

# PENGENDALIAN pH AIR DENGAN METODE PID PADA MODEL TAMBAK UDANG

Andrian Kristianto, Iwan Setiawan, and Sumardi

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro  
Jln. Prof. Sudharto, Tembalang, Semarang, Indonesia

## Abstrak

Luas wilayah perairan yang cukup besar Indonesia memiliki potensi dalam pengembangan dan budidaya hasil perikanan seperti udang, namun banyaknya petambak udang yang gagal panen karena perubahan cuaca yang tak menentu ini mengakibatkan buruknya kondisi air tambak sehingga menyebabkan banyak udang yang mati. Pengaruh keadaan air memang sangat penting karena ada beberapa parameter air yang berpengaruh pada udang seperti suhu air, kadar oksigen, pH, dan salinitas. Parameter tersebut perlu dijaga kestabilannya untuk kelangsungan hidup udang. Pengendalian pH air dengan metode PID Ziegler Nichols I ini dilakukan pencarian parameter controller pada beban tertentu dengan menggunakan metode bump test untuk mendapatkan parameter L (keterlambatan), T (time konstan), dan K (gain) sehingga didapat nilai  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$ . Metode PID Ziegler Nichols I hasil penelitian menghasilkan nilai  $K_p=175$ ,  $K_i=40$ , dan  $K_d=10$  dari nilai parameter  $L=20$  sekon,  $T=71$  sekon dan  $K=0,0243$  pH/%. Dari hasil pengujian metode PID Ziegler Nichols I dirasa cukup efektif dalam mengatasi gangguan dari beberapa hasil pengujian dengan gangguan berupa larutan asam dengan pH sebesar 3,80 dan 4,08 didapatkan error steady 5% sedangkan untuk gangguan berupa larutan asam dengan pH sebesar 5,03 error steady 4%.

*Kata kunci : Kontrol PID (Proporsional-Integral-Derivative), Pengontrolan pH air, Sensor pH.*

## 1. Pendahuluan

Tambak merupakan salah satu jenis habitat yang dipergunakan sebagai tempat untuk kegiatan budidaya air payau yang berlokasi di daerah pesisir. Kegiatan budidaya tambak yang terus menerus menyebabkan terjadinya degradasi lingkungan, yang ditandai dengan menurunnya kualitas air. Kendala lingkungan yang dihadapi dalam kegiatan budidaya diantaranya penataan wilayah atau penataan ruang pengembangan budidaya yang tidak memperhatikan daya dukung lingkungan akibat pengelolaan yang tidak tepat, sehingga menimbulkan permasalahan lingkungan dengan segala aspek komplikasinya dalam kurun waktu yang panjang<sup>[4]</sup>.

Kegagalan panen yang seringkali banyak dialami petani tambak udang di Desa Mororejo merupakan salah satu petunjuk telah terjadinya degradasi kualitas lahan dan air pendukung usaha budidaya, kegagalan terjadi akibat dari diabaikannya daya dukung atau kemampuan dari tambak sebagai media kegiatan budidaya<sup>[4]</sup>.

Banyaknya petambak udang yang gagal panen karena perubahan cuaca yang tak menentu ini mengakibatkan buruknya kondisi air tambak sehingga menyebabkan banyak udang yang mati dan hal ini kian meresahkan petambak udang. Petambak udang saat ini bergantung pada kondisi lingkungan dan keadaan cuaca yang secara langsung mempengaruhi keadaan air tambak dalam budidaya udang. Pengaruh keadaan air memang

sangat penting karena ada beberapa parameter air yang berpengaruh pada udang seperti suhu air, kadar oksigen, pH, dan salinitas. Parameter tersebut perlu dijaga kestabilannya untuk kelangsungan hidup udang, untuk mengatasi hal ini perlunya dikembangkan tempat budidaya udang di darat. Sehingga dengan pemanfaatan teknologi tepat guna parameter suhu air, kadar oksigen, pH dan salinitas dapat dijaga kestabilannya sesuai dengan habitat aslinya.

Pentingnya beberapa parameter yang harus dijaga stabilitasnya maka dilakukan pengaturan salah satu dari parameter tersebut yaitu pengaturan pH secara otomatis. Untuk itu maka perlu dibuat sebuah alat pengontrolan yang berfungsi mempertahankan pH. Stabilitas pH dipertahankan pada nilai tertentu antara 7,5 - 8,5 agar udang dapat bertahan hidup dengan cara menginjeksikan larutan basa yang berupa air kapur pada setiap perubahan pH yang terjadi<sup>[8]</sup>.

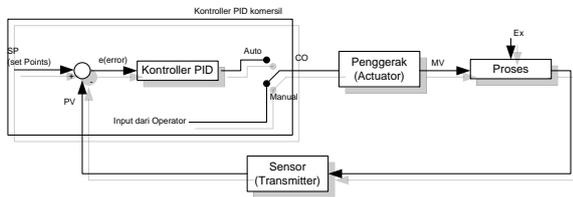
## 2. Dasar Teori

### 2.1 Model Self Regulating Process

Model *self regulating process* pada dasarnya dapat didekati oleh sebuah model matematis FOPDT (*First Order Plus Dead Time*) yang hanya dicirikan oleh tiga buah parameter yaitu *Process transport delay* – L, *Process time constant* – T, *Process static gain*- K.

