

# PENGENDALIAN LEVEL AIR PADA PLAN TANGKI PENAMPUNGAN SISTEM PENGOLAHAN AIR LIMBAH MENGGUNAKAN METODE KONTROL PI

Ditya Satriya Nugroho Hadi<sup>\*)</sup>, Aris Triwiyatno, and Budi Setiyono

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

<sup>\*)</sup>E-mail: *ditya.satriya.n.h@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 system. Untuk membangun suatu water treatment system diperlukan beberapa tangki penampungan yang salah satu diantaranya perlu dijaga level airnya. Pada penelitian ini telah dilakukan rancang bangun sistem pengontrolan level air pada tangki penampungan water treatment sistem berbasis mikrokontroler. Pengontrolan ini digunakan untuk mengetahui seberapa tinggi level air yang ada pada tangki penampungan dan mengontrol level air pada ketinggian tertentu dengan menggunakan sensor jarak (Ping) dan pompa penghisap sebagai aktuatornya serta menampilkannya pada LCD (Liquid Crystal Display). Pengendalian dilakukan melalui metode PI Ziegler Nichols I. Dari hasil pengujian didapatkan bahwa kontrol PI dapat diaplikasikan dengan baik untuk mengontrol level air dengan menggunakan metode penalaan Ziegler Nichols. Dengan metode penalaan tersebut didapatkan parameter kontrol PI yaitu  $K_p = 16,1$  dan  $T_i = 13,2$ . Pada pengujian dengan penalaan parameter PI 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 PI, Kontrol level air, Sensor Ping, Water treatment System*

## Abstract

Waste water is the liquid waste from households, industry, and other public places which contain ingredients that can endanger human life and interfere with environmental sustainability. Therefore, it is necessary a tool to manipulate the water from the water quality which is less good (waste) water quality processing in order to obtain the desired standards, one of which is using water treatment system. To build a water treatment system needed some tanks that shelter one of which needs to be taken care of its water level. At the end of this Task has been carried out the control system architecture of water level in tank water treatment shelter microcontroller-based systems. This control is used to find out how high the water level in the tank water level and control shelter at a certain height by using the proximity sensor (Ping) and suction pumps as actuator and display it on the LCD (Liquid Crystal Display). Control is done through the methods of PI Ziegler Nichols I. From the test results that can be obtained by PI control is applied properly to control the water level by using the method of tuning the Ziegler Nichols. With the obtained parameters tuning method of control PI the  $K_p = 16,1$  and  $T_i = 13,2$ . On tuning PI parameters with testing is capable of generating a response with output rise time and the time of the assignment quickly without overshoot and when the system was given the disruption, the output response will be maintained in both.

*Keywords: PI Control, level control of water, Ping Sensor, Water treatment System*

## 1. Pendahuluan

Air tidak dapat dipisahkan dengan kehidupan, tanpa air tidaklah mungkin ada kehidupan. Namun, tidak semua orang dapat berpikir dan bertindak secara bijak dalam

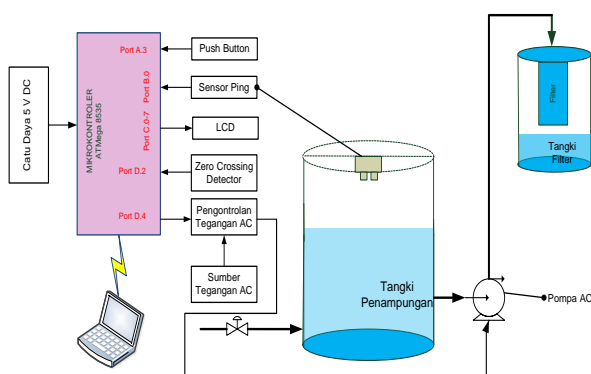
menggunakannya. Kesulitan untuk mendapat air bersih merupakan salah satu masalah yang perlu mendapat perhatian yang seksama. Karena untuk mendapatkan air yang bersih, sesuai standard tertentu, saat ini menjadi barang yang mahal karena air sudah banyak tercemar oleh berbagai macam limbah dari hasil kegiatan 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*. Pada industri-industri seperti *water treatment* ini biasanya dilengkapi oleh tangki penampungan, masalah yang sering timbul adalah ketika level ketinggian cairan dalam tangki penampungan tidak diketahui, sehingga dimungkinkan terjadi keadaan tangki yang meluap atau kosong dikarenakan kurangnya pengawasan terhadap tangki penampungan. Maka dari itu sistem pengendalian ketinggian cairan merupakan salah satu kontrol proses yang sangat diperhatikan. Proses pengontrolan di industri-industri pun banyak digunakan kendali konvensional seperti PI karena kesederhanaan struktur serta kemudahan dalam melakukan *tuning* parameter kontrolnya. Penentuan parameter-parameter yang sesuai agar mendapatkan respon keluaran sistem yang stabil dapat dilakukan dengan metode tuning PI.

