode tersebut dibandingkan berdasarkan unjuk kinerja. Tujuan penelitian ini adalah untuk optimasi penalaan parameter kontroler PID dengan metode kurva reaksi proses pada sistem pengolahan air gambut menjadi air bersih atau air minum. Data optimasi penalaan kontroler PID untuk penalaan metode kurva reaksi proses dengan parameter optimasi dari kombinasi ketiga parameter adalah $P = 132\%$, $I = 9,140$ menit, $D = 2,285$ menit dan $T_s = 60$. Hasil penghitungan tersebut menunjukkan bahwa desain dapat direkomendasikan.

Kata kunci: optimasi, kontroler, penalaan, kurva reaksi proses, modus PID, PWTP

ABSTRACT

PID controller's parameters optimization tuning is always based on the characteristics of plant processes. Consequently, the plant's behavior must be identified before parameters optimization tuning can be conducted. A fundamental design and the tuning of PID-controller's parameters were utilized to reach process optimization. The results of process' parameters optimization were compared to the Ziegler-Nichols's reaction curve and oscillation methods and the Cohen-Coon method. These methods were compared based on performance. The purpose of this study is to optimize the tuning of PID controller parameters by method of process reaction curve in peat water treatment system into clean water. The data have generated the following results, where $P = 132\%$, $I = 9.140$ minutes, $D = 2.285$ minutes, and $T_s = 60$. The results indicated that the design was recommended.

Keywords: optimization, controller, tuning, reaction curve, PID mode, PWTP

A. PENDAHULUAN

Indonesia memiliki lahan gambut seluas dua puluh juta hektare atau menduduki urutan keempat dalam katagori lahan gambut terluas di dunia setelah Kanada, Uni Soviet, dan Amerika. Lahan gambut tersebut sebagian besar terdapat di empat pulau besar, yaitu Sumatra (35%), Kalimantan (32%), Sulawesi (3%), dan Papua (30%) (Wibowo & Suyatno, 1998). Penyebaran lahan gambut di Sumatra terdapat di dataran rendah sepanjang pantai timur dengan luas 7,2 juta hektare. Riau merupakan provinsi dengan lahan gambut terluas di Pulau Sumatra, yaitu $\pm 4,04$ juta hektare atau 56,1% dari luas total lahan gambut di Sumatra (Wahyunto & Subagjo, 2003).

Sementara itu, kebutuhan air bersih semakin meningkat dan persediaan sumber air bersih semakin berkurang. Sumber air yang tersedia pada lahan tersebut adalah air gambut yang tidak dapat digunakan secara langsung, baik untuk air bersih atau air minum. Ciri-ciri air gambut adalah air permukaan dari tanah bergambut dengan karakteristik yang sangat mencolok sebagai warna merah kecoklatan (124–850 unit PtCo), mengandung bahan organik tinggi (138–1560 mg/l KMnO_4) dan besi yang cukup tinggi, rasa asam, tenaga hidrogen (pH) sekitar 4–7, dan kekerasan yang rendah (Mu'min, 2002), sehingga tidak layak dikonsumsi.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut dipakai cara *advanced oxidation processes* (AOP) menggunakan gas ozon dan sinar ultraviolet yang dapat menghilangkan warna, rasa, kekeruhan, dan bau. Peran teknologi instrumentasi dengan sistem kontrol otomatis tersebut juga berfungsi untuk meningkatkan faktor ketelitian, ketepatan dan keamanan (Trapido, Veressinina, & Munter, 1994; Ozotech, 2004).

Penelitian ini difokuskan pada kontrol level tangki proses air gambut untuk mendapatkan optimasi penalaan kontroler *proportional, integral, and derivative* (PID) dengan menggunakan metode penalaan kurva reaksi proses.

Terdapat berbagai metode konvensional untuk penalaan kontroler PID, salah satunya adalah metode Ziegler-Nichols (Wang, 2009; Danijel, et al., 2014). Dalam metode ini parameter kontroler PID ditentukan dengan mencari tahu penguatan proporsional di mana *output* menjadi beresilasi sesuai dengan masukan *step*. Metode penalaan lainnya yang muncul dalam literatur adalah Teknik Cohen-Coon (Åström, & Hägglund, 1995), metode penalaan berdasarkan optimasi telah dibahas oleh Astrom (Danijel, et al., 2014).

Dalam penelitian ini, dilakukan pengolahan air gambut menjadi air bersih atau air minum dengan menggunakan penalaan parameter kontroler PID. Untuk mendapatkan level yang stabil, metode Ziegler-Nichols digunakan (cenderung aplikasi) dalam sistem lup terbuka. Stabilitas mutlak dari sistem kontrol harus memiliki stabilitas yang relatif memadai sehingga memiliki kecepatan respons yang cukup cepat dan redaman yang cukup memuaskan.

Sistem kontrol level air gambut ini diharapkan akan mampu mengontrol penguraian berbagai senyawa organik dan anorganik yang ada pada air gambut sehingga senyawa tersebut dapat dihilangkan sesuai baku mutu air bersih dan air minum serta dapat menjadikan air gambut menjadi air bersih yang layak untuk dikonsumsi.

B. TEORI DASAR

Kontroler *proportional*-integral-derivatif (PID) adalah mekanisme umpan balik lup kontrol

generik yang banyak digunakan dalam sistem kontrol industri. Kontroler PID mencoba memperbaiki kesalahan antara variabel proses yang terukur dan *set point* dengan cara menghitung dan mengeluarkan tindakan korektif yang dapat menyesuaikan proses yang sesuai (Rao & Mishra, 2014).

