

Makalah Seminar Tugas Akhir

APLIKASI KONTROL PID UNTUK PENGENDALIAN KETINGGIAN LEVEL CAIRAN DENGAN MENGGUNAKAN TCP/IP

Aldea Steffi Maharani¹, Sumardi², Budi Setiyono²

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

Abstract

In the era of globalization developments in the information technology more used in an industrial process. Delivery of data in an industrial process also has experienced growth due to the plant of a very complex system. The number of plant which is controlled in a system requires the presence of central monitoring and control of reliable data transmission in both speed and accuracy of data sent and received. By using TCP / IP, transmission access data more quickly and accurately and have a wide range of data transmission. In these industries, the fluid control system is one that is widely used process control. PID control is widely used as a control in industrial processes because of the simplicity of structure and ease of tuning control parameters.

This final project purpose to make PID control application in a model of fluid control system. The system will control the height of level fluid in accordance setting point given by the operator. This final project using a potentiometer sensor as an indicator to set the level and the servo motor that serves as an actuator, a keypad as input devices, LCD viewer and a computer as a media server as an online control unit and the central monitoring system.

From the experiment result, we can get a conclusion that the PID control systems can applied properly to control height of level fluid plant using the Ziegler Nichols tuning method. The results on tuning of PID control parameters are $K_p = 30.15$; $T_i = 86$; and $T_d = 21.5$. At the testing of plant, got the result of tuning parameter PI 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 : TCP/IP, level control, PID control, sensor potentiometer.

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam era globalisasi saat ini semakin banyak perkembangan dalam dunia teknologi informasi yang digunakan pada suatu proses industri. Pada proses industri, pengiriman data antar suatu sitem sangat dibutuhkan sistem kendali yang baik serta pengiriman data yang cepat dan akurat agar dapat menunjang serta meningkatkan efisiensi dalam proses produksi.

Proses pengiriman data pada suatu proses industri pun telah mengalami perkembangan dikarenakan plant dari suatu sistem yang sangat kompleks. Banyaknya plant yang dikontrol dalam suatu sistem membutuhkan adanya pusat monitoring serta pengendalian yang handal, baik dalam kecepatan pengiriman data maupun keakuratan data yang dikirim dan diterima. Pengiriman data dari mikrokontroller sistem ke interface yang biasanya menggunakan komunikasi serial, saat ini telah mengalami perkembangan dengan menggunakan protokol TCP/IP karena akses pengiriman data yang cepat dan akurat serta mempunyai jangkauan transmisi data yang luas. TCP/IP merupakan suatu model protokol komunikasi data yang dapat memberikan keleluasaan dalam berkomunikasi antara komputer satu dengan komputer lainnya dalam satu jaringan walaupun komputer tersebut menggunakan platform sistem operasi yang berbeda.

Pada industri-industri, sistem pengendalian ketinggian cairan merupakan salah satu kontrol proses yang banyak digunakan. Proses pengontrolan di industri-industri pun banyak digunakan kendali konvensional seperti PID karena kesederhanaan struktur serta kemudahan dalam melakukan *tuning* parameter kontrolnya. Penentuan parameter-parameter yang sesuai agar mendapatkan respon keluaran system yang stabil dapat dilakukan dengan metode tuning PID.

Pada tugas akhir ini, dibuat implementasi dari kontrol PID pada system pengendalian ketinggian level cairan, dimana parameter kontrol PID dapat diberikan berdasarkan masukan *trial error* dari operator maupun dengan tuning PID *Ziegler Nichols* serta komunikasi data yang digunakan adalah TCP/IP.

1.2 Tujuan

Tujuan dari tugas akhir ini adalah membuat perangkat keras dan perangkat lunak untuk mengaplikasikan kontrol PID pada pengendalian ketinggian level cairan dengan menggunakan komunikasi TCP/IP.