## 2. Metode

### 2.1. Perancangan Perangkat Keras (Hardware)

Blok perancangan perangkat keras sistem pengendalian ketinggian level cairan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1. Perancangan perangkat keras meliputi mikrokontroler Atmega8535 sebagai pengendali, wadah penampung, sensor level, rangkaian *zero cross detector* dan *triac* sebagai pengaturan tegangan *input* pompa AC, pompa AC sebagai penggerak (*actuator*), dan LCD sebagai perancangan *display*.

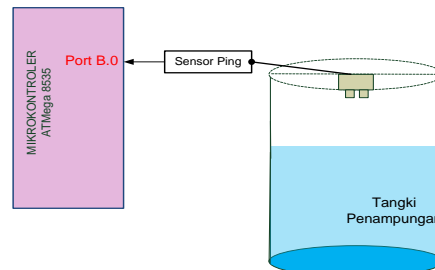


Gambar 1 Blok diagram perancangan Hardware

#### 2.1.1 Perancangan Sensor Level

Sensor yang digunakan pada penelitian ini merupakan sebuah sensor jarak Ping parallax. Sensor Ping memiliki 3 buah terminal, yaitu terminal tegangan catu daya 5 volt, terminal pertanahan, dan terminal sinyal yang dapat

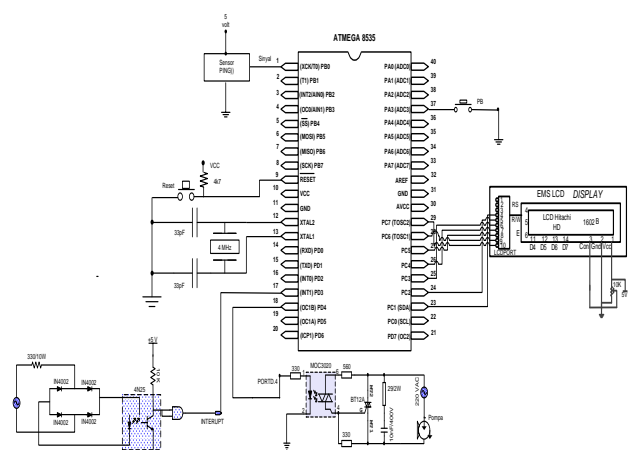
berfungsi sebagai masukan dan keluaran. Sensor Ping ini hanya memerlukan 1 buah pin pada mikrokontroler dan pada penelitian ini diberikan pada Port B.0. Bentuk visual sensor dan alokasi port yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Alokasi port Sensor PING

#### 2.1.2 Sistem Mikrokontroler ATmega 8535

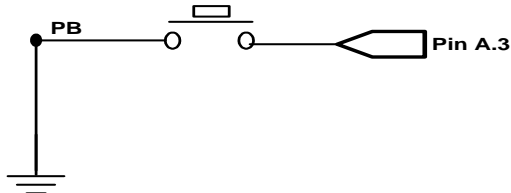
Untuk melakukan aksi kontrol terhadap sistem, maka dilakukan pengalokasian penggunaan port-port yang ada pada mikrokontroler ATmega 8535. Untuk mendeteksi ketinggian air digunakan sensor Ping, dengan menempatkan kaki sinyal *output* pada pin B.0. Port C digunakan sebagai tampilan sistem dengan menempatkan LCD pada pin C.0 – C.7. Port D.2 adalah *input* dari rangkaian *zero crossing detector* yang akan mengaktifkan interupsi *external 0*. Port D.4 pada mikrokontroler berfungsi untuk mengatur besarnya pulsa yang masuk ke *driver* MOC3021, yang kemudian digunakan sebagai sinyal pemicuan untuk mengontrol tegangan AC sebagai tegangan *input* pompa. Sedangkan push button yang digunakan sebagai tombol untuk memindahkan state menggunakan Port A.3. Secara umum, alokasi penggunaan port pada rangkaian Atmega 8535 dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Alokasi port pada sistem minimum mikrokontroler Atmega 8535.