Perhitungan kontroler PID (algoritma) melibatkan tiga parameter terpisah, yaitu nilai proporsional, integral, dan derivatif. Nilai proporsional menentukan reaksi terhadap kesalahan saat ini, nilai integral menentukan reaksi berdasarkan jumlah kesalahan terakhir, dan nilai derivatif menentukan reaksi terhadap laju kesalahan tersebut yang telah berubah. Jumlah tertimbang dari ketiga tindakan ini digunakan untuk menyesuaikan proses melalui elemen kontrol seperti posisi katup control (Li, Y. et al., 2009 dan; Ang, K.H, et al., 2014).

Dengan menala tiga konstanta pada algoritma kontroler PID, kontroler dapat memberikan tindakan kontrol yang dirancang untuk persyaratan proses tertentu. Respons kontroler dapat dijelaskan dalam hal responsivitas kontroler terhadap kesalahan, sejauh mana kontroler melebihi *set point*, dan tingkat osilasi sistem. Sementara itu, penggunaan algoritma PID untuk kontrol tidak menjamin kontrol sistem atau stabilitas sistem yang optimal.

Beberapa aplikasi hanya memerlukan penggunaan satu atau dua mode untuk memberikan kontrol sistem yang sesuai. Hal ini dicapai dengan menetapkan penguatan keluaran kontroler yang tidak diinginkan menjadi nol. Kontroler PID akan disebut kontroler PI, PD, P, atau I tanpa adanya tindakan kontrol masing-masing (Ang, K.H., 2005). Kontroler PI sangat umum karena tindakan derivatif sangat sensitif terhadap kebisingan pengukuran dan tidak adanya nilai integral yang dapat mencegah sistem mencapai nilai targetnya karena tindakan kontrol.

Persamaan umum yang digunakan untuk keluaran dari sistem kontrol level dengan mode PID dapat diekspresikan dalam bentuk persamaan (1) dan (2).

$$m(t) = ke(t) + \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad [1]$$

$$m(t) = k \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d \frac{de(t)}{dt} \right) \quad [2]$$

Dalam hal ini, pengoptimasi penalaan parameter kontroler PID didasarkan pada karakteristik yang ditetapkan dalam sistem pengolahan air gambut. Pengoptimasi penalaan berguna untuk penanggulangan karakteristik komponen yang tidak dapat diketahui secara tepat. Secara umum, sistem kontrol dapat dibagi menjadi dua, yaitu lup terbuka dan lup tertutup (Bequette, 2003).

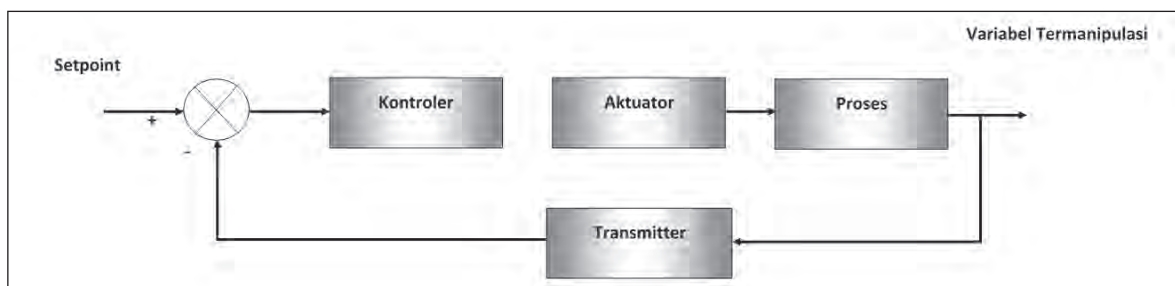
Sistem kontrol lup terbuka adalah sistem kontrol di mana besarnya keluaran (*output*) tidak memberikan efek jumlah *input* sehingga variabel kontrol tidak dapat dibandingkan dengan *set point*. Sistem kontrol lup tertutup adalah sistem kontrol jumlah keluaran yang memberikan efek dengan ukuran masukan sehingga jumlah yang dikendalikan dapat dibandingkan terhadap harga yang diinginkan. Selain itu, perbedaan harga yang terjadi antara jumlah juga dikendalikan oleh *set point* yang digunakan sebagai koreksi yang merupakan target kontrol.

Ziegler-Nichols pertama kali memperkenalkan beberapa metode penalaan, seperti metode osilasi dan *decay quarter* yang dilakukan dalam keadaan tertutup, sedangkan metode kurva reaksi dilakukan dalam kondisi lup terbuka

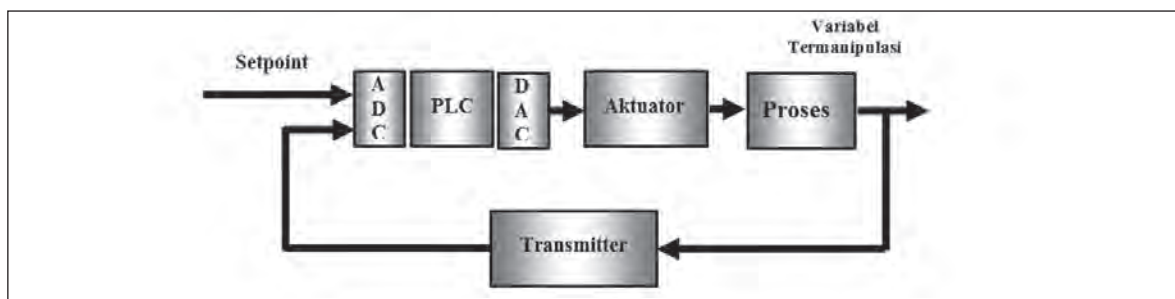
(Cheon, Kyung, Su, Lee, & Lee, 2014). Metode lain yang digunakan pada lup tertutup adalah Cohen-Coon yang bergantung pada identifikasi model proses yang sesuai (Copeland, 2008).

