

PENGENDALIAN pH AIR PADA WATER TREATMENT PLANT SYSTEM MENGUNAKAN METODE KONTROL PID

Catur Ardy Bayu Pamungkas^{*)}, Aris Triwiyatno, and Budi Setiyono

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Diponegoro Semarang
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)}E-mail: caturardybayu@gmail.com

Abstrak

Air limbah adalah cairan buangan dari rumah tangga, industri, maupun tempat-tempat umum lainnya yang mengandung bahan-bahan yang dapat membahayakan kehidupan manusia serta mengganggu kelestarian lingkungan. Oleh karena itu, diperlukan suatu alat untuk mengolah air dari kualitas air yang kurang bagus (limbah) agar mendapatkan kualitas air pengolahan standart yang di inginkan, salah satunya adalah menggunakan water treatment plant. Untuk mendapatkan kualitas air yang diinginkan pada proses water treatment, maka perlu parameter-parameter yang harus dijaga seperti kekeruhan, conductivity, pH, alkalinitas, kesadahan, dan tingkat kejernihan. Pada penelitian ini telah dilakukan rancang bangun sistem monitoring kadar pH pada pengolahan limbah cair rumah tangga berbasis mikrokontroler. Monitoring ini digunakan untuk mengetahui seberapa besar kadar pH yang ada pada tangki pH dengan menggunakan sensor gelas kaca (PE-03) dan menampilkannya pada LCD (Liquid Crystal Display) pengendalian dilakukan melalui metode PID Ziegler Nichols I. Dari hasil pengujian didapatkan bahwa kontrol PID dapat diaplikasikan dengan baik untuk mengontrol kadar pH cairan dengan menggunakan metode penalaan Ziegler Nichols. Dengan metode penalaan tersebut didapatkan parameter kontrol PID yaitu $K_p = 16,09$; $T_i = 32$; dan $T_d = 8$. Pada pengujian dengan penalaan parameter PID mampu menghasilkan tanggapan keluaran dengan rise time dan waktu penetapan yang cepat tanpa overshoot dan ketika sistem diberi gangguan, tanggapan keluaran akan tetap terjaga dalam kestabilan.

Kata kunci: Kontrol PID, Kontrol pH air, Sensor pH.

Abstract

Wastewater treatment is the liquid waste from households, industry, and other public places that contain ingredients that could endanger human life and interfere with environmental sustainability. Therefore, we need a means to treat water from the lack of good quality water (waste) water quality treatment in order to obtain the desired standard, one of which is using a water treatment plant. To get the desired water quality at water treatment process, it is necessary parameters should be kept as turbidity, conductivity, pH, alkalinity, hardness, and a level of clarity. In this final design, it has been developed the pH monitoring system for wastewater treatment based on microcontroller. Monitoring system is used to determine the pH levels that exist in the tanki by using glass electrode sensor (PE-03), to display the result on LCD(Liquid Crystal Display) and to control the PID Ziegler Nichols I method. From the experiment result, we can get a conclusion that the PID control systems can applied properly to control pH of fluid plant using the Ziegler Nichols tuning method. The results on tuning of PID control parameters are $K_p = 16,09$; $T_i = 32$; and $T_d = 8$. At the testing of plant, got the result of tuning parameter PID capable to yield output response with rise time and steady time which quickly without overshoot, and when system given by disturbance, the output response will remain to be awaked in stability.

Key words: PID control, pH control, pH sensor.

1. Pendahuluan

Kesulitan untuk mendapat air bersih merupakan salah satu masalah yang perlu mendapat perhatian yang seksama. Karena untuk mendapatkan air yang bersih, sesuai standard tertentu, saat ini menjadi barang yang mahal karena air sudah banyak tercemar oleh berbagai macam