### 2.1.3 Perancangan Unit Masukan

Pada perancangan unit masukan ini menggunakan 1 tombol *push button* yang digunakan untuk memulai pengontrolan level air dan mengembalikan ke posisi *standby*. Port B mikrokontroler ATmega 8535 dialokasikan untuk mengemudikan *push button* sebagaimana terlihat pada Gambar 4.

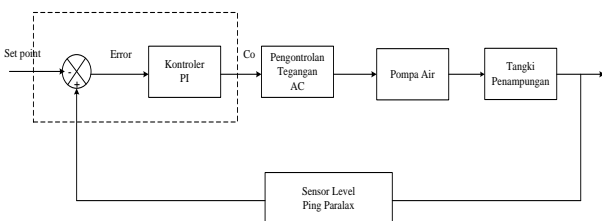


Gambar 4 Alokasi port untuk *push button*.

Jika terjadi penekanan tombol maka mikrokontroler akan membaca kombinasi logika pada pin port A.3 dan hasilnya akan menyesuaikan dengan program pemindaian pada mikrokontroler. Unit masukan yang digunakan yaitu sebuah *push button*.

## 2.2. Perancangan Perangkat Lunak (Software)

Kontrol PI diaplikasikan untuk mengontrol Level air. Blok diagram aplikasi pengontrolan secara umum dapat dilihat pada Gambar 5.

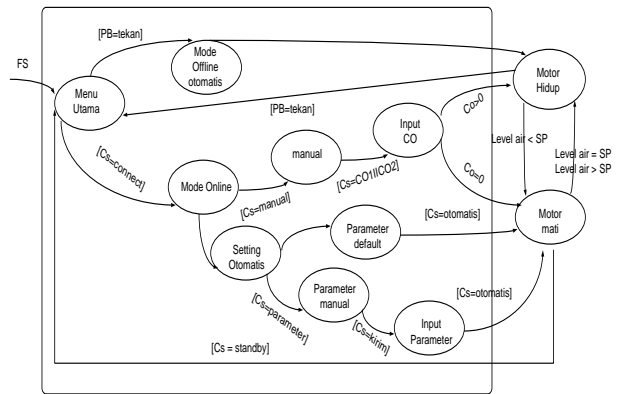


Gambar 5 Diagram blok sistem pengendalian level ketinggian cairan

Masukan dari kontrol PI adalah *error* Level air. *Error* akan diolah oleh algoritma kontrol PI sehingga menghasilkan sinyal kontrol yang diumpankan 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 pengontrolan level. Gambar 6 menunjukkan *statechart* program utama.



Gambar 6 Diagram *state* sistem pengendalian ketinggian level cairan.

### 2.2.2 Pengambilan data sensor Ping

Pengukuran sensor perlu dipicu dengan sinyal *high* selama  $t_{out}$ , kemudian menunggu selama  $t_{HOLDOFF}$  baru sensor memancarkan sinyal ultrasonik dan siap untuk menerima kembali sinyal pantulan.

### 2.2.3 Program Push Button

Pada penelitian ini hanya digunakan sebuah *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 pertamakali, 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
}
    
```

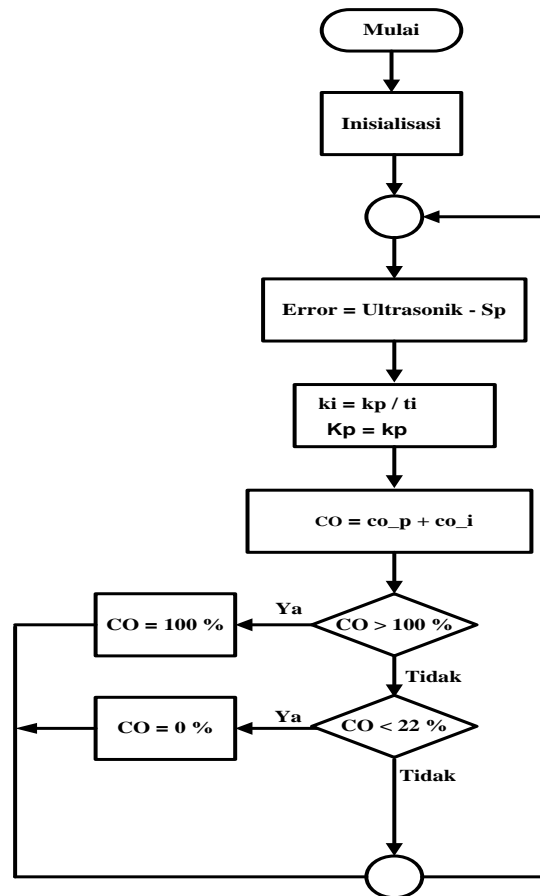
Sub rutin *interrupt overflow timer 0* aktif ketika terjadi *overflow* dan digunakan untuk menghidupkan pompa, yaitu dengan memberikan nilai logika *high* untuk port D.4 dan nilai TCCR0 = 0x00 agar timer 0 dimatikan. Sub rutin *interrupt overflow timer 0* adalah sebagai berikut.