Ketiga metode penalaan tersebut fokus pada setiap prosedur, sedangkan dalam penelitian yang dilakukan dengan metode coba-coba yang merupakan kombinasi dari semua tiga metode penalaan. Sementara itu, manfaat penambahan dari metode coba-coba (*try and error*) adalah untuk mengatasi karakteristik komponen yang tidak diketahui menjadi diketahui secara tepat. Prosedur yang diambil adalah kesamaan kinerja dengan mengamati gambar yang paling dekat dengan pencitraan referensi (Rao & Mishra, 2014) maka langkah pertama yang diambil adalah langkah-langkah untuk kondisi sistem manual, seperti mengatur *set point* yang diinginkan, menentukan gambar sinyal referensi yang disepakati, dan mengestimasi parameter optimasi atas dasar tiga metode sebelumnya.

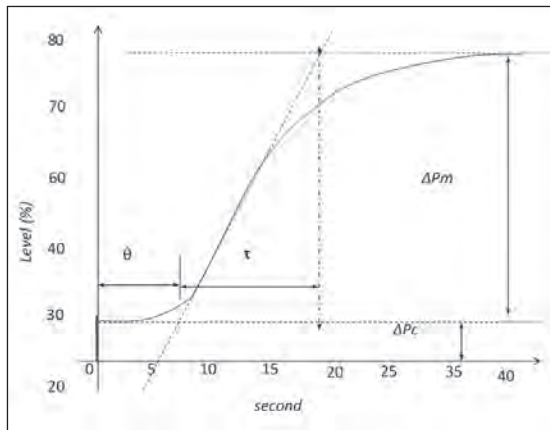
Kontrol lup tertutup dari beberapa variabel, seperti pengontrol level di tangki, dicapai dengan membandingkan nilai aktual dengan nilai *set point* yang kemudian memberikan keluaran, seperti menjalankan pompa untuk mengurangi perbedaan. Gambar 1 menggambarkan ide ini dengan cara diagram blok. Nilai aktual dibandingkan dengan nilai *set point* dan sinyal



Gambar 1. Diagram Blok Kontrol Lup Tertutup



Gambar 2. Diagram Blok Sistem Kontrol PLC



Gambar 3. Kurva Reaksi Proses

kesalahan yang diperoleh. Tahap berikutnya adalah menghitung perbedaan sinyal ke aktuator untuk memberikan koreksi respons dari perbedaan tersebut. Gambar 2 menunjukkan diagram blok dari sistem lup tertutup kontrol PLC yang digunakan Turnip, A.

Metode penalaan Ziegler-Nichols adalah metode heuristik dari penalaan kontroler PID yang mencoba menghasilkan nilai-nilai yang baik untuk tiga parameter penguatan PID (Copeland, 2008).

Sebagian besar aturan penalaan PID didasarkan pada asumsi bahwa sistem instalasi dapat didekati dengan sistem penundaan waktu orde pertama plus respons unit *step* menyerupai kurva berbentuk S tanpa *overshoot* dan disebut sebagai kurva reaksi (Bequette, 2003). Kurva respons *step* tersebut dapat dihasilkan dari eksperimen atau simulasi dinamis pada sistem instalasi. Metode ini didasarkan pada sistem reaksi lup terbuka pada sistem instalasi sebagai fungsi yang dikenal sebagai sinyal *step*. Jika sistem proses tidak mengandung unsur paling sedikit integrator, reaksi sistem akan berbentuk S (Gambar 3) (Copeland, 2008).

Hasil kurva yang didapatkan berbentuk S dan memiliki dua konstanta, yakni keterlambatan waktu θ (L) dan konstanta waktu τ (T). Gambar 3 memperlihatkan bahwa kurva reaksi proses berubah naik, sampai selang waktu L . Sementara itu, waktu tunda menggambarkan perubahan kurva reaksi proses setelah mencapai 63,2 persen dari keadaan stabil. Untuk mendapatkan parameter optimal, hasil kurva proses ditarik garis lurus yang bersinggungan

dengan garis kurva di mana garis singgung ini akan memotong dengan sumbu absis dan garis maksimum. Perpotongan garis singgung dengan sumbu absis merupakan konstanta waktu mati dan perpotongan dengan garis maksimum merupakan waktu tunda yang diukur dari titik waktu θ (L).

Penentuan nilai faktor penguatan dari sistem proses dapat menggunakan persamaan ini.

$$K_p = \frac{\Delta P_m}{\Delta P_c} \quad [3]$$

dengan,

ΔP_m : nilai hasil keluaran (cm)

ΔP_c : besaran masukan *step* (cm)

K_p : penguatan efektif (kali)

K_C : penguatan kontroler (kali)

θ (L) : waktu tunda efektif (detik)

τ (T) : konstanta waktu efektif (detik)

Perhitungan parameter optimum dari setiap kombinasi kontroler mengacu pada hasil kurva karakteristik proses yang terjadi pada sistem. Untuk sistem proses, jika dianggap sistem dapat menjaga kecepatan respons maksimum sepanjang waktu maka sistem akan mengambil waktu yang tepat dari konstanta waktu untuk mencapai kondisi stabil.

Oleh karena itu, konstanta waktu dapat diidentifikasi dengan mengambil kemiringan maksimum dan mengukur periode waktu antara titik-titik di mana garis kemiringan maksimum melintasi garis respon awal dan akhir. Sebagai referensi, untuk penalaan kontroler menggunakan aturan penalaan Ziegler-Nichols berdasarkan respon *step* pada Tabel 1 (Cheon dkk., 2014), dan penalaan kontroler Cohen-Coon berhubungan untuk redaman osilasi seperempat yang menggunakan metode reaksi proses pada Tabel 2 (Copeland, 2008) dan (Cheon dkk., 2014)

Meskipun terdapat sejumlah metode reaksi proses yang tersedia, metode Ziegler-Nichols dan Cohen-Coon adalah metode yang paling umum digunakan dan keduanya bertujuan untuk meredam hasil gelombang seperempat.