II. KAJIAN PUSTAKA

2.1 Model *Self Regulating Process*

Model *self regulating process* pada dasarnya dapat didekati oleh sebuah model matematis FOPDT

1) Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro UNDIP

2) Staf Pengajar Jurusan Teknik Elektro UNDIP

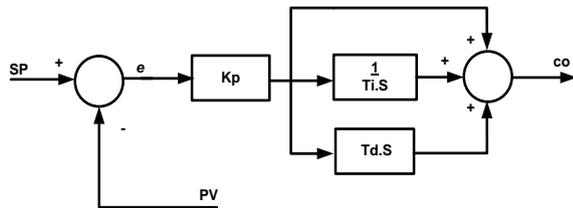
(First Order Plus Dead Time) yang hanya dicirikan oleh tiga buah parameter sebagai berikut:

- *Process transport delay* (delay atau keterlambatan transportasi proses) - L
- *Process time constant* (konstanta waktu proses) - T
- *Process static gain* (penguatan tetap proses) - K

Ketiga parameter yang menggambarkan dinamika proses, secara praktis dapat diperoleh atau diidentifikasi melalui eksperimen sederhana *bump test* atau sinyal tangga secara *open loop* pada mode kontrol manual.

2.2 Kontrol Proporsional, Integral, dan Derivatif (PID)

Kontrol PID merupakan gabungan dari tiga macam metode kontroler, yaitu pengontrol proporsional (*Proportional Controller*), pengontrol integral (*Integral Controller*), dan pengontrol turunan (*Derivative Controller*).



Gambar 2.1 Struktur kontrol PID ideal bentuk *dependent*.

Gambar 2.1 menunjukkan struktur kontrol PID ideal. Struktur kontrol PID ideal merupakan struktur kontrol PID yang umum dijumpai.

Persamaan (2.1) memperlihatkan bentuk umum dari kontrol PID ideal tersebut dalam bentuk kontinyu.

$$CO(t) = K_p \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t).dt + T_d \cdot \frac{de(t)}{dt} \right) \quad (2.1)$$

Secara praktis, struktur kontrol PID pada persamaan (2.1) dikenal juga dengan istilah PID ideal bentuk *dependent*. Istilah tersebut mengacu pada dependensi (ketergantungan) setiap suku persamaan terhadap nilai *gain* proporsional (K_p). Dalam kawasan Laplace, persamaan (2.1) tersebut dapat ditulis:

$$CO(s) = K_p \left[1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right] e(s) \quad (2.2)$$

Dari persamaan (2.2) tersebut dapat diperoleh fungsi alih kontroler PID (dalam domain s) sebagai berikut:

$$G_c(s) = K_p \left[1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right] \quad (2.3)$$

Aksi kontrol PID ideal bentuk *dependent* dalam kawasan sistem diskret dapat dituliskan pada bentuk persamaan (4) sebagai berikut:

$$CO(k) = K_p \cdot e(k) + K_i T_c \cdot \sum_{i=0}^k (e(i)) + K_d \frac{(e(k) - e(k-1))}{T_c} \quad (2.9)$$

Realisasi kontrol PID digital akan ditemukan dalam sistem berbasis mikroprosesor. Sistem kontrol PID digital bekerja dalam basis-basis waktu diskret, sehingga persamaan matematis diskret diperlukan untuk aplikasi kontrol PID ke dalam sistem mikroprosesor.

2.3 Sensor Potensiometer

Potensiometer adalah resistor tiga terminal dengan sambungan geser yang membentuk pembagi tegangan dapat disetel. Pada alat ini yang digunakan adalah potensiometer linier *wire wound*. Potensiometer linier adalah potensiometer yang perubahan tahanannya sangat halus dengan jumlah putaran sampai sepuluh kali putaran (*multi turn*). Untuk keperluan sensor posisi, potensiometer linier memanfaatkan perubahan resistansi.



Gambar 2.2 Sensor Potensiometer.