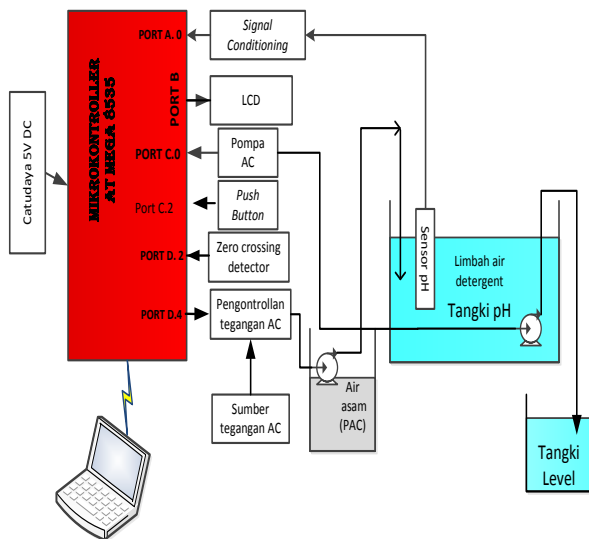
limbah dari hasil kegiatan manusia, baik limbah dari kegiatan rumah tangga, limbah dari kegiatan industri, dan kegiatan lainnya. Dan ketergantungan manusia terhadap air pun semakin bertambah seiring dengan perkembangan penduduk yang semakin meningkat. Oleh karena itu, diperlukan suatu alat untuk mengolah air dari kualitas air yang kurang bagus (limbah) agar mendapatkan kualitas

air pengolahan standart yang di inginkan, salah satunya adalah menggunakan *water treatment plant*. Untuk mendapatkan kualitas air yang diinginkan pada proses *water treatment*, maka perlu parameter-parameter yang harus dijaga seperti kekeruhan, *conductivity*, pH, alkalinitas, kesadahan, dan tingkat kejernihan. Pentingnya beberapa parameter yang harus dijaga, maka dilakukan pengaturan salah satu dari parameter tersebut yaitu pengaturan pH secara otomatis. Untuk itu maka perlu dibuat sebuah alat pengendalian yang berfungsi mempertahankan pH. Stabilitas nilai pH air normal yang memenuhi syarat untuk suatu kehidupan memiliki pH netral dengan kisaran nilai 6,5 – 7,5. Kendali pH merupakan kendali jenis yang tidak linear, sehingga untuk mengatasinya juga diperlukan kendali jenis *nonlinear* namun kendali *nonlinear* merupakan sistem kendali yang kompleks dan agak rumit serta lebih mahal. Sehingga pada penelitian ini digunakan kendali linear yang mampu untuk mengatasi karakteristik *nonlinear* pH.

2. Metode

2.1. Perancangan Perangkat Keras (*Hardware*)

Blok rancangan perangkat keras sistem pengaturan pH air limbah sabun *detergent* pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1. Perancangan perangkat keras meliputi mikrokontroler sebagai pengendali, wadah penampung, sensor pH, *push button* sebagai unit masukan, rangkaian *zero cross detector* dan *triac* sebagai pengaturan tegangan *input* pompa AC, pompa AC sebagai penggerak (*actuator*) dan LCD sebagai perancangan *display*.

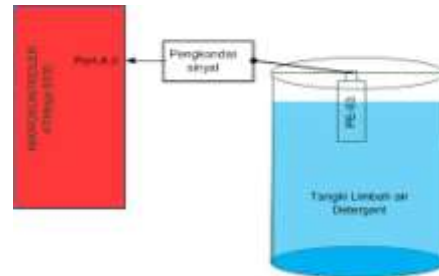


Gambar 1 Blok diagram perancangan *Hardware*

2.1.1. Perancangan Sensor Keasaman (PE03)

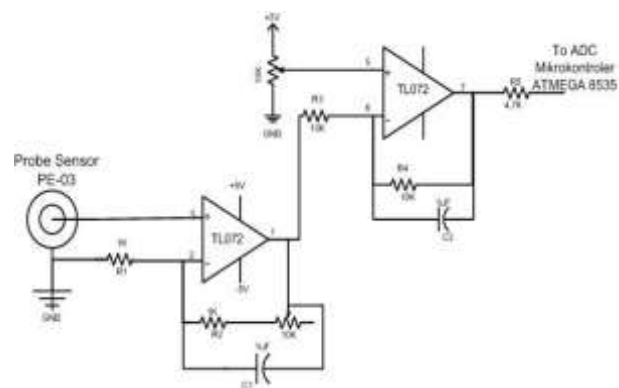
Sensor yang digunakan pada penelitian ini adalah sensor pH buatan Lutron *type* PE-03. Sensor PE-03 ini mampu mendeteksi tingkat keasaman dari 0 – 14 pH. Sensor pH

ini hanya memerlukan 1 buah pin pada mikrokontroler dan pada penelitian ini diberikan pada Port A.0. Bentuk visual sensor dan alokasi *port* yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Alokasi port Sensor PE-03

