

# PENGONTROLAN TEKANAN AIR DAN PENGATURAN SISTEM BACKWASH PADA PLANT PENGOLAHAN AIR LIMBAH TEKNIK ELEKTRO UNIVERSITAS DIPONEGORO

Arif Widagdo<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: arifwidagdo90@gmail.com

## Abstrak

Kendali PID (Proporsional Integral Derivatif) merupakan metode kontrol klasik yang sudah lama diaplikasikan di bidang industri. Dalam penerapannya, tiap P, I atau D masing-masing bisa diterapkan terpisah atau digabung P, PI, PD maupun PID secara keseluruhan. Ada banyak plant yang bisa diterapkan, misalnya adalah plant pengolahan air limbah, dimana banyak pengaturan katup yang terdapat pada plant tersebut. Dalam tugas akhir pengontrolan tekanan air dan pengaturan sistem backwash pada plant pengolahan air limbah ini, dilakukan beberapa pengujian yang bertujuan untuk mengetahui respon sistem. Pengujian tersebut dilakukan dengan memvariasikan nilai Kp dengan nilai set poin yang sama dan juga menaikkan set poin dengan nilai Kp terbaik. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan untuk set poin 10kPa, didapatkan nilai Kp terbaik yaitu 50 dengan waktu naik sebesar 4 detik dan waktu tetapan sebesar 37 detik. Sementara ketika set poin di naikkan menjadi 11 kPa, maka didapatkan waktu naik 14 detik dan waktu tetapan sebesar 44 detik.

*Kata kunci : sistem kontrol tekanan, sensor tekanan MPX5100DP, ATmega8535, metode proporsional, motor servo.*

## Abstract

PID control (Proportional Integral Derivative) is a classical control methods that have long been applied in industry. In its application, each P, I or D can be applied separately or combined P, PI, PD or PID. There are many plant which can be applied, for example is the waste water treatment plant, where many of the valves in the plant. In this final project of controlling water pressure and backwash system settings on a waste water treatment plant, do some tests in order to determine the response of the system. The testing is done by varying the value of Kp with the same set of points and also raise the set point with a value of Kp. Based on the testing that has been done to set points 10kPa, Kp best value obtained is 50 with a rise time of 4 seconds and a time constant of 37 sec. Meanwhile, when a set of points in raised it to 11 kPa, then get up time and time constant of 14 seconds and 44 seconds.

*Key words: system pressure control, pressure sensor MPX5100DP, ATmega8535, proportional method, servo motors.*

## 1. Pendahuluan

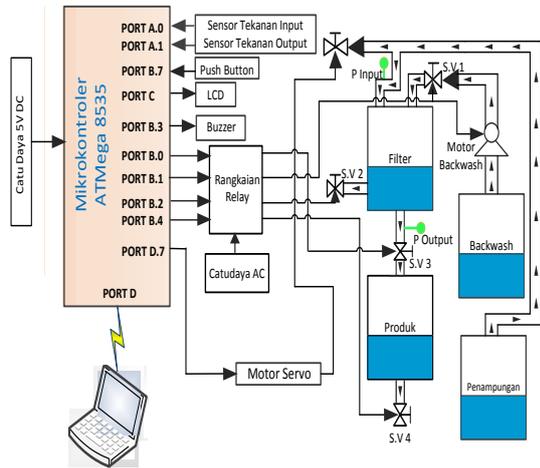
Di dalam industri, sistem kendali merupakan satu hal pokok dalam menjalankan proses tersebut. Dibutuhkan suatu sistem kendali yang baik untuk dapat menunjang sekaligus untuk dapat meningkatkan efisiensi dalam proses<sup>[4]</sup>. Salah satu implementasi dari sistem kendali tersebut adalah pengontrolan tekanan air dan pengaturan sistem *backwash* pada plant pengolahan air limbah. Dalam implementasi tersebut, kontrol tekanan mempunyai peranan penting dalam menjaga stabilitas sistem. Pada sistem ini, kontrol tekanan berfungsi untuk mengatur debit air yang masuk ke dalam tangki penampungan, sebelum akhirnya diolah lebih lanjut lagi. Pada proses ini diperlukan suatu sistem kontrol dan