```

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

### 2.2.5 Program Pengendali PI

Pada penelitian ini digunakan kendali PI untuk mendapatkan nilai level air yang diinginkan. Nilai konstanta  $K_p$ , dan  $T_i$  diperoleh dari hasil uji eksperimen *bump test* dengan *tuning* PI menggunakan metode *Ziegler-Nichols*. Hasil uji eksperimen *bump test* didapatkan nilai parameter  $L$  (keterlambatan transportasi proses), dan  $K^*$  (*gain* intergrating proses). Gambar 3.11 adalah diagram alir proses pengendalian dengan menggunakan algoritma kendali PI digital. Perhitungan dengan algoritma PI dimulai dengan menghitung *error* antara *setpoint* dengan nilai *level* sebenarnya. *Error* digunakan sebagai masukan pada kendali PI. Sinyal kendali yang dikirimkan ke pengatur tegangan AC berasal dari keluaran kendali PI.



Gambar 7 Diagram alir perhitungan pengendali PI

## 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 Ping

Pengujian terhadap sensor Ping sebagai sensor level dilakukan dengan memasang sensor ping pada tutup tangki penampungan dan menghadap ke bawah. Pembacaan sensor dibatasi pada level 10 cm – 47 cm. Pada pengujian sensor ini dilakukan dengan membandingkan pembacaan sensor Ping dengan meteran. Data hasil pengukuran yang dilakukan dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 1 Hasil perbandingan level terukur dengan pembacaan sensor Ping.

| No | Level Terukur (cm) | Level Terdeteksi Sensor Ping (cm) | Error |
|----|--------------------|-----------------------------------|-------|
| 1  | 10,25              | 10,00                             | 0.27  |
| 2  | 11,10              | 11,00                             | 0.54  |

|    |       |       |      |
|----|-------|-------|------|
| 3  | 14,30 | 14,00 | 0.38 |
| 4  | 16,25 | 16,00 | 0.22 |
| 5  | 19,30 | 19,00 | 0.48 |
| 6  | 22,40 | 22,00 | 0.32 |
| 7  | 25,40 | 25,00 | 0.59 |
| 8  | 28,40 | 28,00 | 0.43 |
| 9  | 30,20 | 30,00 | 0.91 |
| 10 | 31,10 | 31,00 | 0.11 |

Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa tinggi pembacaan sensor Ping dengan tinggi yang terukur proporsional dan memiliki rata-rata error sebesar 0,27 cm. Jadi kalibrasi pada program untuk sensor Ping sudah bisa dikatakan baik.

**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 8** Bentuk gelombang untuk sinyal kontrol 0% dan 40%.



**Gambar 9** Bentuk gelombang untuk sinyal kontrol 60% dan 100%.

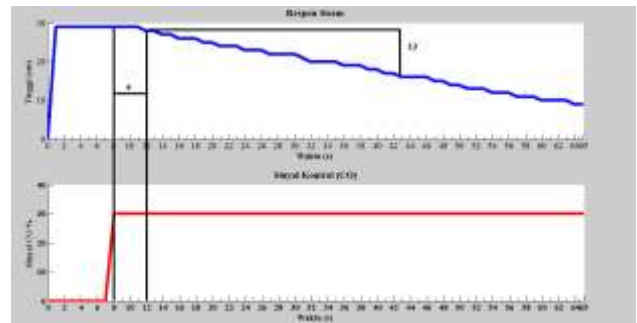
Dari gambar diatas gelombang tegangan pada beban yang diuji, dapat diketahui bahwa semakin besar sinyal kontrol yang diberikan ke pemucuan (TCNT0), maka bagian dari tegangan AC yang diberikan ke beban untuk tiap fasenya (fase positif dan fase negatif) akan semakin besar, yang berarti bahwa tegangan listrik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

**3.2 Pengujian Perangkat Lunak (Software)**

Pengujian perangkat lunak dilakukan untuk mengetahui karakteristik software dalam proses sistem pengendalian ketinggian level air. Pengujian ini terdiri dari pengujian mode manual (kalang terbuka) dan pengujian algoritma kontrol PI melalui pengujian respon sistem.