Dalam proses pengukuran kadar pH pada proses pencampuran larutan ini diperlukan sebuah pengkondisian sinyal, agar sinyal yang dihasilkan oleh sensor ini dapat terbaca oleh mikrokontroler. *Output* yang dikeluarkan oleh sensor PE-03 ini sangat kecil yaitu 0 mV – 1999 mV. Sehingga pengkondisian sinyal ini sangat dibutuhkan, dalam rangkainya, pengkondisian sinyal atau *signal conditioning* ini menggunakan IC TL072. Rangkaian pengkondisi sinyal diperlihatkan pada Gambar 3.



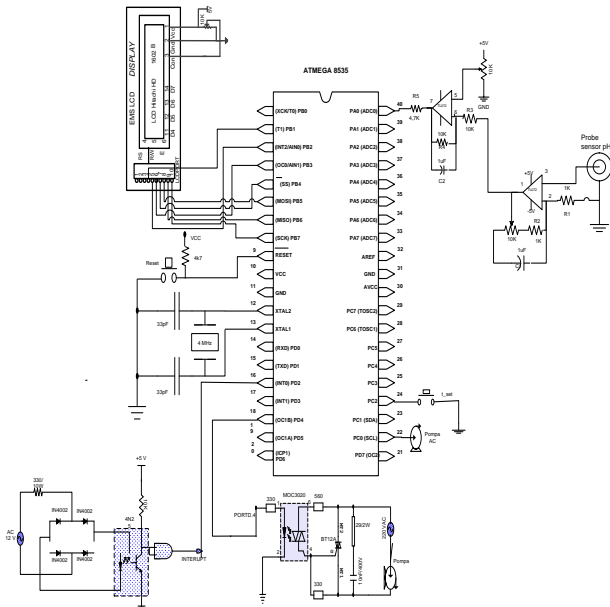
Gambar 3 Rangkaian Pengkondisi Sinyal untuk pH

Rangkaian pengkondisi sinyal untuk sensor pH LUTRON PE-03 yang dirancang pada sistem ini merupakan rangkaian penguat tidak membalik (*non Inverting*), dengan 2 tingkatan yg pertama dari sensor untuk membaca tegangan atau nilai yg di dapat dari air yg diukur. Rangkaian kedua digunakan sebagai pembanding untuk nilai yg didapat dari sensor.

2.1.2. Perancangan Mikrokontroler ATMEGA8535

Sistem mikrokontroler digunakan sebagai unit kendali utama yang didalamnya berisi program untuk mengendalikan proses pengendalian debit aliran pompa, unit masukan, pengendalian tampilan LCD, pembacaan sensor pH PE03, kendali PID dan mengatur aliran data komunikasi *serial* dengan komputer untuk proses

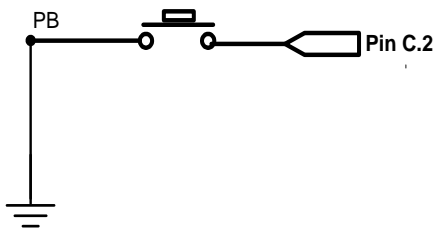
monitoring. Secara umum, alokasi penggunaan port pada rangkaian ATmega8535 dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Alokasi port Mikrokontroler Atmega8535

2.1.3. Perancangan Unit Masukan

Perancangan unit masukan ini menggunakan 1 tombol *push button* yang digunakan sebagai media masukan *offline* untuk mengatur *set point* pH, menjalankan proses pengendalian, dan *standby*. Port C.2 mikrokontroler ATmega8535 dialokasikan untuk mengemudikan *push button* sebagaimana terlihat pada Gambar 5.

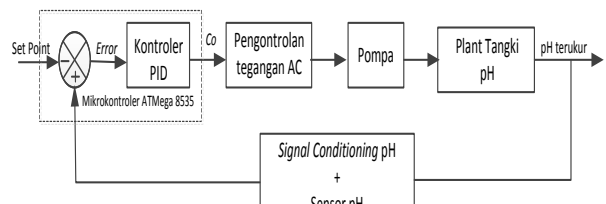


Gambar 5 Alokasi port untuk *push button*.