Perbedaan utama dari kedua aturan adalah hubungan Cohen-Coon yang merupakan penyempurnaan metode reaksi proses Ziegler-Nichols (Copeland, 2008; Cheon dkk., 2014).

Mengacu pada sistem proses pengolahan air gambut menggunakan kontroler PID maka nilai-nilai PID optimal diperoleh dari tiga persamaan di bawah ini.

$$PB = (83. Kp.L/T) \quad [4]$$

$$T_i = 2 L \quad [5]$$

$$T_d = 0,5 L \quad [6]$$

PB : *poportional band* (%)
 T_i : waktu integral (menit)
 T_d : waktu derivatif (menit)

Tabel 1. Aturan penalaan Ziegler–Nichols berdasarkan respons *step* yang mengacu pada Gambar 3

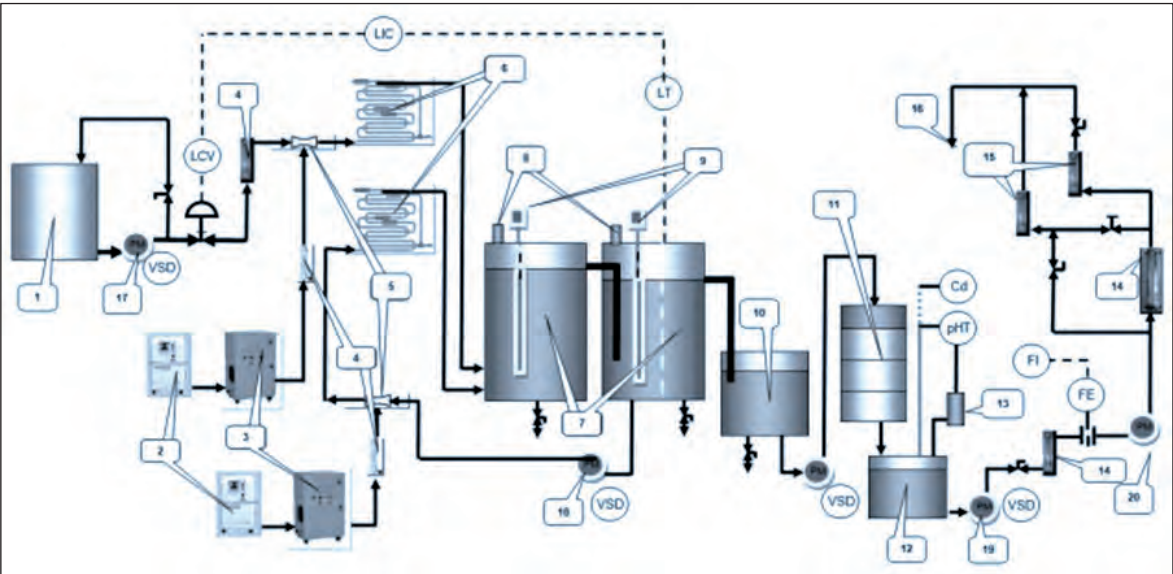
Mode Kontroler	% PB	T_i	T_d
P	$100.Kp \frac{L}{T}$	∞	0
PI	$110.Kp \frac{L}{T}$	3,3L	0
PID	$83.Kp \frac{L}{T}$	2L	0,5L

C.METODE PENELITIAN

Sistem kontrol PLC diterapkan dalam sistem pengolahan air gambut dengan metode *advanced oxidation process and reverse osmosis* (AOPRO) seperti ditunjukkan pada Gambar 4. *Programmable logic controller* (PLC) yang berfungsi sebagai kontroler menerapkan sistem kontrol lup tertutup yang digunakan untuk mengontrol level dalam tangki. Hal ini diasumsikan bahwa aktuator dan nilai yang terukur analog memerlukan unit konversi digital, analog ke digital (AD), dan digital ke analog (DA).

Tabel 2. Hubungan penalaan Cohen-Coon untuk redaman osilasi seperempat menggunakan metode kurva reaksi proses.

Mode Kontroler	Kc	T_i	T_d
P	$\frac{1}{Kp} \left(\frac{T}{L} \right)$	∞	0
PI	$\frac{0.9}{Kp} \left(\frac{T}{L} \right)$	3,3L	0
PID	$\frac{1.2}{Kp} \left(\frac{T}{L} \right)$	2L	0,5L



Sumber: Turnip, A, al., 2014

Gambar 4. Skematik Sistem Proses Pengolah Air Gambut dengan Metode AOPRO

Keterangan:

- | | | |
|------------------------------|------------------------------|-------------------------|
| 1. Sumber Air Gambut | 8. Pembuangan Ozon 1 dan 2 | 15. Filter Aktif |
| 2. Generator Oksigen 1 dan 2 | 9. Ultraviolet 1 dan 2 | 16. Produk Air Bersih |
| 3. Generator Ozon 1 dan 2 | 10. Reservoir 1 | 17. Pompa 1- P Proses 1 |
| 4. Rotameter 1, 2, dan 3 | 11. Filter Karbon dan Zeolit | 18. Pompa 2- Proses 2 |
| 5. Injektor 1 dan 2 | 12. Reservoir 1 | 19. Pompa 3- Transfer |
| 6. Plug Flow 1 dan 2 | 13. Pengatur Tawas | 20. Pompa 4- Feed Pump |
| 7. Tanki Proses 1 dan 2 | 14. Reverse Osmosis | |

Fungsi aritmatika kontrol PID yang berupa diagram blok program kontrol yang dijalankan oleh perangkat PLC berfungsi sebagai pengontrol level air gambut di dalam tangki. Masukan dari sensor merupakan sinyal listrik yang harus dikonversi ke skala yang diinginkan. Variabel program konversi dan kontrol dalam sistem AOPRO diperlihatkan oleh blok diagram pada Gambar 5.