2.4 Protocol TCP / IP

TCP/IP adalah sekumpulan protokol yang dirancang untuk melakukan fungsi-fungsi komunikasi data pada WAN, terdiri atas sekumpulan protokol yang masing-masing bertanggung-jawab atas bagian-bagian tertentu komunikasi data. TCP/IP bukan hanya protokol yang dijalankan oleh internet, tetapi juga protokol yang digunakan pada jaringan intranet.

TCP menyediakan kehandalan transmisi data antara client dan server apabila data hilang atau diacak, TCP memicu transmisi ulang sampai galat terkoreksi. IP menjalankan paket data dari simpul ke simpul, mengkode alamat dan rute data ke tujuan yang ditunjuk. Lapisan pada TCP/IP diperlihatkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Lapisan pada TCP/IP.

TCP merupakan protokol lapisan transport, menyediakan layanan yang dikenal sebagai

connection oriented, reliable, dan byte stream service. Connection oriented berarti bahwa sebelum melakukan pertukaran data dua aplikasi pengguna TCP harus melakukan pembentukan hubungan (handshake) terlebih dahulu. Reliable berarti TCP menerapkan proses deteksi kesalahan paket dan mentransmisi. Byte stream service berarti paket dikirimkan dan sampai ke tujuan secara berurutan.

2.4 WIZ110SR (Perangkat Pengubah Protokol)

WIZ110SR merupakan sebuah modul gateway yang mampu mengubah protokol RS-232 ke protokol TCP/IP. WIZ110SR dapat menyambungkan hubungan (remote), mengatur dan mengontrol sebuah alat melalui jalur ethernet dan TCP/IP dengan cara menghubungkan perangkat tersebut dengan antarmuka RS-232.

WIZ110SR merupakan pengubah protokol yang mengirimkan data terkirim pada perangkat serial sebagai data TCP/IP dan mengubahnya kembali data yang diterima tersebut melalui jaringan dalam bentuk data serial dan kemudian dikembalikan ke perangkat.

Ketika data diterima dari serial port, data itu dikirim ke W5100 oleh MCU. Jika tidak ada data yang ditransmisikan dari Ethernet, data itu diterima ke internal buffer plant W5100 dan dikirim ke serial port oleh MCU. MCU pada modul mengontrol data berdasarkan konfigurasi nilai yang didefinisikan oleh pengguna.



Gambar 2.4 Modul WIZ110SR.

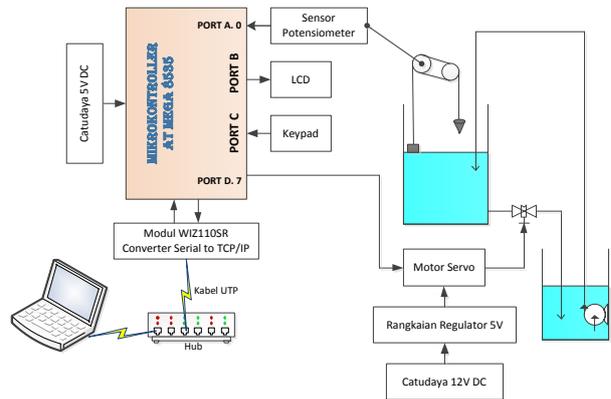


Gambar 2.5 Blok Diagram Board WIZ110SR.

III. PERANCANGAN

3.1 Perancangan Perangkat Keras (Hardware)

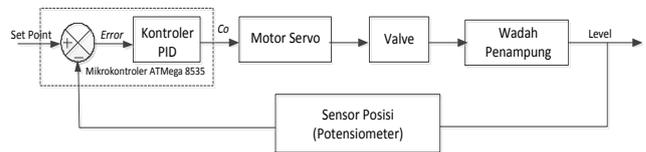
Perancangan perangkat keras sistem hipertermia pada tugas akhir ini dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3.1 Diagram blok perancangan perangkat keras.