**3.2.1. Pengujian Kalang Terbuka (Bump Test)**

Karakteristik plant sistem pengendalian level cairan dapat diketahui dengan melakukan pengujian kalang terbuka. Pendekatan model dari plant untuk penalaan parameter kontrol dapat diperoleh dari respon eksperimen bump test pengujian kalang terbuka. Hubungan antara CO (sinyal kontrol) dan PV (deviasi output proses) pada hasil eksperimen bump test pengujian kalang terbuka ditunjukkan pada Gambar 11.



**Gambar 10** Pengujian Bump Test ketinggian 37 cm.

Respon sistem tersebut memperlihatkan pendekatan output model Non-self-regulating dan salah satu model Non-self-regulating yang umum dijumpai di industri adalah model IPDT (Integrating Plus Dead Time). Nilai keterlambatan transportasi (L) respon sistem tersebut sebesar 4 detik dan Gain statis proses (K) yang dimiliki model IPDT didapatkan dari perhitungan berikut:

$$K = \frac{\Delta PV}{\Delta CO} = \frac{PV_1 - PV_0}{CO_1 - CO_0}$$

$$K = \frac{16 - 29}{43 - 12} = \frac{-13}{31} = -0,0139 (cm / \%)$$

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

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

$$H(s) = \frac{-0,0139}{s} e^{-4s}$$

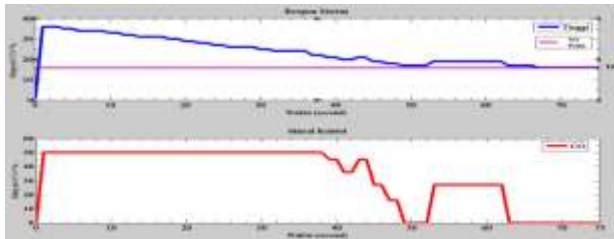
**3.2.2. Pengujian Parameter PI dengan Penalaan Ziegler Nichols**

Respon sistem pada pengujian kalang terbuka menunjukkan plant sistem pengendalian level cairan termasuk model IPDT, penalaan Ziegler Nichols dapat dilakukan pada K<sub>p</sub> dan T<sub>i</sub>. Nilai K<sub>p</sub> dan T<sub>i</sub> pada model IPDT dapat dihitung dengan penalaan empiris Ziegler Nichols pertama sebagai berikut

$$K_p = \frac{0,9}{K \times L} = \frac{0,9}{0,0139 \times 4} = 16,1$$

$$T_i = 3,3 \times L = 3,3 \times 4 = 13,2$$

Pengujian penalaan *Ziegler Nichols* dilakukan dengan mengujikan nilai  $K_p$ , dan  $T_i$  hasil perhitungan yaitu  $K_p = 16,1$ ; dan  $T_i = 13,2$  pada *setting point* 16 cm. Gambar 4.3 menunjukkan respon sistem pengujian penalaan *Ziegler Nichols* 1.

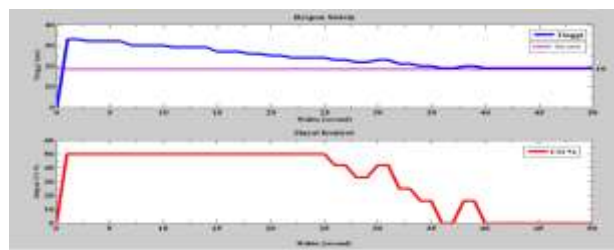


Gambar 11 Respon sistem pengujian penalaan *Ziegler Nichols*.