Fungsi aritmatika kontrol untuk variabel seperti konversi linear 4–20 mA ke variabel level, konversi linear MV ke tegangan kontrol VSD (0–10V DC), dan konversi tegangan VSD (0~10 VDC) ke frekuensi dideskripsikan dengan persamaan (7–9) (Hutagalung, Muchlis, Herlambang, & Turnip, 2014).

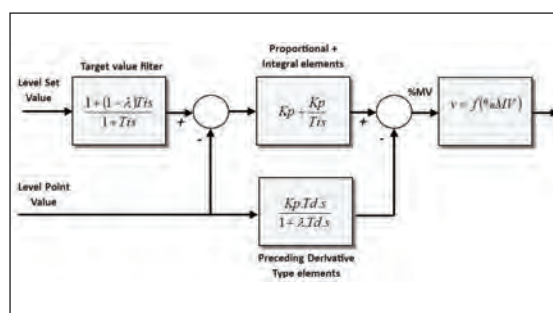
Dalam sistem kontrol ini, konversi yang diperlukan adalah tegangan, frekuensi, dan arus listrik yang sesuai dengan masukan dari setiap komponen kontrol, yaitu *level transmitter*, PLC, dan motor pompa. Keluaran dari level transmitter (LT) menghasilkan tegangan 4–20 mA yang kemudian diubah oleh PLC menjadi 0–10 V. PLC mengeksekusi motor pompa untuk mengonversinya menjadi sinyal frekuensi dari keluaran PLC dengan rentang 0–50 Hz. Konversi arus, tegangan, dan frekuensi dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut.

- 1) Konversi linear 4–20 mA ke variabel level.

$$Lvt = \left(\frac{a - A_4}{A_{20} - A_4} \right) (Lvt_{\max} - Lvt_{\min}) + Lvt_{\min} \quad [7]$$

- 2) Konversi linear MV ke tegangan kontrol VSD (0–10V DC).

$$v_o = \left(\frac{MV - MV_{\min}}{MV_{\max} - MV_{\min}} \right) (v_{10} - v_0) \quad [8]$$



Gambar 5. Diagram Blok Fungsi Kontrol PID ^[14]

- 3) Konversi tegangan VSD (0~10 VDC) ke frekuensi.

$$f = \left(\frac{v - v_4}{V_{10} - V_0} \right) (f_{50Hz} - f_{0Hz}) + f_{0Hz} \quad [9]$$

Keterangan:

MV : manipulated variable (%MV)

V_0 : binary-output (0 Vdc)

V_{10} : binary-output in 10 Vdc

Lvl : level (cm)

a : binary-input (mA)

A_4 : binary-input (mA)

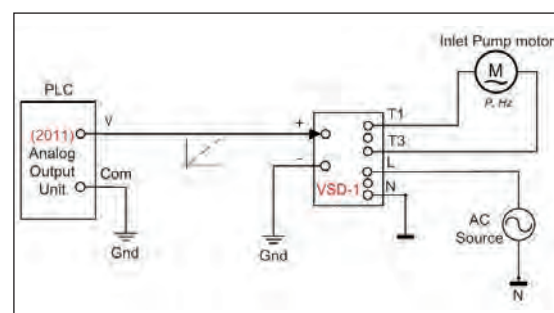
A_{20} : binary-input (4 mA)

f : Frekuensi (Hz)

Rangkaian kontroler PID untuk kontrol kecepatan motor AC dan rangkaian kontroler PID + TPO untuk mengatur pH yang dijalankan oleh perangkat PLC ditunjukkan pada Gambar 6.

D. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem pengontrolan level proses pada pengolahan air gambut menjadi air bersih atau air minum dalam penelitian ini dilakukan melalui tahapan, yaitu proses oksidasi air gambut dengan ozon (AOP) kapasitas 24 g/h, ditambah UV melalui *plugflow* pertama dan ozon (AOP) berkapasitas 10 g/h melalui *plugflow* kedua. Proses penyaringan hasil pengolahan air gambut menjadi air bersih menggunakan filter karbon dan zeolit. Sementara itu, untuk mendapatkan hasil air minum digunakan penyaringan dengan filter mikro (0,5 um dan 0,1 um) dan terakhir diikuti dengan perangkaian membran RO dengan kapasitas 100–200 l/h menggunakan pompa tekanan tinggi.



Gambar 6. Rangkaian Kontroler PID untuk Kontrol Kecepatan Motor AC

Metode AOP yang digunakan merupakan kombinasi dari UV dan ozon. Sistem AOP bekerja memanfaatkan radikal hidroksil ($\text{OH}\cdot$) yang dihasilkan dari reaksi antara kombinasi UV dan ozon dalam air. Hasil pemurnian air gambut melalui proses ozonisasi akan tergantung pada efektivitas reaksi gas ozon dengan air gambut. Proses penyaringan digunakan karbon aktif dan zeolit untuk membantu penyerapan polutan mikro hasil oksidasi sistem AOP.