Jika terjadi penekanan tombol maka mikrokontroler akan membaca kombinasi logika pada pin *port C.2* dan hasilnya akan menyesuaikan dengan program pemindaian pada mikrokontroler. Unit masukan yang digunakan yaitu sebuah *push button*.

2.2. Perancangan Perangkat Lunak (Software)

Kontrol PID diaplikasikan untuk mengontrol pH air. Blok diagram aplikasi pengontrolan secara umum dapat dilihat pada Gambar 6.

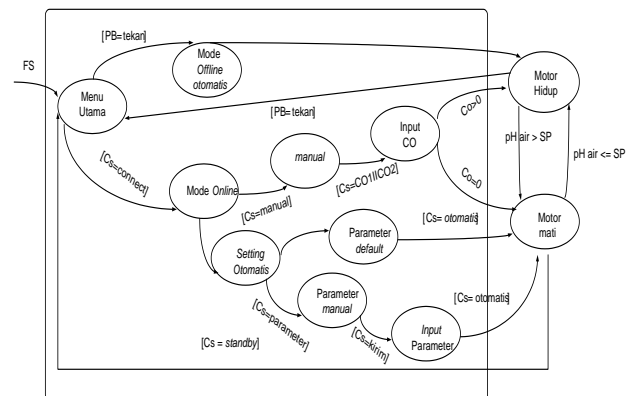


Gambar 6 Diagram blok dasar sistem pengendalian pH air.

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.

2.2.1 Perancangan Program Utama

Program utama ini secara garis besar bertujuan untuk mengatur kerja sistem keseluruhan secara umum dan memanggil fungsi-fungsi tertentu dalam sub rutin yang dibutuhkan selama proses pengendalian pH air. Gambar 7 menunjukkan *statechart* program utama.



Gambar 7 *Statechart* program utama sistem pengendalian pH air.

2.2.2 Program Pengambilan Data ADC Internal

Pengambilan data ADC internal digunakan untuk mengetahui besarnya data sensor pH yang akan diolah menjadi sinyal kendali. ADC internal pada mikrokontroller Atmega8535 terletak pada Port A dengan resolusi 10 bit. Pada perancangan pengendalian pH air ini hanya membutuhkan 1 masukan ADC internal (Port A.0). Untuk menjalankan ADC internal diperlukan pengaturan pada register ADMUX, ADCSRA, dan SFIOR. Tegangan referensi diambil dari AVcc dengan clock sebesar 62,5 kHz dan operasi datanya menggunakan 10 bit. Listing program untuk perhitungan pembacaan nilai pH pada sensor adalah sebagai berikut :

```
void sensor()
{
    float data_adc;
```

```

data_adc=0;
for(i=0;i<255;i++)
{
    data_adc=data_adc+read_adc(0);
}

nilai_adc=data_adc/255;
adc=(nilai_adc*0.0048875885);
ph=((adc*4)-5.813);
}

```

2.2.3 Program Push Button

penelitian ini hanya menggunakan satu *push button* yang berfungsi memindahkan *state* dari *state standby* menuju *state offline* otomatis dan begitu juga sebaliknya. Berikut sub rutin programnya :

```

if (PB == 0)
{
    state = otomatis; delay_ms(500);
}
break;
if (PB == 0)
{
    state = standby; delay_ms(500);
}
break;

```

Push button baru akan memindahkan *state* ke *offline* otomatis saat *push button* ditekan lalu dilepas saat pertama kali, dan saat kali berikutnya *push button* ini ditekan lalu dilepas lagi *state* akan berpindah menuju *state standby* kembali.

2.2.4. Program Zero Crossing Detector dan Sinyal Pemicuan Triac

Potongan senarai program di bawah merupakan sub rutin pada *external interrupt timer 0*, *out_triac* diinisialisasikan sebagai *port D.4*. Keluaran dari *zero crossing detector* terhubung dengan *external interrupt timer 0* pada *port D.2*. Ketika rangkaian *zero crossing detector* mendeteksi adanya tegangan AC melewati titik nol maka *interrupt timer 0* akan aktif dan digunakan untuk mematikan pompa, maka ketika pertama kali terjadi interupsi *port D.4* diberi logika *low*.

```

interrupt [EXT_INT0] void
ext_int0_isr(void)
{
    out_triac=0;
    // pic_triac= ; // hitung
pic_triac (nilai saat overflow)
    TCNT0 = 255-tunda+1;
    //start timer 0
    TCCR0=TCCR0|0x04; //0b00000100;
//clock 4M/256 =15625 hz,TCCR0=0x04
}