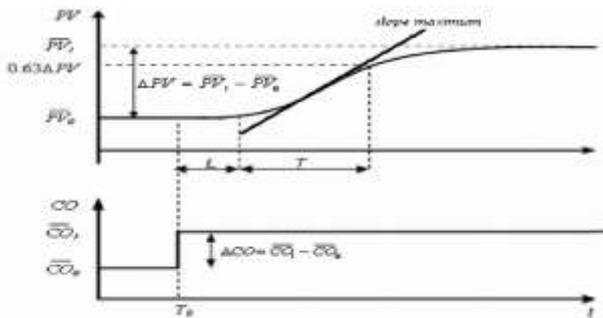
Ketiga parameter yang menggambarkan dinamika proses,

secara praktis dapat diperoleh atau diidentifikasi melalui eksperimen sederhana *BumpTest* atau sinyal tangga secara *open loop* pada mode kontrol manual (lihat Gambar 1).



Gambar 1 Percobaan *BumpTest* pada kontrol manual<sup>[8]</sup>

Secara teknis percobaan *BumpTest* dilakukan dengan cara memberi perubahan tangga (step) sinyal output kontroler (CO) oleh operator pada saat proses mengalami keadaan *steady* (stabil) disekitar titik kerja nominalnya. Gambar 2 menunjukkan salah satu contoh hasil percobaan *BumpTest*.



Gambar 2 Respon Tangga percobaan *BumpTest* untuk model FOPDT<sup>[8]</sup>

Gambar 2 di atas merupakan grafik respon tangga percobaan *BumpTest* yang mana parameter-parameter proses FOPDT (*First Order Plus Dead Time*) dapat dicari sebagai berikut:

- Keterlambatan transportasi proses (L) = waktu yang terjadi pada proses yang dihitung sejak terjadi perubahan tangga pada CO sampai variabel proses (PV) yang dikontrol mulai menanggapi perubahan input CO.
- Konstanta waktu (T) = Waktu yang di perlukan sehingga nilai PV mencapai kurang lebih 63 % dari keadaan *steady* akhir setelah waktu tunda.
- Gain Statis Proses (K) = Perbandingan perubahan PV terhadap perubahan CO dalam keadaan *steady*nya. Gain statis bisa bernilai positif maupun negatif tergantung jenis control valve yang di gunakan.

$$K = \frac{PP_1 - PP_0}{CO_1 - CO_0} \quad (1)$$

## 2.2 Pengendali PID (*Proporsional-Integral-Derivative*)

Pengendali PID adalah suatu sistem pengendali yang merupakan gabungan antara pengendali proporsional,

integral, dan turunan (*derivative*). Dalam waktu kontinyu, sinyal keluaran pengendali PID dapat dirumuskan sebagai berikut.<sup>[8]</sup>

$$u(t) = Kp \left( e(t) + \frac{1}{Ti} \int e(t) d(t) + Td \frac{de(t)}{dt} \right) \quad (2)$$

atau

$$u(t) = Kp \cdot e(t) + Ki \int e(t) d(t) + Kd \frac{de(t)}{dt} \quad (3)$$

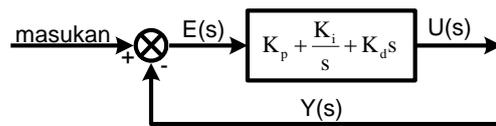
dengan

- $u(t)$  = sinyal keluaran pengendali PID
- $Kp$  = konstanta proporsional
- $Ti$  = waktu integral
- $Td$  = waktu turunan
- $Ki$  = konstanta integral
- $Kd$  = konstanta turunan
- $e(t)$  = sinyal kesalahan

Jadi, fungsi alih pengendali PID (dalam domain s) dapat dinyatakan sebagai berikut.<sup>[7]</sup>

$$Gc(s) = Kp + \frac{Ki}{s} + Kds \quad (4)$$

Diagram blok pengendali PID dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Diagram blok pengendali PID.<sup>[8]</sup>

Sedangkan dalam kawasan sistem diskret, pengendali PID dapat dituliskan dalam bentuk persamaan beda sebagai berikut.<sup>[8]</sup>

$$u(k) = Kp \cdot e(k) + Ki \cdot T \sum_{i=0}^{k-1} (e(i)) + Kd \frac{(e(k) - e(k-1))}{T} \quad (5)$$

## 2.3 Penalaan Pengendali PID Metode ke-1 Ziegler-Nichols

Metode ke-1 didasarkan pada respon *plant* terhadap masukan tangga (*step*) dalam kalang terbuka. *Plant* yang tidak mempunyai *integrator*, akan menghasilkan kurva tanggapan terhadap masukan tangga, seperti halnya pada hasil respon uji *BumpTest* yang diperlihatkan pada gambar 2.