Sistem pengontrolan level di proses pengolahan air gambut diperlukan sirkulasi proses yang stabil sesuai durasi waktu yang diinginkan. Oleh sebab itu, diperlukan penalaan parameter kontroler PID (PLC) menggunakan metode kurva reaksi proses Ziegler-Nichols (Ang, Chong, & Li, 2005). Eksperimental dilakukan untuk menunjukkan bahwa hasil dari proses penalaan metode kurva reaksi proses Ziegler-Nichols diperoleh menghasilkan level stabil yang dikehendaki seperti ditunjukkan oleh kedua Gambar 7(a) dan 7(b).

Penentuan optimasi parameter kontroler PID dilakukan secara manual dengan mengacu pada data eksperimental pengontrolan level proses sesuai dengan prosedur metode penalaan metode kurva reaksi proses. Data eksperimen yang

dihasilkan berupa grafik kurva S yang didapat secara manual (Gambar 8) dan hasil analisis kurva (Gambar 9).

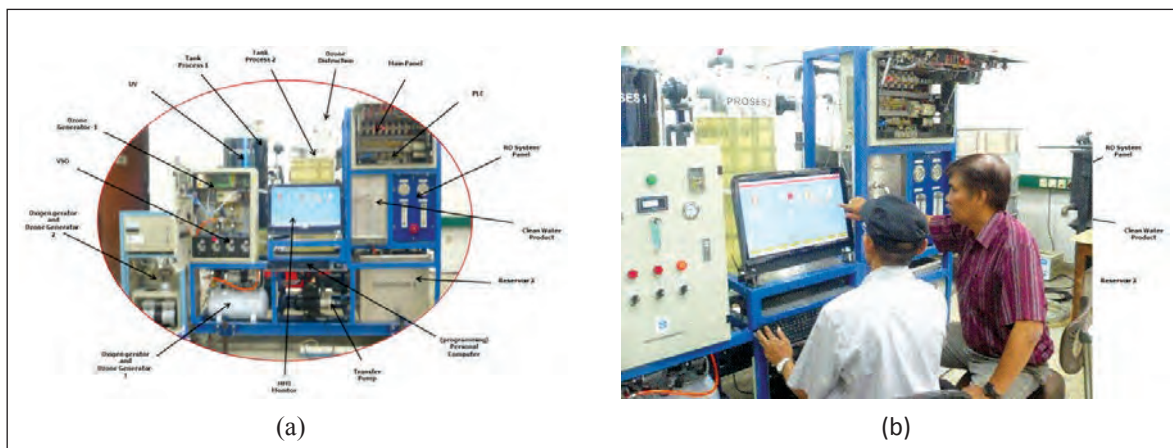
Hasil nilai parameter kontroler PID didapatkan dari hasil kurva analisis reaksi proses, mengacu pada persamaan (3) sehingga didapatkan nilai-nilai $\Delta P_m = 35\%$, $\Delta P_c = 5\%$, waktu mati $\theta (L) = 4,57$ menit, dan waktu konstan $\tau (T) = 20,12$ menit. Nilai optimasi parameter kontrol level dengan modus kontroler PID dihasilkan dari persamaan (4) dan dinyatakan dengan satuan persen (%).

$$\begin{aligned} \text{PB (\%)} &= 83 \text{ Kp (L/T)} \\ &= (83 (7)(0,23)) = 132\% \end{aligned}$$

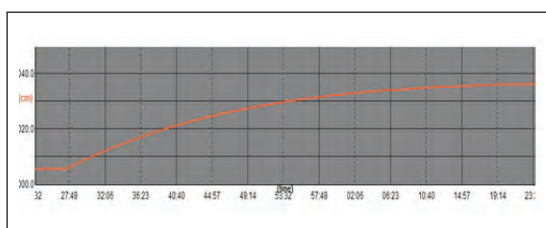
$$\begin{aligned} T_i &= 2 L \\ &= 2 (4,57) = 9,140 \text{ menit} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_d &= 0,5 L \\ &= 0,5 (4,57) = 2,285 \text{ menit} \end{aligned}$$

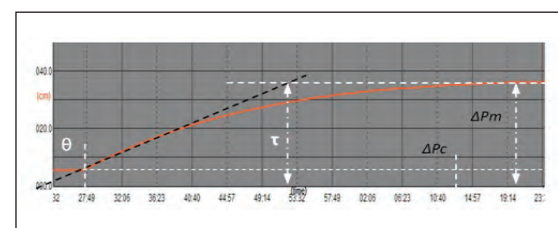
Hasil akhir nilai optimasi parameter kontroler PID adalah $P = 132\%$, $I = 9,140$ menit, dan $D = 2,285$ menit serta hasil tampilan layar HMI dan penalaan parameter proses pada Gambar 10 dan 11.



Gambar 7. (a) Prototipe Sistem Pengolahan Air Gambut dan (b) Eksperimental Sistem Kontrol Level



Gambar 8. Hasil Kurva Reaksi Proses

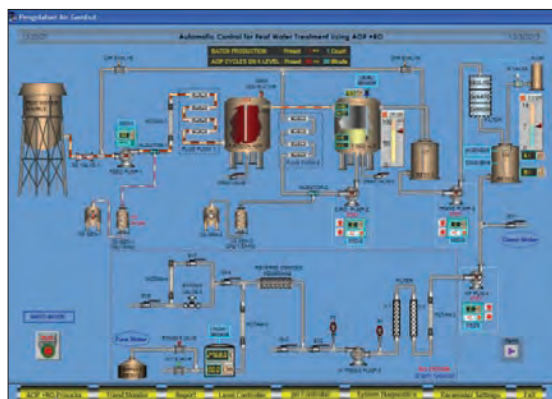


Gambar 9. Hasil Analisis Kurva Reaksi Proses

Hasil eksperimen penalaan kontrol level lup tertutup untuk modus PID dengan gangguan, maka hasil perubahan nilai *set point* ditunjukkan pada Gambar 12 hingga 14.