3.2 Perancangan Perangkat Lunak

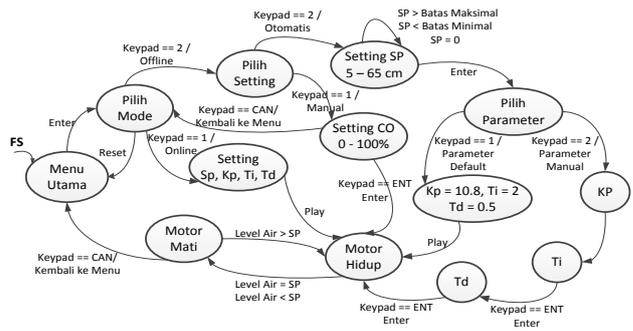
Kontrol PID diaplikasikan untuk mengontrol ketinggian level cairan. Blok diagram aplikasi pengontrolan secara umum dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 3.2 Diagram blok dasar sistem pengendalian level ketinggian cairan.

Masukan dari kontrol PID adalah *error* tinggi cairan. *Error* akan diolah oleh algoritma kontrol PID sehingga menghasilkan sinyal kontrol yang diumpungkan ke valve melalui motor servo.

Statechart program utama diperlihatkan pada Gambar 3.3



Gambar 3.3 Statechart program utama sistem.

IV. PENGUJIAN DAN ANALISIS

4.1 Pengujian Perangkat Keras

4.1.1 Pengujian Sensor Potensiometer

Pengujian terhadap sensor Potensiometer sebagai sensor level dilakukan dengan mengkopel sensor dengan roda, yang terhubung dengan pelampung. Pembacaan sensor dibatasi pada level 5 cm – 65 cm. Pengujian sensor ini dilakukan dengan membandingkan pembacaan sensor Potensiometer dengan meteran. Data hasil pengukuran yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 4.1.

Tabel 4.1 Hasil perbandingan level terukur dengan pembacaan sensor Potensiometer.

No	Level Terukur (cm)	Level Terdeteksi Potensiometer (cm)	Error
1	5	4.73	0.27
2	10	9.46	0.54
3	15	14.62	0.38
4	20	19.78	0.22
5	25	24.52	0.48
6	30	29.68	0.32
7	35	34.41	0.59
8	40	39.57	0.43
9	45	44.09	0.91
10	50	49.89	0.11
11	55	54.19	0.81
12	60	58.92	1.08
13	65	64.09	0.91



Gambar 4.1 Grafik perbandingan pembacaan sensor Potensiometer dengan level terukur.

Dari Tabel 4.1 dan Gambar 4.1 dapat dilihat bahwa tinggi pembacaan sensor potensiometer dengan tinggi yang terukur proporsional dan memiliki rata-rata *error* sebesar 0,5423 cm. Jadi kalibrasi pada program untuk sensor potensiometer sudah bisa dikatakan baik.

4.1.2 Pengujian Parameter PID dengan Penalaan Ziegler Nichols

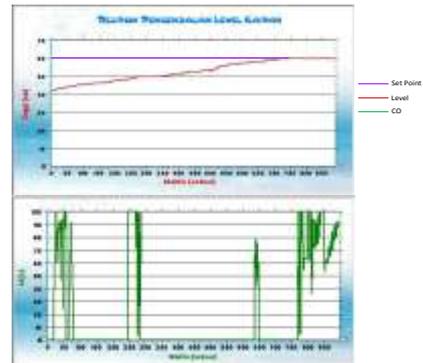
Respon sistem pada pengujian kalang terbuka menunjukkan *plant* sistem pengendalian level cairan termasuk model FOPDT, penalaan Ziegler Nichols dapat dilakukan pada K_p , T_i , dan T_d . Nilai K_p , T_i , dan T_d pada model FOPDT dapat dihitung dengan penalaan empiris Ziegler Nichols pertama sebagai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

$$K_p = \frac{1,2 \times T}{K \times L} = \frac{1,2 \times 5,083}{0,045 \times 43} = 30,15$$

$$T_i = 2 \times L = 2 \times 43 = 86$$

$$T_d = 0,5 \times L = 0,5 \times 43 = 21,5$$

Pengujian penalaan Ziegler Nichols dilakukan dengan mengujikan nilai K_p , T_i , dan T_d hasil perhitungan yaitu $K_p = 30,15$; $T_i = 86$; dan $T_d = 21,5$ pada *setting point* 31 cm. Gambar 4.2 menunjukkan respon sistem pengujian penalaan Ziegler.