kontrol proporsional ini dipilih karena fungsinya yang mempercepat respon<sup>[1]</sup>. Ada beberapa penelitian ilmiah yang telah menggunakan kontrol proporsional tersebut, yaitu Anindyaningrum Ayuta, *Sistem Pengontrolan Tekanan Udara Pada Ruang Tertutup*, Skripsi S-1, Teknik Elektro, Universitas Diponegoro, Semarang, 2012 dan Lazuardi, Muhammad, *Aplikasi mikrokontroler AT89S51 sebagai kontroler Proporsional pada pengaturan PH*, Skripsi S-1, Teknik Elektro, Universitas Diponegoro, Semarang, 2011. Metode kontrol proporsional merupakan metode yang paling cocok dan efisien dalam pengontrolan ini. Pada *plant* ini, proses pengaturan tekanan air diperlukan untuk mengatur debit air yang masuk ke dalam filter agar tekanan pada masukan filter tidak besar yang dapat menyebabkan

peluapan air di dalam tangki dan juga menjaga kondisi dari filter untuk tetap mempertahankan kinerja penyaringan secara baik.

## 2. Metode

### 2.1. Perancangan Perangkat Keras



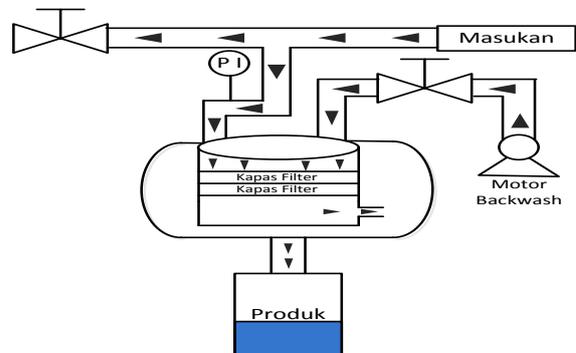
Gambar 1 Rangkaian perancangan perangkat keras

Blok perancangan perangkat keras sistem pengendalian tekanan air pada Tugas Akhir ini dapat dilihat pada Gambar 1. Perancangan perangkat keras meliputi mikrokontroler ATmega8535, filter, sensor tekanan, motor servo, *push button* dan LCD sebagai tampilan. Pada pin A.0 terdapat sensor tekanan masukan, pada port A.1 terdapat sensor tekanan keluaran, lalu pada pin B.7 terdapat *push button* sebagai pemindah *state* proses. Buzzer terdapat pada pin B.3, sementara itu pada pin B.0, B.1, B.2, B.4 terdapat rangkaian relay. Yang terakhir adalah pin D.7, terdapat motor servo. Penjelasan dari masing-masing blok sistem pengendali tekanan air pada Gambar 1 adalah sebagai berikut.

Terdapat dua masukan dalam filter air di atas, yaitu masukan dari tangki penampungan kedua dan masukan dari tangki *backwash*. Terdapat juga dua keluaran dari filter tersebut. Pertama keluaran untuk kembali ke tangki penampungan pertama dan kedua keluaran untuk mengalir ke produk. Sensor tekanan (MPX5100DP) merupakan sensor yang akan mendeteksi tekanan pada masukan filter dan pada keluaran filter. Direpresentasikan sebagai sensor tekanan air. Keluaran sensor ini berupa tegangan analog. *Buzzer* berfungsi sebagai penanda ketika tekanan masukan sudah tidak bisa ditanggulangi oleh aktuator, dan sebagai tanda bahwa proses *backwash* harus dimulai. LCD (*Liquid Crystal Display*) dan *driver* LCD berfungsi sebagai media tampilan selama proses pengendalian berlangsung. *Push button* berfungsi merubah posisi keadaan, dari keadaan *standby* menuju