Aksi kontrol yang diinginkan K_p adalah penguatan positif karena aksi kontroler I (integral) memiliki tindakan yang tidak terpisahkan,

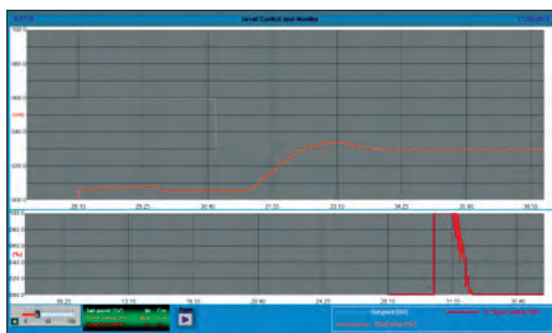
tidak termasuk nilai bias, tetapi secara otomatis diinisialisasi dengan nilai keluaran kontrol lup tertutup. Nois pada hasil kurva disebabkan oleh nois sinyal dari jaringan sehingga bentuk kurva terlihat bergerigi, namun tidak mengganggu kondisi stabil, seperti ditunjukkan pada Gambar (15–17).



Gambar 10. Proses AOPRO pada Tampilan HMI



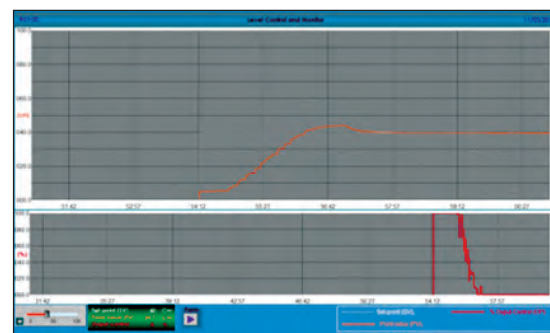
Gambar 11. Tampilan Parameter Penalaan



Keterangan:

SP = 30%
P = 132%
I = 9,140 menit
D = 2,285 menit

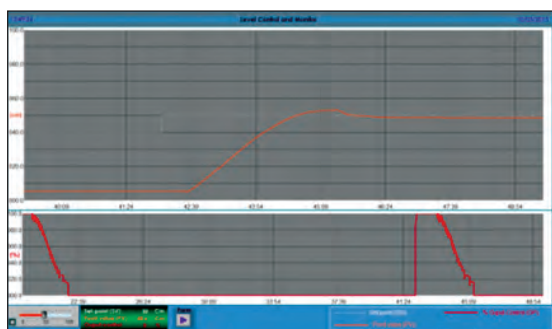
Gambar 12. Data Eksperimental 1



Keterangan:

SP = 40%
P = 132%
I = 9,140 menit
D = 2,285 menit

Gambar 13. Data Eksperimental 2



Keterangan:

SP = 50%
P = 132%
I = 9,140 menit
D = 2,285 menit
Ts = 60

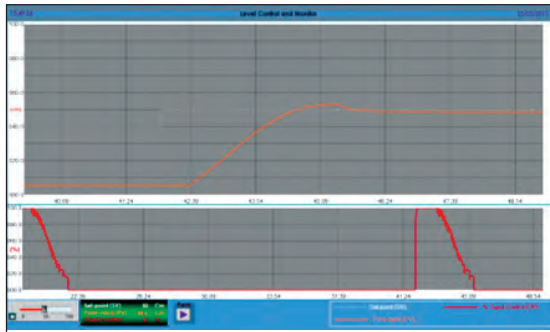
Gambar 14. Data Eksperimental 3



Keterangan:

SP = 60%
P = 132%
I = 9,140 menit
D = 2,285 menit

Gambar 15. Data Eksperimental 4



Keterangan:

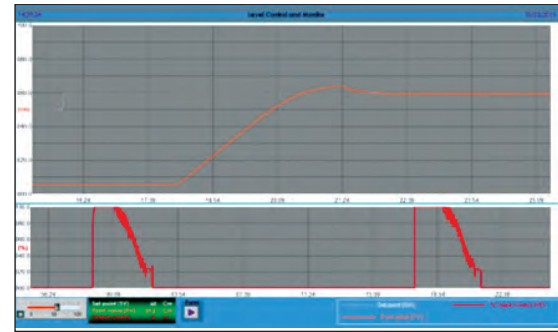
SP = 70%

P = 132%

I = 9,140 menit

D = 2,285 menit

Gambar 16. Data Eksperimental 5



Keterangan:

SP = 80%

P = 132%

I = 9,140 menit

D = 2,285 menit

Gambar 17. Data Eksperimental 6

Untuk mendapatkan hasil terbaik, sebaiknya penelitian merujuk ke tanda kinerja sesuai dengan pelaksanaan setiap proses. Jika terdapat beberapa proses sepanjang tidak diperlukan, diperlukan toleransi dalam menanggapi perubahan *set point* lebih cepat. Dalam hal apapun, itu menunjukkan bagaimana fungsi respons *step* dari perubahan *set point* sebagai penggandaan parameter penalaan atau setengah dari penalaan dasar.

Kelemahan dari metode kurva berbentuk S ini terletak pada ketidakmampuan sistem proses integrator yang memiliki kutub kompleks. Hasil eksperimen, dengan mengubah parameter kontroler P , I , dan D , menunjukkan bahwa nilai kecil kontroler hanya dapat mengambil tindakan untuk memperbaiki masalah kecil sehingga akan menghasilkan respons yang lambat. Akan tetapi, jika nilai K_p diperbesar yang dapat berimbas pada kelebihan nilai maka hal tersebut mengakibatkan sistem akan berosilasi.