```

Sub rutin *interrupt overflow timer 0* aktif ketika terjadi *overflow* dan digunakan untuk menghidupkan pompa, yaitu dengan memberikan nilai logika *high* untuk *port D.4* dan nilai *TCCR0 = 0x00* agar *timer 0* dimatikan. Sub rutin *interrupt overflow timer 0* adalah sebagai berikut.

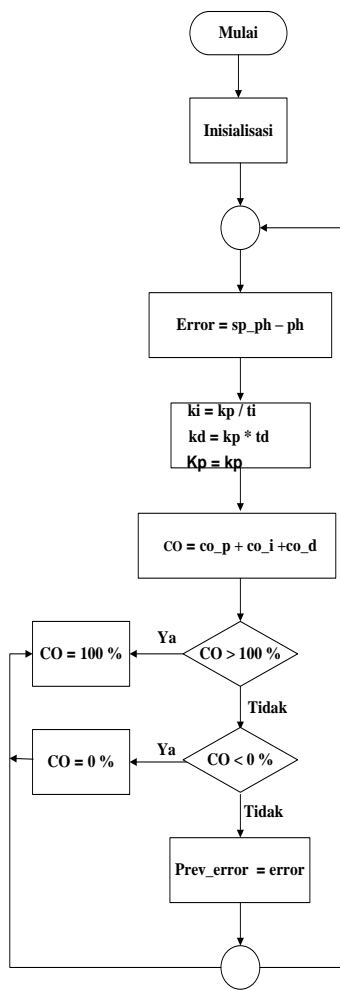
```

interrupt [TIM0_OVF] void
timer0_ovf_isr(void)
{
    //stop timer 0
    TCCR0=TCCR0&0b11111011;
//TCCR0=0x00
    out_triac=1;
}

```

2.2.5. Program Pengendali PID

Kendali PID untuk mendapatkan nilai pH air yang diinginkan. Nilai konstanta *Kp*, *Ti*, dan *Td* diperoleh dari hasil uji eksperimen *bump test* dengan *tuning* PID menggunakan metode *Ziegler-Nichols*. Hasil uji eksperimen *bump test* didapatkan nilai parameter *L* (keterlambatan transportasi proses), *T* (konstanta waktu), dan *K* (*gain* statis proses). Gambar 8 adalah diagram alir proses pengendalian dengan menggunakan algoritma kendali PID digital. Perhitungan dengan algoritma PID dimulai dengan menghitung *error* antara *setpoint* pH dengan nilai pH sebenarnya. *Error* digunakan sebagai masukan pada kendali PID. Sinyal kendali yang dikirimkan ke pengatur tegangan AC berasal dari keluaran kendali PID.



Gambar 8 Diagram alir perhitungan pengendali PID

3. Hasil dan Analisa

3.1. Pengujian Perangkat Keras (Hardware)

Pengujian perangkat keras dilakukan untuk mengetahui apakah perangkat keras yang telah dirancang dapat bekerja dan berfungsi dengan baik sebagaimana yang diinginkan.

3.1.1. Pengujian Sensor pH dengan Rangkaian *Signal Conditioning*

Sensor pH dengan rangkaian *signal conditioning* digunakan sebagai pengukur nilai pH dengan cara melaksanakan kalibrasi dengan 3 jenis larutan yang dikenal dengan larutan buffer yaitu dengan nilai pH 4,01, pH 7,01, dan pH 10,01. Cara pengukuran nilai pH dan tegangan keluaran sensor pH adalah dengan cara menghubungkan konektor sensor dengan input rangkaian *signal conditioning*, selanjutnya *output* dari rangkaian masuk ke adc mikrokontroler. Hasil Kalibrasi pH dapat ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Hasil pembacaan sensor