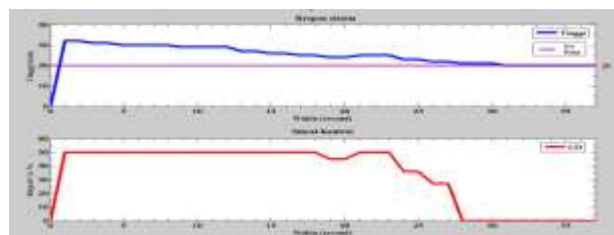
Pada Gambar 11 dapat diketahui bahwa pada pengujian dengan penalaan *Ziegler Nichols* respon telah mencapai *setting point* dan kestabilan. Waktu naik ( $T_r$ ) untuk *setting point* 16 cm dari tinggi awal 36 cm adalah 64 detik, sedangkan waktu penetapan ( $T_s$ ) adalah 68 detik tanpa *overshoot*, dengan osilasi kecil.

### 3.2.3 Pengujian Kontrol PI pada *Setting Point* Tetap

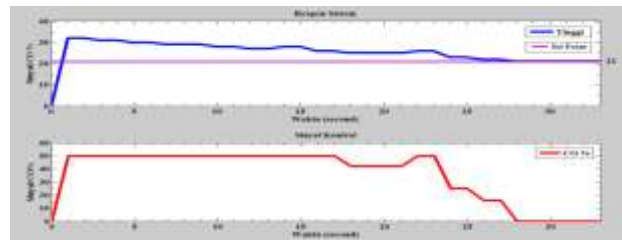
Respon sistem kontrol PI pada *setting point* tetap diuji dengan memberikan variasi nilai *setting point* pada *plant* sistem pengendalian level cairan yaitu pada level 19 cm, 20 cm dan 21 cm. Respon sistem kontrol PI pada *setting point* tetap tersebut ditunjukkan pada Gambar berikut :



Gambar 12 Respon sistem kontrol PI pada *setting point* 19cm



Gambar 13 Respon sistem kontrol PI pada *setting point* 20cm



Gambar 14 Respon sistem kontrol PI pada *setting point* 21cm.

Karakteristik respon sistem pengendalian ketinggian level cairan pada pengujian *setting point* tetap ditunjukkan pada Tabel 2

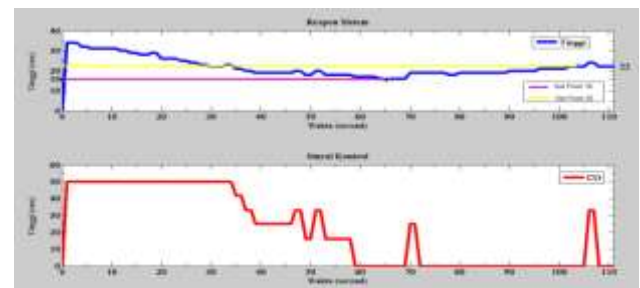
Tabel 2 Karakteristik respon sistem pengendalian level cairan pada *setting point* tetap.

| Tinggi Awal (cm) | Setting Point (cm) | $T_r$ (detik) | $T_s$ (detik) |
|------------------|--------------------|---------------|---------------|
| 32               | 19                 | 38            | 41            |
| 32               | 20                 | 29            | 33            |
| 32               | 21                 | 26            | 29            |

Pada Tabel 2 ditunjukkan bahwa respon sistem dengan *setting point* semakin besar akan mengakibatkan waktu naiknya semakin kecil. Gambar 13, Gambar 14, dan Gambar 15. menunjukkan respon sistem relatif masih stabil untuk mencapai variasi nilai *setting point* dari 19 cm sampai 21 cm tanpa adanya *overshoot* dan osilasi.

### 3.2.4 Pengujian Kontrol PI pada *Setting Point* Naik

Pengujian dengan *setting point* naik ini bertujuan untuk mengetahui kecepatan respon kendali sistem terhadap perubahan kenaikan *setting point*.



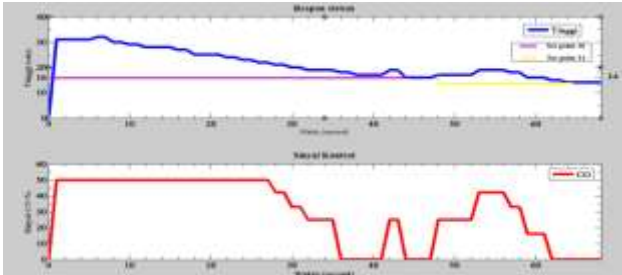
Gambar 15 Respon Sistem pada perubahan *setting point* naik.