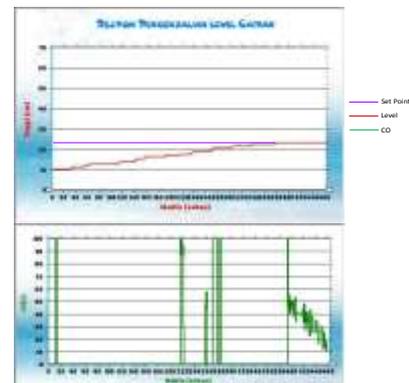


Gambar 4.2 Respon sistem pengujian penalaan Ziegler Nichols.

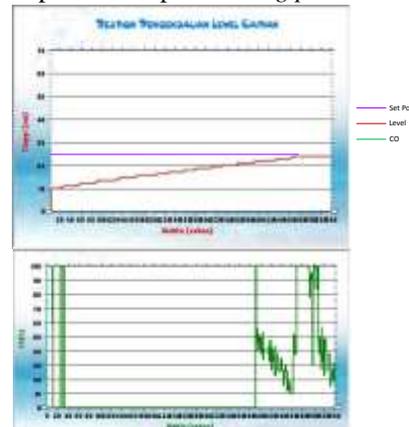
Pada Gambar 4.2 dapat diketahui bahwa pada pengujian dengan penalaan Ziegler Nichols respon telah mencapai *setting point* dan kestabilan. Waktu naik (T_r) untuk *setting point* 60 cm dari tinggi awal 42 cm adalah 675 detik, sedangkan waktu penetapan (T_s) adalah 750 detik.

4.1.3 Pengujian Kontrol PID pada Setting Point Tetap

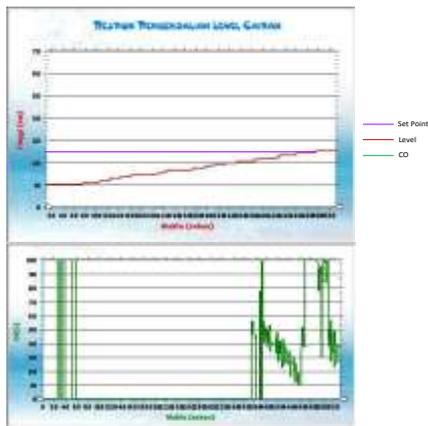
Respon sistem kontrol PID pada *setting point* tetap diuji dengan memberikan variasi nilai *setting point* pada level 23 cm, 24 cm dan 25 cm. Nilai K_p , T_i , dan T_d yang diuji masing-masing sebesar $K_p = 30$; $T_i = 86$; dan $T_d = 21$. Respon sistem kontrol PID pada *setting point* tetap ditunjukkan pada Gambar 4.3, Gambar 4.4, dan Gambar 4.5.



Gambar 4.3 Respon sistem pada *setting point* 23cm.



Gambar 4.4 Respon sistem pada *setting point* 24cm.



Gambar 4.5 Respon sistem kontrol PID pada *setting point* 25cm.

Karakteristik respon sistem pengendalian ketinggian level cairan pada pengujian *setting point* tetap ditunjukkan pada Tabel 4.2.

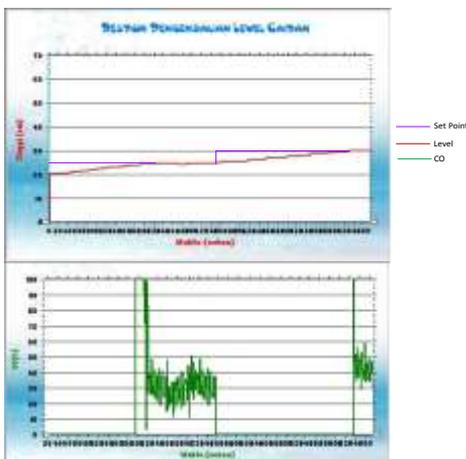
Tabel 4.2 Karakteristik respon sistem pengendalian level cairan pada *setting point* tetap.