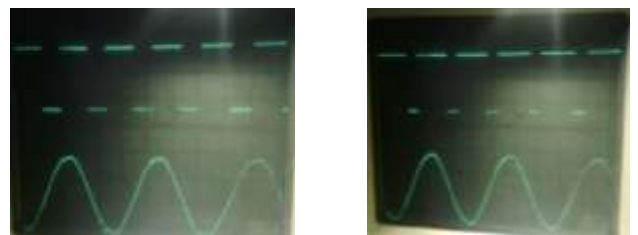
pH buffer	Hasil Pembacaan	Tegangan keluaran
4,01	3,99	2,45 V
7,01	6,98	3,20 V
10,01	10,03	3,96 V

3.1.2. Pengujian Rangkaian Kendali Tegangan AC.

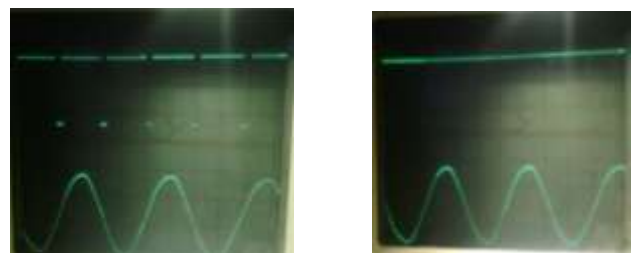
Pengamatan dilakukan dengan osiloskop terhadap gelombang picu dari mikrokontroler dan keluaran pengendali tegangan AC yang diberikan ke beban berdasarkan pengaturan sinyal kontrol. Hasil pengujiannya adalah :



Gambar 9 Bentuk gelombang untuk sinyal kontrol 0% dan 20%.



Gambar 10 Bentuk gelombang untuk sinyal kontrol 40% dan 60%.



Gambar 11 Bentuk gelombang untuk sinyal kontrol 80% dan 100%.

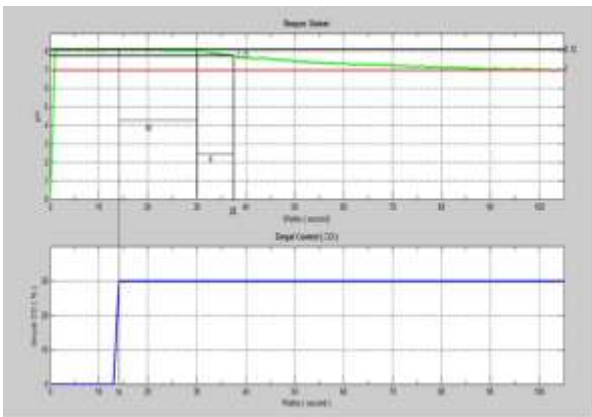
Dari gambar diatas gelombang tegangan pada beban yang diuji, dapat diketahui bahwa semakin besar sinyal kontrol yang diberikan ke pemucuan (TCNT0), maka bagian dari tegangan AC yang diberikan ke beban untuk tiap fasenya (fase positif dan fase negatif) akan semakin besar, yang berarti bahwa tegangan listrik yang diberikan ke beban akan semakin besar.

3.2 Pengujian Perangkat Lunak (Software)

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.

3.2.1. Pengujian Kalang Terbuka (*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 12 Tanggapan keluaran 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 16 detik dan gain statis proses (K) yang dimiliki model FOPDT didapatkan dari perhitungan berikut:

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

$$K = \frac{8,12 - 7,00}{30 - 0} = 0,0373(ph / \%)$$

Nilai T ditentukan dari 63% ΔPV yang didapatkan dari perhitungan berikut:

$$63\% \Delta PV = 7,00 + (63\% (8,12 - 7,00))$$

$$= 7,00 + 0,71$$

$$= 7,71$$

Nilai T pada pH 7,71 = 38 detik, sehingga pada saat 63% ΔPV , nilai T = 38 - 30 = 8 detik. Berdasarkan pengujian bump test dapat diketahui bahwa proses pada sistem adalah reverse, sehingga dapat diperoleh persamaan matematis fungsi alih sistem.