Ketika sistem melakukan perubahan *setting point* dari 16 cm menjadi 22 cm waktu naik ( $T_r$ ) yang diperlukan adalah 105 detik dan waktu penetapan ( $T_s$ ) 110 detik, tanpa *overshoot*. Waktu yang diperlukan untuk mencapai *setting point* baru ketika *setting point* naik relatif lama karena debit aliran dari input kecil dan kontinyu.



### 3.2.5 Pengujian Kontrol PI pada Setting Point Turun

Pengujian dengan *setting point* turun ini bertujuan untuk mengetahui kecepatan respon kendali sistem terhadap perubahan penurunan *setting point*.

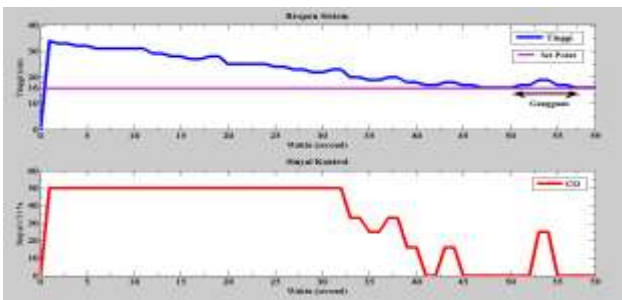


Gambar 16 Respon Sistem pada perubahan *setting point* turun

Ketika sistem melakukan perubahan *setting point* dari 16 cm menjadi 14 cm waktu naik ( $T_r$ ) yang diperlukan untuk mencapai *setting point* baru adalah 63 detik dan waktu penetapan ( $T_s$ ) 65 detik tanpa *overshoot*.

### 3.2.6 Pengujian Kontrol PI terhadap 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 pembukaan input pada sistem yang telah mencapai kestabilan pada suatu nilai referensi.



Gambar 17 Respon sistem kontrol PI terhadap gangguan.

Gambar 18 menunjukkan pada gangguan sesaat, terjadi kenaikan ketinggian sebesar 3 cm dari keadaan *steady*nya, namun sistem tetap stabil dan berupaya untuk menyesuaikan respon pada keadaan *steady*nya, sehingga terjadi osilasi besar di atas nilai *setting point* nya. Setelah itu *input* dinormalkan kembali.

## 4. Kesimpulan

Pada pengujian kalang terbuka dengan eksperimen *bump test* untuk  $\Delta CO = 30\%$  dari CO awal 0%, *plant* sistem pengendalian level ketinggian cairan dengan

pompa penghisap termasuk model IPDT dengan nilai  $L = 4$  detik, dan  $K^* = -0,0139$  cm/ %. Penalaan kontrol PI pada sistem pengendalian ketinggian level cairan dengan metode *Ziegler Nichols* pertama didapatkan parameter PI,  $K_p = 16,1$ ;  $T_i = 13,2$ . Dengan parameter tersebut respon sistem kontrol PID mampu mencapai *setting point* pada jangkauan ketinggian dengan cepat dan stabil. Pada tinggi awal 36 cm dan *setting point* 16 cm, kontrol PI dengan penalaan *Ziegler Nichols* pertama memiliki  $T_r = 64$  detik dan  $T_s = 68$  detik tanpa *overshoot*. Pada pengujian dengan *setting point* tetap dengan tinggi awal sama yaitu 32 cm, sistem mampu menghasilkan respon yang relative stabil untuk semua *setting point* tanpa adanya overshoot. Pada *setting point* 19 cm  $T_r = 38$  detik, *setting point* 20  $T_r = 29$  detik, dan pada *setting point* 21 cm  $T_r = 26$  detik. Pada pengujian dengan *setting point* naik, respon sistem mampu mengikuti kenaikan *setting point* dengan *rise time* relatif lambat karena debit aliran dari input kecil serta kontinyu. Saat mencapai *setting point* pertama 16 cm dari tinggi awal 34 cm,  $T_r$  sebesar 62 detik dan  $T_s$  sebesar 66 detik. Ketika sistem melakukan perubahan *setting point* menjadi 22 cm,  $T_r$  dan  $T_s$  yang diperlukan adalah 105 detik dan 110 detik tanpa *overshoot*. Pada pengujian dengan nilai *setting point* turun, respon sistem mampu mengikuti penurunan *setting point* dengan *rise time* relatif cepat. Saat mencapai *setting point* yang pertama 16 cm dari tinggi awal 31 cm, memiliki  $T_r$  sebesar 42 detik dan  $T_s$  sebesar 45 detik. Ketika sistem melakukan perubahan *setting point* menjadi 14 cm,  $T_r$  dan  $T_s$  yang diperlukan adalah 63 detik dan 65 detik tanpa *overshoot*. Pada pengujian respon sistem terhadap gangguan sesaat pada *setting point* 16 cm selama 60 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 sebesar 3 cm.