keadaan *offline* otomatis dan juga sebaliknya dari keadaan *offline* otomatis ke keadaan *standby* dan juga memindahkan ke keadaan *backwash* dan di kembalikan ke keadaan *standby*. Mikrokontroler AVR ATmega8535 yang berfungsi sebagai pusat pengendalian. Pada sistem pengontrolan tekanan udara ini dapat diprogram dengan menggunakan bahasa C tertanam. Rangkaian *relay* untuk memutus dan menyambungkan katup solenoida dan motor *backwash* ke sumber listrik AC. Catu daya 5V berfungsi sebagai suplai mikrokontroler. Keluaran katup berfungsi sebagai aktuator yang terhubung dengan motor servo. Komputer server sebagai unit pengendalian secara *online* serta menampilkan monitoring data berupa grafik dan tabel respon sistem. Grafik dan tabel ini selanjutnya dapat digunakan untuk keperluan analisis. Variabel keluaran dari proses yaitu tekanan air di dalam *plant* yang diukur oleh sensor tekanan (MPX5100DP) menghasilkan sinyal sebagai masukan umpan balik bagi kontroler. Kontroler akan membandingkan sinyal umpan balik dari sensor tekanan dengan masukan *setting point* (tekanan yang diinginkan). Umpan balik tersebut akan menghasilkan kesalahan. Kesalahan merupakan selisih antara *setting point* dengan nilai tekanan yang terbaca oleh sensor. Kesalahan akan diolah sesuai algoritme kontrol proporsional pada mikrokontroler ATmega8535, sehingga menghasilkan sinyal kontrol dengan nilai keluaran berupa posisi motor servo.

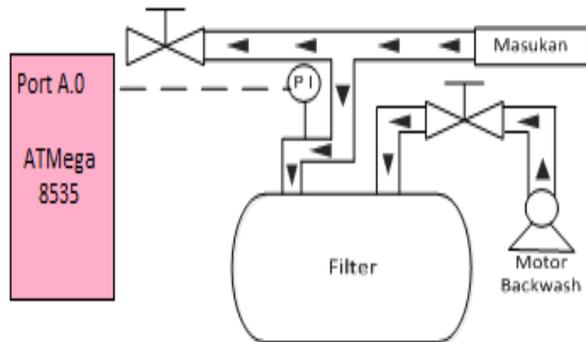
### 2.2. Perancangan Filter



Gambar 2 Perancangan Filter

Filter disini difungsikan untuk menyaring air kotor hasil dari tangki penampungan kedua. Perancangan filter tersebut ditunjukkan pada Gambar 2. Untuk mendapatkan perubahan tekanan air dalam filter diperoleh ketika katup tertutup penuh. Karena air terus mengalir maka filter mulai menyaring air tersebut, agar tekanan air didalam filter tidak terlalu besar yang dapat menyebabkan volume di dalam tangki meluap, maka katup yang terkopel dengan motor servo akan membuka sesuai dengan sinyal yang didapat dari pembacaan sensor tekanan masukan filter. Jika katup sudah tidak bisa menanggulangi tekanan filter masukan yang terbaca oleh sensor, maka hal itu menandakan bahwa filter telah kotor dan proses *backwash* harus segera dimulai.