Rumus-rumus untuk mencari parameter pengendali menggunakan metode kurva reaksi ditabelkan pada Tabel 1.

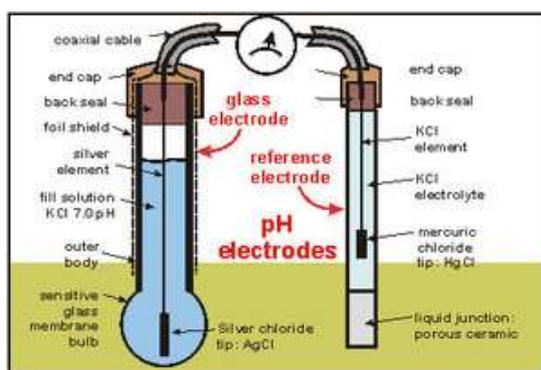
Tabel 1 Rumus parameter PID dengan penalaan Ziegler-Nichols metode ke-1<sup>[8]</sup>.

Pengendali	$Kp$	$Ti$	$Td$
P	$T/LK$	-	-

PI	0,9T/KL	3,33L	-
PID	1,2T/KL	2L	0,5L

## 2.4 Sensor Keasaman (pH)

Pada prinsipnya pengukuran suatu pH adalah didasarkan pada potensial elektro kimia yang terjadi antara larutan yang terdapat didalam elektroda gelas (*membrane* gelas) yang telah diketahui dengan larutan yang terdapat diluar elektroda gelas yang tidak diketahui. Hal ini dikarenakan lapisan tipis dari gelembung kaca akan berinteraksi dengan ion hidrogen yang ukurannya relatif kecil dan aktif, elektroda gelas tersebut akan mengukur potensial elektrokimia dari ion hidrogen atau diistilahkan dengan *potential of hidrogen*<sup>[10]</sup>. Skema elektroda sensor pH dapat gambar 4.



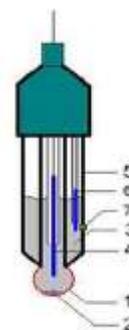
Gambar 4 Skema elektroda sensor pH.

Sensor pH akan mengukur potensial listrik (pada Gambar 4 alirannya searah jarum jam) antara *merkuri Chloride* ( $HgCl$ ) pada elektroda pembanding dan *potassium chloride* ( $KCl$ ) yang merupakan larutan didalam gelas *electrode* serta potensial antara larutan dan elektroda perak. Tetapi potensial antara sampel yang tidak diketahui dengan elektroda gelas dapat berubah tergantung sampelnya, oleh karena itu perlu dilakukan kalibrasi dengan menggunakan larutan yang ekuivalen yang lainnya untuk menetapkan nilai dari pH.

Elektroda pembanding *calomel* terdiri dari tabung gelas yang berisi *potassium kloride* ( $KCl$ ) yang merupakan elektrolit yang mana terjadi kontak dengan *mercuri chloride* ( $HgCl$ ) diujung larutan  $KCl$ . Tabung gelas ini mudah pecah sehingga untuk menghubungkannya digunakan *ceramic berpori* atau bahan sejenisnya. Elektroda semacam ini tidak mudah terkontaminasi oleh logam dan *unsure natrium*.

Elektroda gelas terdiri dari tabung kaca yang kokoh yang tersambung dengan gelembung kaca tipis yang didalamnya terdapat larutan  $KCl$  sebagai buffer pH 7. Elektroda perak yang ujungnya merupakan perak *kloride* ( $AgCl_2$ ) dihubungkan kedalam larutan tersebut. Untuk

meminimalisir pengaruh *electric* yang tidak diinginkan, alat tersebut dilindungi oleh suatu lapisan kertas pelindung yang biasanya terdapat dibagian dalam elektroda gelas. Salah satu contoh bentuk elektroda gelas dari jenis sensor pH dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5 Electrode sensor pH.

Bagian-bagian dari electrode sensor pH :

1. Bagian perasa *electrode* yang terbuat dari kaca yang spesifik.
2. Larutan *buffer*.
3. Cairan  $HCL$ .
4. Elektroda ukur yang dilapisi perak.
5. Tabung gelas elektroda.
6. Elektroda referensi.
7. Ujung kawat yang terbuat dari keramik

## 2.5 Tambak Udang

Tambak merupakan salah satu jenis habitat yang dipergunakan sebagai tempat untuk kegiatan budidaya air payau yang berlokasi di daerah pesisir. Kegiatan budidaya tambak yang terus menerus menyebabkan terjadinya degradasi lingkungan, yang ditandai dengan menurunnya kualitas air. Kendala lingkungan yang dihadapi dalam kegiatan budidaya diantaranya penataan wilayah atau penataan ruang pengembangan budidaya yang tidak memperhatikan daya dukung lingkungan akibat pengelolaan yang tidak tepat, sehingga menimbulkan permasalahan lingkungan dengan segala aspek komplikasinya dalam kurun waktu yang panjang.