saran yang dapat dilakukan untuk pengembangan sistem lebih lanjut agar dapat memperoleh respon sistem yang lebih baik lagi, maka dapat dicoba dengan menggunakan motor/pompa penghisap yang daya hisapnya tidak terlalu jauh dengan kemampuan input mengeluarkan air atau menggunakan metode pengontrolan lain seperti *fuzzy*, *fuzzy* hibrid, *fuzzy* sebagai tuning PI, jaringan syaraf tiruan, algoritma genetik. Untuk komunikasi serial lebih baik menggunakan sistem wireless tidak menggunakan media kabel lagi.

## Referensi

- [1]. Fitriyadi, Eka, *Aplikasi Kontrol PID untuk Pengendalian Suhu Model Sistem Hipertermia Berbasis Sensor Thermopile MILX90247*, Skripsi S-1, Teknik Elektro, Universitas Diponegoro, Semarang, 2011
- [2]. Heryanto, M. Ary, Adi, Wisnu, *Pemograman Bahasa C untuk Mikrokontroler ATMEGA8535*, Penerbit Andi, Yogyakarta, 2008.
- [3]. Indra, Bakhtiar K, *Penerapan Metode Auto Tuning PI Relay Feedback Ziegler-Nichols Pada Pengendalian*

*Level Ketinggian Cairan Menggunakan Mikrokontroller ATmega 8535*, Skripsi S-1, Teknik Elektro, Universitas Diponegoro, Semarang, 2008.

- [4]. Kristianto, Andrian, *Pengendalian pH Air dengan Menggunakan Metode PID pada Model Tambak Udang*, Skripsi S-1, Teknik Elektro, Universitas Diponegoro, Semarang, 2012
- [5]. Kurnia, Deddy, *Aplikasi Plasma Untuk Meningkatkan Kualitas Air Minum pada Reaktor Bahan Stainless Steel*, Skripsi S-1, Teknik Elektro, Universitas Andalas, Padang, 2011.
- [6]. Ogata, Katsuhiko, *Teknik Kontrol Otomatik Jilid 1*, diterjemahkan oleh Edi Leksono, Erlangga, Jakarta, 1994.
- [7]. Ogata, Katsuhiko, *Teknik Kontrol Otomatik Jilid 2*, diterjemahkan oleh Edi Leksono, Erlangga, Jakarta, 1994.
- [8]. Rasyid, Muhammad H, *Elektronika Daya*, PT. Prenhallindo, Jakarta, 1999.
- [9]. Setiawan, Iwan., *Kontrol PID untuk Proses Industri*, PT. Elex Media Komputindo, Jakarta, 2008.
- [10]. Setiawan, Iwan, *Perancangan Sistem Embedded Berbasis Statechart: Studi Kasus Pada Line Follower Mobile Robot*, <http://iwan.blog.undip.ac.id>, Juni 2009
- [11]. Sunaryo, Trie M. dkk., *Pengelolaan Sumber Daya Air*, Bayu Media, Malang, 2005.
- [12]. Steffi, Aldea, *Aplikasi Kontrol PID Untuk Pengendalian Ketinggian Leve; Cairan Dengan Menggunakan TCP/IP*, Skripsi S-1, Teknik Elektro, Universitas Diponegoro, Semarang, 2011
- [13]. Syahadi, Mohamad, *Skripsi : Aplikasi Kontrol Proporsional Integral Berbasis Mikrokontroler Atmega 8535 Untuk Pengaturan Suhu Pada Alat Pengereng Kertas*, Teknik Elektro, Universitas Diponegoro, Semarang
- [14]. ---, *ATmega8535 Data Sheet*, <http://www.atmel.com>.
- [15]. ---, *Liquid Crystal Display Module M1632 : User Manual*, Seiko Instrument Inc., Japan, 1987
- [16]. -----, *PING)))™ Ultrasonic Distance Sensor Data Sheet*, <http://www.parallax.com>.
- [17]. ---, *Water Treatment Plant untuk Air Bersih*, <http://rondy-partner.blogspot.com>, November 2009.