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

$$H(s) = \frac{-0,0373}{8s + 1} e^{-16s}$$

3.2.2. Pengujian Parameter PID dengan Penalaan *Ziegler Nichols*

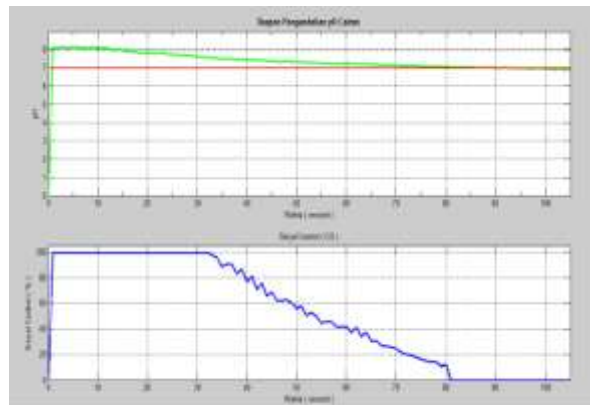
Respon sistem pada pengujian kalang terbuka menunjukkan *plant* sistem pengendalian pH air termasuk model FOPDT, penalaan *Ziegler Nichols* dapat dilakukan pada K_p , T_i , dan T_d . Nilai K_p , T_i , dan T_d pada model FOPDT dapat dihitung dengan penalaan empiris *Ziegler Nichols* pertama sebagai berikut:

$$K_p = \frac{1,2 \times T}{K \times L} = \frac{1,2 \times 8}{0,0373 \times 16} = 16,1$$

$$T_i = 2 \times L = 2 \times 16 = 32$$

$$T_d = 0,5 \times L = 0,5 \times 16 = 8$$

Pengujian penalaan *Ziegler Nichols* dilakukan dengan mengujikan nilai K_p , T_i , dan T_d hasil perhitungan yaitu $K_p = 16,1$, $T_i = 32$, dan $T_d = 21,5$ pada *set point* nilai pH 7. Gambar 10 menunjukkan respon sistem pengujian penalaan *Ziegler Nichols* I.



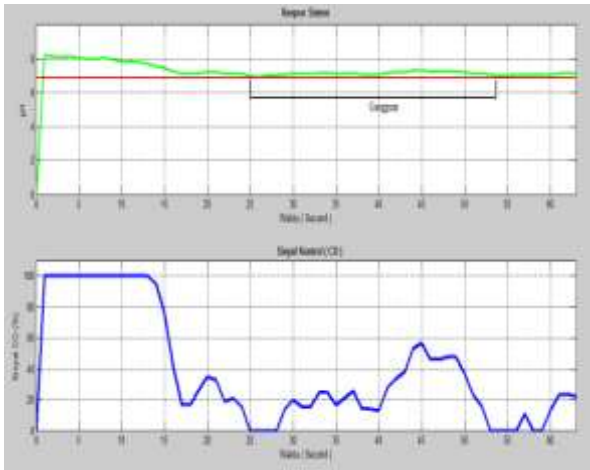
Gambar 13 Respon sistem kendali PID pada *set point* 7

Gambar 13 menunjukkan pengujian respon sistem pengendalian pH air pada perubahan *set point* turun atau semakin kecil dengan lama pengujian 105 sekon. Pada awalnya sistem diberi *set point* nilai pH 7 dari nilai pH awal 8,12. Waktu naik (T_r) yang diperlukan untuk mencapai *set point* tersebut adalah 39 detik dan waktu penetapan (T_s) 87 detik tanpa *overshoot* dengan osilasi kecil.

3.2.3 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 basa pada sistem yang telah mencapai kestabilan pada suatu nilai referensi. Hasil pengujian respon sistem ditunjukkan pada Gambar 14.



Gambar 14 Respon sistem kendali PID terhadap gangguan

Gambar 14 respon PID terhadap gangguan, gangguan terjadi pada detik ke 25 hingga detik ke 54 pada set point nilai pH 7. Pada gangguan sesaat, terjadi kenaikan nilai pH sebesar 0,2 dari keadaan steadynya, namun sistem tetap stabil dan berupaya menyesuaikan respon pada keadaan steadynya.