Tinggi Awal (cm)	Setting Point (cm)	T_r (detik)	T_s (detik)
10	23	345	380
10	24	442	470
10	25	463	500

Pada Tabel 4.2 ditunjukkan bahwa respon sistem dengan *setting point* semakin besar akan mengakibatkan waktu naiknya semakin besar. Gambar 4.3, Gambar 4.4, dan Gambar 4.5. menunjukkan respon sistem relatif masih stabil untuk mencapai variasi nilai *setting point* dari 23 cm sampai 25 cm tanpa adanya overshoot dan osilasi.

4.1.4 Pengujian Kontrol PID pada *Setting Point* Naik

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



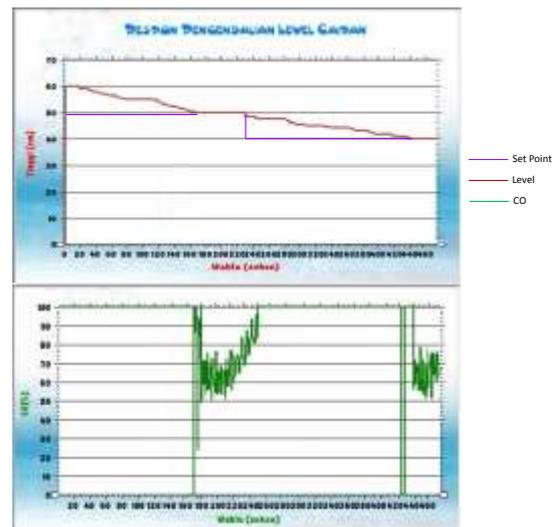
Gambar 4.6 Respon Sistem pada perubahan *setting point* naik.

Gambar 4.6 menunjukkan pengujian respon sistem pengendalian level cairan pada perubahan *setting point* naik atau semakin besar dengan lama pengujian 660 detik. Pada awalnya sistem diberi *setting point* tinggi sebesar 25 cm dengan ketinggian awal 20 cm. Waktu naik (T_r) yang diperlukan untuk mencapai *setting point* tersebut adalah 200 detik. Sistem telah mencapai keadaan *steady* dengan waktu penetapan (T_s) 224 detik.

Ketika sistem melakukan perubahan *setting point* dari 25 cm menjadi 30 cm waktu naik (T_r) yang diperlukan adalah 576 detik dan waktu penetapan (T_s) 630 detik. Waktu yang diperlukan untuk mencapai *setting point* baru ketika *setting point* naik relatif lama karena debit aliran inletnya kecil serta tetap.

4.1.5 Pengujian Kontrol PID pada *Setting Point* Turun

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



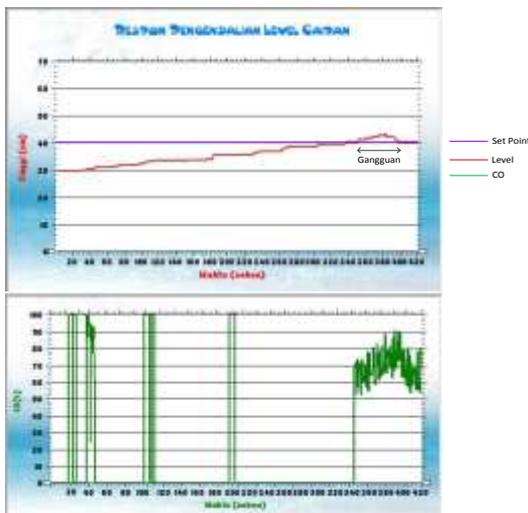
Gambar 4.7 Respon Sistem pada perubahan *setting point* turun.