Kegagalan panen yang seringkali banyak dialami petani tambak udang di Desa Mororejo merupakan salah satu petunjuk telah terjadinya degradasi kualitas lahan dan air pendukung usaha budidaya, kegagalan terjadi akibat dari diabaikannya daya dukung atau kemampuan dari tambak sebagai media kegiatan budidaya.

Berdasarkan hasil penelitian sebelumnya kisaran suhu air yang didapatkan sebesar  $28,5-30,2^{\circ}C$  yang berarti tambak dalam kondisi yang optimal Menurut Buwono (1993), suhu yang ideal untuk kehidupan udang berkisar antara  $25-30^{\circ}C$ . pH air dan pH tanah yang didapatkan berkisar

antara 6,9-7,3 dan 6,6-6,8. Menurut Cheng, et al. (2003), kisaran pH yang baik untuk kehidupan dan pertumbuhan ikan ataupun udang adalah antara 7,5 - 8,5<sup>[4]</sup>. Pada pH di bawah 4,5 atau di atas 9,0 ikan atau udang akan mudah sakit dan lemah, dan nafsu makan menurun bahkan udang cenderung keropos dan berlumut.

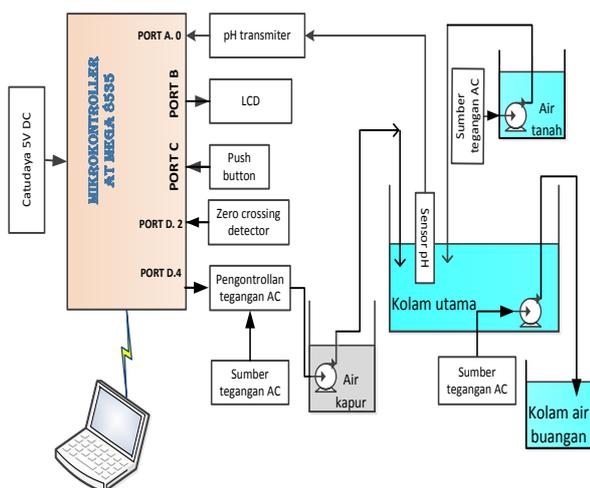
Kadar CO<sub>2</sub> yang didapatkan masih layak untuk ikan dan udang yaitu sebesar 1,98-4,35 mg/l. Kordi dan Tancung (2007), menyatakan kadar karbondioksida 5 mg/l di dalam air masih dapat ditoleransi oleh hewan air. Kandungan oksigen terlarut dalam tambak selama penelitian yaitu 5,65-6,8 mg/l termasuk konsentrasi yang baik untuk pertumbuhan biota perairan yaitu antara 5-7 mg/l (Kordi dan Tancung, 2007)<sup>[4]</sup>.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan Mustofa (2008) pada tambak ikan dan udang Desa Mororejo Kecamatan Kaliwungu Kabupaten Kendal kualitas air dan tanah selama penelitian Suhu air : 28.5-30.2°C; pH air : 6.9-7.3; CO<sub>2</sub> : 1.98-4.35 mg/L; DO 5.65-6.8 mg/L<sup>[4]</sup>.

### 3. Perancangan

#### 3.1 Perancangan Perangkat Keras (Hardware)

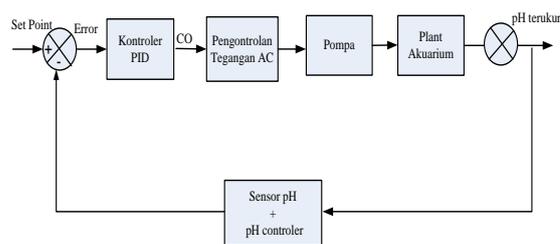
Blok rancangan perangkat keras sistem pengaturan pH air pada Penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 6 Perancangan perangkat keras meliputi mikrokontroler sebagai pengendali, rangkaian *zero cross* dan *triac* sebagai pengaturan tegangan input pompa AC, pompa AC sebagai penggerak, *push button* sebagai unit masukan dan LCD sebagai perancangan *display*.



Gambar 6 Rancangan hardware pengendali pH air.

#### 3.2 Perancangan perangkat Lunak (Software)

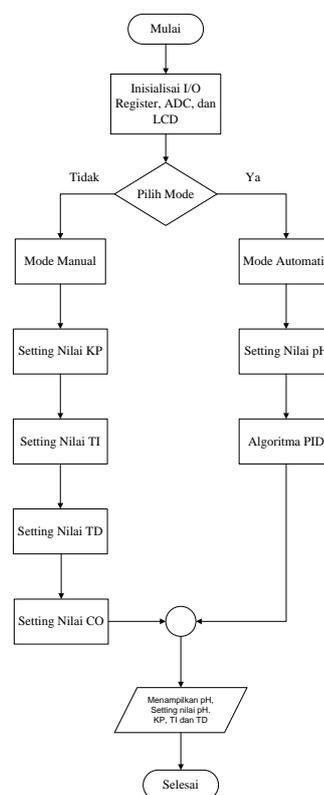
Kontrol PID diaplikasikan untuk mengontrol pH air. Blok diagram aplikasi pengontrolan secara umum dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7 Diagram blok dasar sistem pengendalian pH air.