4. Kesimpulan

Pada pengujian kalang terbuka dengan eksperimen *bump test* untuk $\Delta CO = 30\%$ dari CO awal 0%, *plant* sistem pengendalian pH air limbah termasuk model FOPDT dengan nilai $L = 16$ detik, $T = 8$ detik, dan $K = 0,0373$ pH/ %. Penalaan kontrol PID pada sistem pengendalian pH air limbah dengan metode *Ziegler Nichols* pertama didapatkan parameter PID, $K_p = 16,09$; $T_i = 32$; dan $T_d = 8$. Dengan parameter tersebut respon sistem kontrol PID mampu mencapai *setting point*. Pada nilai pH awal 8,12 dan *setting point* nilai pH 7, kontrol PID dengan penalaan *Ziegler Nichols* pertama memiliki $T_r = 39$ detik dan $T_s = 87$ detik tanpa *overshoot*. Pada pengujian respon sistem terhadap gangguan sesaat pada *setting point* nilai pH 7 selama 63 detik, sistem mampu merespon dengan waktu pemulihan relatif cepat dan berupaya untuk menyesuaikan respon pada keadaan *steady*nya walaupun terjadi osilasi di atas *setting point* nya dengan nilai pH 0.2.

Saran untuk Untuk memperoleh respon sistem yang lebih baik lagi, maka dapat dicoba dengan menggunakan sensor yang memiliki keakuratan dan stabilitas yang cukup baik dan *transmitter* buatan pabrik. Pengendalian pH air dengan metode PID ini dapat dikembangkan lagi dengan menggunakan metode lain seperti *fuzzy*.

Referensi

- [1]. Sunaryo, Trie M. dkk., *Pengelolaan Sumber Daya Air*, Bayu Media. Malang, 2005.
- [2]. Kurnia, Deddy, *Aplikasi Plasma Untuk Meningkatkan Kualitas Air Minum pada Reaktor Bahan Stainless Steel*, Skripsi S-1, Teknik Elektro, Universitas Andalas, Padang, 2011.
- [3]. ---, *Water Treatment Plant untuk Air Bersih*, <http://rondy-partner.blogspot.com>, November 2009.
- [4]. ---, *Parameter Kualitas Air*, <http://daimoto-watertreatment.blogspot.com>, Mei 2011.
- [5]. ---, *Indikasi Pencemaran Air*, <http://www.rubiyah.com>, April 2008.
- [6]. Asror, Mustaghfiri, *Pengendalian pH dalam Bejana Defecator pada Proses Pemurnian Nira (gula) dengan Kontrol Proporsional-Integral*, Skripsi S-1 Teknik Elektro, Universitas Diponegoro, Semarang, 2011.
- [7]. Setiawan, Iwan., *Kontrol PID untuk Proses Industri*, PT. Elex Media Komputindo, Jakarta, 2008.
- [8]. Welander, Peter, "Understanding Derivative in PID Control", *Control Engineering*, 2, 24-27, 2010.
- [9]. Ogata, Katsuhiko, *Teknik Kontrol Automatik Jilid 1*, diterjemahkan oleh Edi Leksono, Erlangga, Jakarta, 1994.
- [10]. Ogata, Katsuhiko, *Teknik Kontrol Automatik Jilid 2*, diterjemahkan oleh Edi Leksono, Erlangga, Jakarta, 1994.
- [11]. ---, *Teori asam basa*, <http://id.shvoong.com/exact-sciences/1884244>, April 2011
- [12]. <http://suwargana.multiply.com/journal/item/16>
- [13]. Gross, Erin M., Kelly, Richard S., Cannon Jr, Donald M., "Analytical Electrochemistry: Potentiometry", 2008.
- [14]. Heryanto, M. Ary, Adi, Wisnu, *Pemograman Bahasa C untuk Mikrokontroler ATMEGA8535*, Penerbit Andi, Yogyakarta, 2008.
- [15]. Rasyid, Muhammad H, *Elektronika Daya*, PT. Prenhallindo, Jakarta, 1999.
- [16]. Kristianto, Andrian, *Pengendalian pH Air dengan Menggunakan Metode PID pada Model Tambak Udang*, Skripsi S-1, Teknik Elektro, Universitas Diponegoro, Semarang, 2012.
- [17]. ---, *Liquid Crystal Display Module M1632 : User Manual*, Seiko Instrument Inc., Japan, 1987.
- [18]. ---, *pH Meter with Microcontroller*, <http://www.geraicerdas.com>, November 2012.
- [19]. Setiawan, Iwan, *Perancangan Sistem Embedded Berbasis Statechart: Studi Kasus Pada Line Follower Mobile Robot*, <http://iwan.blog.undip.ac.id>, Juni 2009.
- [20]. ---, *ATmega8535 Data Sheet*, <http://www.atmel.com>.