Gambar 4.7 menunjukkan pengujian respon sistem pengendalian level cairan pada perubahan *setting point* turun atau semakin kecil dengan lama pengujian 480 detik. Pada awalnya sistem diberi *setting point* tinggi sebesar 50 cm dari tinggi awal 60 cm. Waktu naik (T_r) yang diperlukan untuk mencapai *setting point* tersebut adalah 133 detik dan waktu penetapan (T_s) 170 detik.

Ketika sistem melakukan perubahan *setting point* dari 50 cm menjadi 40 cm waktu naik (T_r) yang diperlukan untuk mencapai *setting point* baru adalah 396 detik dan waktu penetapan (T_s) 440 detik.

4.1.6 Pengujian Kontrol PID 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 penuh *valve* input pada sistem yang telah mencapai kestabilan pada suatu nilai referensi. Pemberian gangguan sesaat dilakukan selama 60 detik dengan membuka *valve* inlet sebesar 100% dari posisi *valve* inlet yang sudah ditetapkan, setelah itu *valve* inlet dinormalkan kembali. Gangguan dilakukan pada *setting point* 40 cm dengan ketinggian awal 30 cm. Hasil pengujian respon sistem ditunjukkan pada Gambar 4.9.



Gambar 4.8 Respon sistem kontrol PID terhadap gangguan.

Pada Gambar 4.8 menunjukkan respon sistem terhadap gangguan sesaat berupa bukaan *valve* inlet secara penuh selama 60 detik pada *setting point* 40 cm. Pada gangguan sesaat, terjadi kenaikan ketinggian sebesar 4 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 *valve* inlet dinormalkan kembali.

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pengujian dan analisis yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Pada pengujian kalang terbuka dengan eksperimen *bump test* untuk $\Delta CO = 80\%$ dari CO awal 0%, *plant* sistem pengendalian level ketinggian cairan termasuk model FOPDT dengan nilai $L = 43$ detik, $T = 305$ detik, dan $K = 0,045$ cm/ %.

2. Penalaan kontrol PID pada sistem pengendalian ketinggian level cairan dengan metode *Ziegler Nichols* pertama didapatkan parameter PID, $K_p = 30,15$; $T_i = 86$; dan $T_d = 21,5$. Dengan parameter tersebut respon sistem kontrol PID mampu mencapai *setting point* pada jangkauan ketinggian dengan cepat dan stabil. Pada tinggi awal 42 cm dan *setting point* 60 cm, kontrol PID dengan penalaan *Ziegler Nichols* pertama memiliki $T_r = 675$ detik dan $T_s = 750$ detik tanpa overshoot.
3. Pada pengujian dengan *setting point* tetap dengan tinggi awal sama yaitu 10 cm, sistem mampu menghasilkan respon yang relative stabil untuk semua *setting point* tanpa adanya overshoot. Pada *setting point* 23 cm $T_r = 345$ detik, *setting point* 24 $T_r = 442$ detik, dan pada *setting point* 25 cm $T_r = 463$ detik.
4. Pada pengujian dengan *setting point* naik, respon sistem mampu mengikuti kenaikan *setting point* dengan *rise time* relatif lambat karena debit aliran inletnya kecil serta kontinyu. Saat mencapai *setting point* pertama 25 cm dari tinggi awal 20 cm, T_r sebesar 260 detik dan T_s sebesar 290 detik. Ketika sistem melakukan perubahan *setting point* menjadi 30 cm, T_r dan T_s yang diperlukan adalah 576 detik dan 630 detik tanpa overshoot.
5. 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 60 cm dari tinggi awal 50 cm, memiliki T_r sebesar 133 detik dan T_s sebesar 170 detik. Ketika sistem melakukan perubahan *setting point* menjadi 40 cm, T_r dan T_s yang diperlukan adalah 396 detik dan 440 detik tanpa overshoot.
6. Pada pengujian respon sistem terhadap gangguan sesaat pada *setting point* 40 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 4 cm.