Masukan dari kontrol PID adalah *error* pH air. *Error* akan diolah oleh algoritma kontrol PID sehingga menghasilkan sinyal kontrol yang diumpungkan ke pengontrolan tegangan AC yang nanti digunakan untuk mengatur pompa.

Diagram alir program utama diperlihatkan pada Gambar 8



Gambar 8 Diagram alir program utama.

### 4. Pengujian dan Analisis

#### 4.1 Pengujian Sensor pH

Pengujian terhadap sensor pH sebagai sensor ukur nilai parameter pH dilakukan dengan cara melaksanakan kalibrasi dengan 3 jenis larutan standar yang dikenal dengan larutan *buffer* yaitu dengan nilai pH 4,01, pH 7,01 dan pH 10,01. Hasil Kalibrasi *transmitter* pH dapat ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2 Hasil perbandingan pH terukur dengan output terukur transmitter pH.

pH buffer	pH terukur transmitter pH	output transmitter pH
4.01	4.01	0.86 V
7.01	7.01	1.20 V
10.01	10.01	1.56 V

Setelah melakukan kalibrasi dengan larutan buffer dilakukan pengujian sensor dengan larutan asam kuat dan basa kuat dalam hal ini digunakan asam suka dan air kapur dengan cara mencampurkan sedikit demi sedikit larutan tersebut. Hasil pengujian sensor dengan larutan asam dan basa ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3 Hasil Pengukuran transmitter pH dan nilai ADC.

No.	pH terukur transmitter pH	Nilai ADC (bits)	Nilai tegangan transmitter pH (V)
1	4.18	208	0.87
2	7	288	1.25
3	7.52	301	1.19
4	9.78	364	1.51
5	11.7	413	1.72

Dari hasil perbandingan nilai ADC dan display transmitter pada tabel 4.2 maka dapat di cari persamaan matematis untuk mendapatkan nilai pendekatan nilai pH yang sebenarnya.

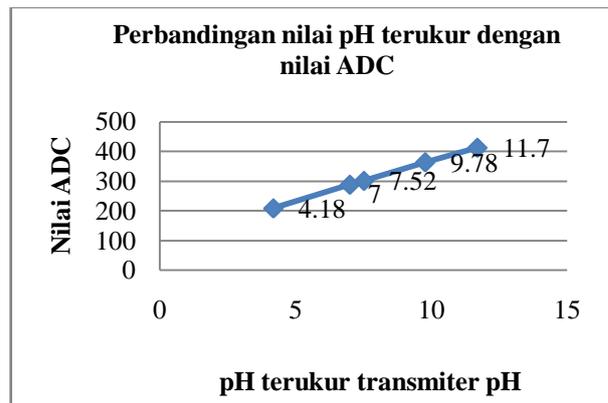
Persamaan linear ini yang nantinya akan digunakan untuk sub rutin pembacaan ADC internal. Persamaan linear tersebut dapat dicari menggunakan rumus matematis sebagai berikut:

$$\frac{y-y_1}{y_2-y_1} = \frac{x-x_1}{x_2-x_1} \tag{6}$$

Berdasarkan rumus matematis pada persamaan 4.1 untuk nilai  $y_1= 208$ ;  $y_2= 413$ ;  $x_1= 4,18$ ; dan  $x_2= 11,7$  maka didapatkan rumus matematis untuk ADC internal

$$x= 0,03668 y - 3,45 \tag{7}$$

Grafik yang merepresentasikan data hasil pembacaan transmitter pH dengan nilai ADC dapat dilihat pada Gambar 9.



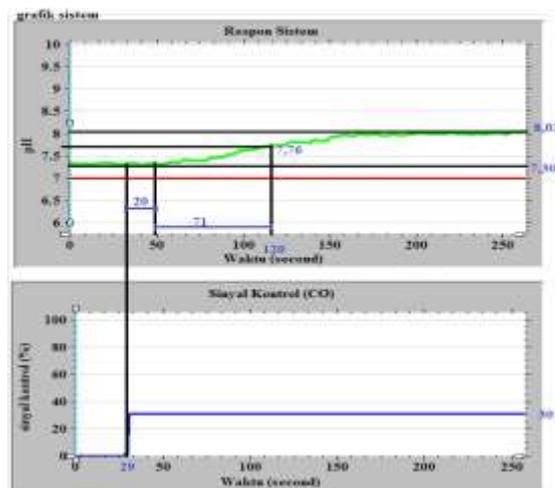
Gambar 9 Perbandingan antara nilai pH terukur transmitter pH dengan nilai ADC.