Nilai konstanta K_i memungkinkan percepatan hilangnya *offset*, namun semakin besar nilai konstanta K_i dapat mengakibatkan peningkatan osilasi sinyal keluaran kontroler. Kontroler derivatif memiliki karakter untuk mendahului sehingga kontroler dapat menghasilkan koreksi yang signifikan sebelum menghasilkan kesalahan yang sangat besar. Selanjutnya, kesalahan absolut minimum yang terintegrasi saat sinyal langkah diterapkan pada *set point* atau pada gangguan beban dapat dikurangi berkenaan

dengan kontroler PID standar. Jadi, kontroler derivatif dapat mengantisipasi menghasilkan kesalahan, yang menyediakan tindakan korektif, dan cenderung meningkatkan stabilitas sistem.

E. KESIMPULAN

Penelitian ini difokuskan pada pengolahan air gambut menjadi air bersih atau air minum dengan menggunakan modus kontroler PID dan metode penalaan kurva reaksi proses pada kondisi lup terbuka. Penentuan parameter optimal sangat memengaruhi pelaksanaan perilaku dinamis dari sebuah proses.

Pemahaman perilaku dinamis dari suatu proses penting dalam modus desain dan penalaan kontroler PID. Perbandingan metode penalaan Ziegler–Nichols dan Cohen–Coon terdapat pada spesifikasi domain waktu, yaitu untuk waktu naik dan waktu puncak menghasilkan lebih cepat, sedangkan untuk waktu penyelesaian menghasilkan waktu lambat.

Penalaan metode kurva reaksi proses dengan parameter kontroler PID didapatkan nilai-nilai optimasi dari kombinasi ketiga, yaitu $P = 132\%$, $I = 9,140$ menit, dan $D = 2,285$ menit. Dengan demikian, desain dan metodologi dapat direkomendasikan sebagai bukti uji sistem pengotrolan level pengolah air gambut menjadi air bersih atau air minum dengan dipastikan bahwa kinerja sistem aman, efisien, dan efektif.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai Program Riset Kompetitif Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (No. 079.01.06.3404) melalui Pusat Ekonomi dengan dukungan Pusat Penelitian Kalibrasi Instrumentasi dan Metrologi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- Ang, K. H., Chong, G., & Li, Y. (2005). PID control system analysis, design, and technology. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 13(4), 559–576.
- Åström, K. J. & Hägglund, T. (1995). *PID controllers : Theory , design, and tuning* (2nd ed). Pittsburgh, Pennsylvania, USA: ISA: The Instrumentation, Systems, and Automation Society.
- Bequette, B. W. (2003). *Process control: Modeling, design and simulation*. Upper Saddle River, New Jersey, USA: Prentice Hall.
- Cheon, Y. J., Kyung, H. R., Su, W. S, Lee, J., & Lee I. -B. (2014). PID auto-tuning using new model reduction method and explicit pid penalaan rule for a fractional order plus time delay model, *Journal of Process Control*, 24(1), 113–128.
- Copeland, B. R. (2008). The design of PID controllers using Ziegler Nichols tuning. Retrieved from http://educypedia.karadimov.info/library/Ziegler_Nichols.pdf.
- Hutagalung, S. S. (2005). Penalaan kontroler level menggunakan metode kurva reaksi proses. Dalam *Prosiding SIPTEKGAN IX*, 2, 492–496.
- Hutagalung, S. S., Muchlis, I., Herlambang, B., & Turnip, A. (2014). Removal of chemical and biological contaminants on peat water by ozone-based advanced oxidation processes with reverse osmosis. Dalam *2014 2nd International Conference on Technology, Informatics, Management, Engineering & Environment (TIME-E)* (288–29).
- Li, Y., Ang, K. H., & Chong, G. C. Y. (2006). PID control system analysis and design. *IEEE Control Systems Magazine*, 26(1), 32–41.
- Mu'min, B. (2002). *Penurunan zat organik dan warna pada pengolahan air gambut menggunakan membran ultrafiltrasi dengan sistim aliran cross flow yang didahului dengan proses koagulasi/flokulasi dan adsorpsi karbon aktif*. (Tesis, Program Magister Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Bandung, Bandung).
- Ozotech. 2004. *Ozone generator*. Ozotech, Inc. USA.
- Pavković, D., Polak, S., & Zorc, D. (2014). PID controller auto-tuning based on process step response and damping optimum criterion. *ISA Transactions*, 53(1), January 2014, 85–96.
- Rao, K. S. & Mishra, R. (2014). Comparative study of P, PI and PID controller for speed control of VSI-Fed induction motor. *International Journal of Engineering Development and Research*, 2(2), 2740–2744.
- Trapido, M., Veressinina, Y., & Munter, R. (1994). Advanced oxidation processes and ozone treatment of anthracene in aqueous solutions. *Proc. Estonian Acad. Sci. Chem.*, 43, 61–67.
- Turnip, A., Hutagalung, S. S., Muchlis, I., & Amri, M. F. (2017). Peat water treatment based wireless data acquisition system for flexible remote monitoring. *Interworking Indonesia Journal*, 9(1), 27–32.
- Wahyunto, R. S. & Subagjo, H. (2003). *Map of peatland distribution area and carbon content in Sumatra, 1990–2002*. Bogor: Wetland International Indonesia Program dan Wildlife Habitat Canada (WHC).
- Wang, D. -J. (2009). Synthesis of PID controllers for high-order plants with time-delay, *Journal of Process Control*, 19(10), 1763–1768.
- Wibowo, P. & Suyatno, N. (1998). *An overview of indonesian wetlands: An update information, included in the Indonesian wetland database*. Jakarta: Direktorat Jenderal Perlindungan Hutan dan Pelestarian Alam, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.