5.2 Saran

Untuk pengembangan sistem lebih lanjut, maka ada beberapa saran yang dapat dilakukan yaitu sebagai berikut:

1. Pengendalian dengan TCP/IP dapat dikembangkan dengan menggunakan modul Wiznet dengan seri yang berbeda, menghubungkan modul dengan access point / router, sehingga memudahkan operator untuk mengendalikan banyak *plant* dalam satu komputer serta *plant* pada system dapat dikendalikan dari jarak jauh melalui jaringan internet.
2. Agar dapat memperoleh respon sistem yang lebih baik lagi, maka dapat dicoba dengan:
 - Menggunakan sensor yang memiliki keakuratan dan stabilitas yang lebih baik misalnya *differential pressure transmitter*, *rotary encoder*.
 - Menambah manipulasi pada sistem pengontrolan, seperti *valve input*, pompa penghisap.
 - Menggunakan metode pengontrolan lain seperti *fuzzy*, *fuzzy* hibrid, *fuzzy* sebagai tuning PID, jaringan syaraf tiruan, algoritma genetik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Andrew, Stevens W. Richard and Bill Fenner, *UNIX Network Programming Volume 1, Third Edition: The Sockets Networking*, Prentice Hall, Upper Saddle River, N.J, 2003.
- [2] Comer, Douglas, *Internetworking with TCP/IP*, Purdue University, Department of Computing Science, West Lafayette, 2005.
- [3] Fitrianto, Dedy, *Prototype Penunjuk Arah Kapal Sebagai Dasar Pemanduan Menggunakan Sensor Compass CMPS03 Via Wireless*, Skripsi S-1, Teknologi Informasi, Politeknik Negeri Jember, Jember, 2010.
- [4] Helder, Rui Antunes and Grilo, Frederico, *Web-Based Control & Notification for Home Automation Alarm Systems*, Setúbal Polytechnic Institute, Department of Electrical Engineering, Portugal, 2008.
- [5] Indra, Bakhtiar K, *Penerapan Metode Auto Tuning PI Relay Feedback Ziegler-Nichols Pada Pengendalian Level Ketinggian Cairan Menggunakan Mikrokontroler ATmega 8535*, Skripsi S-1, Teknik Elektro, Universitas Diponegoro, Semarang, 2008.
- [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] Rashed, Ahmed E. Hassan and Ahmed I, Sharaf, *Model Based System Engineering Approach Of A Lightweight Embedded TCP/IP*, Mansoura University, Department of Computing Science, Egypt, 2011.
- [9] Setiawan, Iwan, *Kontrol PID untuk Proses Industri*, Elex Media Komputindo, Jakarta, 2008.
- [10] Welander, Peter, "Understanding Derivative in PID Control", *Control Engineering*, 2, 24-27, 2010.
- [11] Wibowo Wisnu, *Aplikasi Teknik Kendali Gain Scheduling Pada Sistem Kontrol Valve Untuk Pengendalian Tinggi Muka Cairan Pada Limas Terpancung*, Skripsi S-1, Teknik Elektro, Universitas Diponegoro, Semarang, 2009.
- [12] -----, *ATmega8535 Data Sheet*, <http://www.atmel.com>.
- [13] -----, *Liquid Crystal Display Module M1632 : User Manual*, Seiko Instrument Inc., Japan, 1987.
- [14] -----, *Wirewound Potentiometer Vishay Spectrol Data Sheet*, <http://www.vishay.com/docs/57066/536.pdf>
- [15] -----, *WIZ110SR User's Manual*, <http://www.wiznet.co.kr>
- [16] www.ilmukomputer.com

BIODATA



Aldea Steffi Maharani (L2F607007). Lahir di Semarang, 11 September 1989. Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro 2007, Konsentrasi Kontrol, Universitas Diponegoro.

Menyetujui dan Mengesahkan,

Pembimbing I

Pembimbing II

Sumardi, ST, MT

Budi Setiyono, ST, MT

NIP.196811111994121001

NIP. 197005212000121001

Tanggal.....

Tanggal.....