## 4.2 Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan untuk mengetahui karakteristik software dalam proses sistem pengendalian. Pengujian ini terdiri dari pengujian mode manual (kalang terbuka), penalaan PID dengan tuning ziegler-nichols, algoritma kendali PID, dan respon algoritma PID terhadap adanya gangguan.

### 4.2.1 Pengujian Kalang Terbuka (uji bump test)

Pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan parameter L, T, dan K dengan cara memberikan sinyal kontrol secara mendadak saat nilai steady dengan besar selisih sinyal kontrol awal dan akhir 30%.



Gambar 10 Tanggapan kelauran sistem pengendalian pH berdasarkan uji bump test.

Dari uji bump test dapat dicari nilai parameter L, T, dan K. Nilai keterlambatan transportasi (L) respon sistem tersebut sebesar 20 detik dan Gain statis proses (K) yang dimiliki model FOPDT didapatkan dari perhitungan berikut:

$$K = \frac{\Delta PV}{\Delta CO} = \frac{\overline{PV}_1 - \overline{PV}_0}{CO_1 - CO_0}$$

$$K = \frac{8,03 - 7,30}{30 - 0} = 0,0243(ph / \%) \quad (8)$$

Sedangkan nilai T ditentukan dari 63% ΔPV yang didapatkan dari perhitungan berikut:

$$63\% \Delta PV = 7,30 + (63\% (8,03 - 7,30))$$

$$= 7,30 + 0,46$$

$$= 7,76$$

Nilai T pada pH 7,76 = 120 detik

Sehingga pada saat 63% ΔPV, nilai T = 120 - 49 = 71 detik

Berdasarkan pengujian dapat diketahui bahwa proses pada sistem adalah *reverse*. Sehingga dapat diperoleh persamaan matematis fungsi alih sistem.

$$H(s) = \frac{pv(s)}{co(s)} = \frac{K}{Ts + 1} e^{-sL}$$

$$H(s) = \frac{0,0243}{71s + 1} e^{-20s} \quad (9)$$

#### 4.2.2 Pengujian Kendali PID

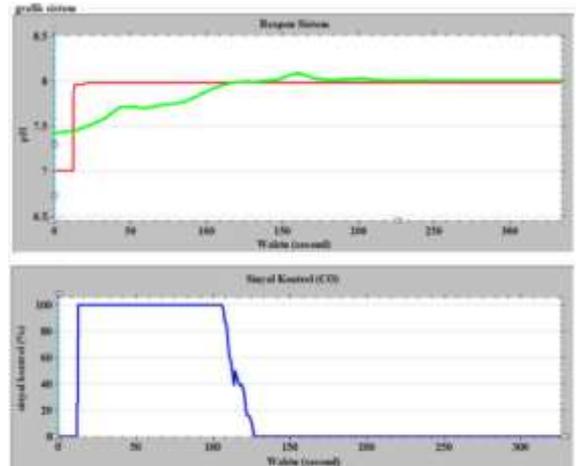
Respon sistem pada pengujian kalang terbuka menunjukkan *plant* sistem pengendalian pH air termasuk model FOPDT, penalaan *Ziegler Nichols* dapat dicari  $K_p$ ,  $T_i$ , dan  $T_d$ . Nilai  $K_p$ ,  $T_i$ , dan  $T_d$  pada model FOPDT dapat dihitung dengan penalaan empiris *Ziegler Nichols* pertama sebagai berikut:

$$K_p = \frac{1,2 \times T}{K \times L} = \frac{1,2 \times 71}{0,0243 \times 20} = 175 \quad (10)$$

$$T_i = 2 \times L = 2 \times 20 = 40 \quad (11)$$

$$T_d = 0,5 \times L = 0,5 \times 20 = 10 \quad (12)$$

Pengujian penalaan *Ziegler Nichols* dilakukan dengan mengujikan nilai  $K_p$ ,  $T_i$ , dan  $T_d$  hasil perhitungan yaitu  $K_p = 175$ ;  $T_i = 40$ ; dan  $T_d = 10$ . Gambar 11 menunjukkan respon sistem pengujian penalaan PID *Ziegler Nichols*.

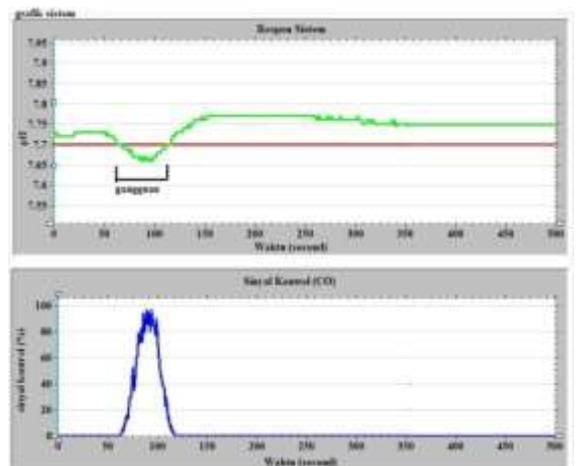


Gambar 11 Respon sistem kendali PID pada setting point 8.

Gambar 11 menunjukkan respon sistem kendali PID dengan keadaan awal nilai pH 7,4 dengan *setting point* 8. Berdasarkan gambar 4.7 waktu yang dibutuhkan untuk mencapai *setting point* 8 membutuhkan waktu naik (*rise time*) 127 detik dan memiliki *error steady* 3%.

#### 4.2.3 Pengujian Kendali PID dengan Gangguan

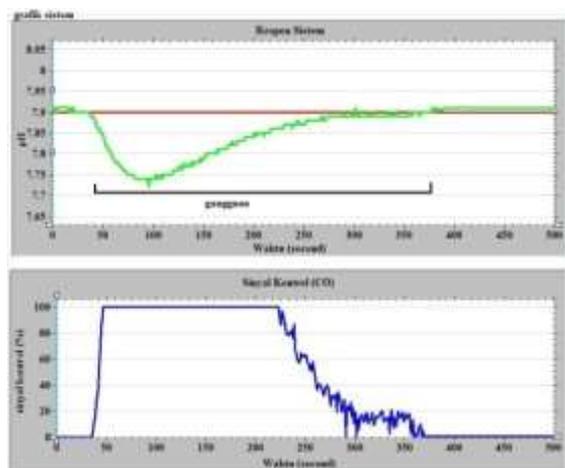
Daya tahan sistem terhadap gangguan dan kecepatan respon sistem untuk kembali ke referensi sebelum gangguan, dapat diketahui dengan melakukan pengujian dengan memberikan gangguan berupa cairan asam pada sistem yang telah mencapai kestabilan pada suatu nilai referensi. Hasil pengujian respon sistem ditunjukkan pada Gambar 12, gambar 13, dan gambar 14.



Gambar 12 Respon sistem kendali PID dengan gangguan larutan asam bernilai 5,40.

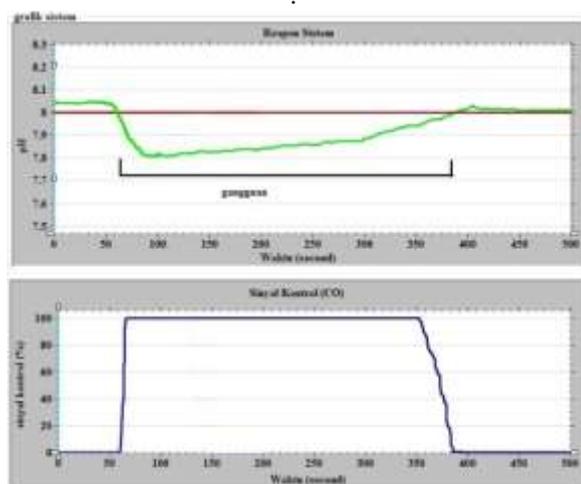
Pada respon sistem PID dengan gangguan ditambahkan larutan asam bernilai 5,40 4,51 dan 3,80 sebagai gangguannya. Berdasarkan Gambar 12 respon PID dengan gangguan 5,03 gangguan terjadi pada detik ke 69

hingga detik ke 112 dengan penurunan nilai pH sebesar 0,04, namun setelah detik ke 112 nilai pH kembali mengikuti *setting point* dengan *error steady* sebesar 5%. Hasil pengujian dengan gangguan 4,51 ditunjukkan pada Gambar 13.



Gambar 13 Respon sistem kendali PID dengan gangguan larutan asam bernilai 4,51

Untuk Gambar 13 respon PID dengan gangguan 4,51, gangguan terjadi pada detik ke 38 hingga detik ke 290 dengan penurunan nilai pH sebesar 0,16, namun setelah detik ke 290 nilai pH kembali mengikuti *setting point* dengan *error steady* sebesar 1%. Hasil pengujian untuk gangguan asam sebesar 3,80 ditunjukkan pada Gambar 4.10.



Gambar 14 Respon sistem kendali PID dengan gangguan larutan asam bernilai 3,90.

Tabel 4 Hasil percobaan dengan gangguan.

Gangguan Asam	Setting point pH	pH akhir	Error steady	Parameter PID
5,40	7,7	7,75	5%	Kp = 175, Ti =
4,51	7,9	7,91	1%	
3,80	8,02	8,02	2%	

3,80	8	8,02	2%	40, Td = 10
------	---	------	----	-------------

Gambar 14 respon PID dengan gangguan 3,80, gangguan terjadi pada detik ke 62 hingga detik ke 372 dengan penurunan nilai pH sebesar 0,19, namun setelah detik ke 372 nilai pH kembali mengikuti *setting point* dengan *error steady* sebesar 2%.

Tabel 4 merupakan hasil respon PID dengan gangguan 5,40, 4,51, dan 3,80 menunjukkan bahwa dengan nilai Kp = 175, Ti = 40, dan Td = 10 didapatkan *error steady* 5% untuk nilai gangguan 5,40, *error steady* 1% untuk gangguan 4,51, dan *error steady* 2% untuk nilai gangguan 3,80.

Hasil dari respon sistem PID dengan gangguan dapat kita ketahui bahwa semakin kecil nilai gangguan maka semakin besar *error* dan semakin besar waktu yang dibutuhkan untuk mencapai nilai *setting point* dan *error steady* yang terjadi pada ketiga gangguan yang telah dilakukan tidak lebih dari 5%.

## 5. Penutup

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pengujian dan analisis yang dilakukan pada sistem pengendalian pH air, didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil pengukuran tegangan *output pH controller* untuk setiap kenaikan nilai pH terdapat selisih sehingga digunakan persamaan *linear* untuk pendekatan nilai pH sebenarnya yaitu  $x = 0,03668 y - 3,45$  yang akan digunakan sebagai *sub rutin* pembacaan ADC.
2. Pada pengujian respon sistem PID kalang terbuka dengan eksperimen *bump test* untuk  $\Delta CO$  30 % dari  $CO_{awal}$  sebesar 0%, *plant* pengendalian pH air termasuk model FOPDT dengan nilai L = 20 detik, T = 71 detik, dan K = 0,0243 pH/%
3. Respon sistem PID pada *setting point* tetap 8 dari keadaan awal 7,4; respon sistem telah menuju ke titik kestabilan untuk nilai parameter PID Kp= 175, Ti= 40, dan Td= 10 dengan *error steady state* masing-masing sebesar 3% dan waktu naik (*rise time*) 127 detik.
4. Respon sistem PID dengan gangguan menggunakan larutan asam bernilai 3,80, 4,51, dan 5,40 sudah dapat mencapai keadaan kestabilan untuk nilai parameter PID Kp=175, Ti=40, dan Td= 10 dengan masing-masing memiliki *error steady state* sebesar 5%, 1%, dan 2%.
5. Hasil dari respon sistem PID dengan gangguan dapat kita ketahui bahwa semakin kecil nilai gangguan maka semakin besar *error* dan semakin besar waktu yang dibutuhkan untuk mencapai nilai *setting point* dan *error steady* yang terjadi pada ketiga gangguan yang telah dilakukan tidak lebih dari 5%.

## 5.2 Saran

Untuk pengembangan sistem lebih lanjut, maka dapat diberikan saran-saran sebagai berikut:

1. Untuk memperoleh respon sistem yang lebih baik lagi, maka dapat dicoba dengan menggunakan sensor yang memiliki keakuratan dan stabilitas yang cukup baik.
2. Perlu diperhatikan kandungan basa air kapur sebagai penambah karena jika air kapur memiliki sifat basa kuat akan susah dikendalikan pH air tersebut.
3. Pengendalian pH air dengan metode PID ini dapat dikembangkan lagi dengan menggunakan metode lain seperti *fuzzy* dan *gain scheduling*.

## Daftar Pustaka

- [1]. Asror, Mustaghfiri, skripsi : Pengendalian pH dalam Bejana *Defecator* pada Proses Pemurnian Nira (gula) dengan Kontrol *Proporsional-Integral*, Teknik Elektro, Universitas Diponegoro, Semarang.
- [2]. Gunterus, Frans, *Falsafah Dasar: Sistem Pengendalian Proses*, PT Elex Media Komputindo, Jakarta, 1997.
- [3]. Lazuardi, M, skripsi: *Aplikasi mikrokontroler AT89S51 sebagai kontroler Proporsional pada pengaturan PH*, Teknik Elektro, Universitas Diponegoro, Semarang.
- [4]. Niti, Mustofa, skripsi: *Daya Dukung Lingkungan Perairan Tambak Desa Mororejo Kabupaten Kendal*, Perikanan, Universitas Diponegoro, Semarang.
- [5]. Malvino. "*Prinsip – Prinsip Elektronika*". Jakarta : Erlangga, 1996.
- [6]. Ogata, Katsuhiko, *Teknik Kontrol Automatik Jilid 1*, diterjemahkan oleh Edi Leksono, Erlangga, Jakarta, 1994.
- [7]. Ogata, Katsuhiko, *Teknik Kontrol Automatik Jilid 2*, diterjemahkan oleh Edi Leksono, Erlangga, Jakarta, 1994.
- [8]. Setiawan, Iwan, *Kontrol PID untuk Proses Industri*, PT. Elex Media Komputindo, Jakarta, 2008.
- [9] Wardhana L, *Belajar Sendiri Mikrokontroler AVR Seri ATmega8535 Simulasi, Hardware, dan Aplikasi*, Penerbit Andi, Yogyakarta, 2006.
- [10] Welander, Peter, "Understanding Derivative in PID Control", *Control Engineering*, 2, 24-27, 2010.
- [11] Widodo Thomas, L, *Elektronika Dasar*, Salemba Teknika, Jakarta, 2002.
- [12] -----, *ATmega8535 Data Sheet*, <http://www.atmel.com>.
- [13] -----, <http://suwargana.multiply.com> /journal/item/. January 2008