### 2.3. Perancangan Sensor Tekanan



Gambar 3 Alokasi port sensor tekanan MPX5100DP

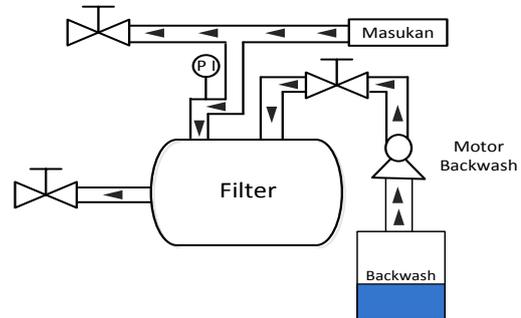
Sensor yang digunakan pada Tugas Akhir ini adalah sensor MPX5100DP yang mampu mendeteksi tekanan sebesar 0 sampai dengan 100 kPa hanya membutuhkan sumber tegangan +5 Volt. Seperti sensor tekanan pada umumnya, sensor tekanan ini akan mengubah tekanan menjadi tegangan. Semakin besar tekanan yang dihasilkan, semakin besar pula tegangan yang dihasilkan. Tegangan yang dihasilkan sensor ini masih berupa tegangan dengan orde mV. Namun, karena sensor ini dilengkapi *chip signal conditioned* maka keluaran dari sensor ini tidak perlu dikuatkan lagi. Tegangan keluaran ini masih berupa analog, sehingga perlu diubah menjadi tegangan digital. Tegangan digital ini yang selanjutnya akan diproses oleh mikrokontroler. Untuk mendapatkan besar tekanan dari sensor maka dapat dihitung dengan menggunakan persamaan pada datasheet berikut:

$$V_{out} = V_s (0,009P + 0,04) \pm Error$$

### 2.4. Perancangan Proses Backwash

Dalam plan ini terdapat satu proses yang dinamakan *backwash*. *Backwash* ini sendiri adalah proses dimana filter yang kotor akan kembali dibersihkan, untuk menjaga agar kondisi filter tetap baik dan tetap dapat menyaring air kotor. Dalam tugas akhir ini, penulis hanya akan membahas tentang prosesnya saja. Prosedur terjadinya *backwash* adalah ketika tekanan masukan sebagai indikator kebersihan dari filter sudah sangat besar sehingga katup yang terkopel dengan motor servo tidak mampu lagi menanggulangi tekanan air yang mengalir terus menerus. Setelah itu *buzzer* sebagai penanda dari proses ini akan berbunyi dan keadaan berpindah ke keadaan *backwash*, proses *backwash* akan berjalan setelah operator menekan *push button* untuk memindahkan state. Proses *backwash* akan berakhir jika air di dalam tabung *backwash* telah habis dan tombol dari *push button* kembali ditekan, hingga akhirnya proses akan kembali lagi ke *stand by*. Air dari bekas pencucian filter akan

menglir kembali ke tangki penampungan pertama, untuk selanjutnya diproses ulang. Perancangan proses ini dapat dilihat di gambar 4



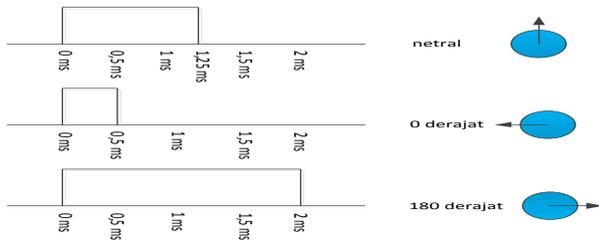
Gambar 4 Perancangan proses backwash

### 2.5. Perancangan Sistem Mikrokontroler ATmega8535

Mikrokontroler ATmega8535 berfungsi sebagai penerima data masukan, melakukan pengontrolan dengan menggunakan algoritme kendali proporsional, dan menghasilkan sinyal keluaran yang kemudian diolah lagi dengan sinyal proses keluaran, sehingga menghasilkan sinyal keluaran yang digunakan untuk melakukan aksi kontrol secara fisik terhadap obyek pengaturan. Untuk melakukan aksi kontrol terhadap sistem, maka dilakukan pengalokasian penggunaan banyak port pada mikrokontroler ATmega8535. Pada perancangan sistem mikrokontroler ATmega8535 ini port, beberapa port yang digunakan diantaranya adalah untuk mendeteksi besar tekanan di dalam *plant* digunakan sensor tekanan MPX5100DP, untuk sensor tekanan pada masukan filter terletak pada pin A.0, sedangkan untuk sensor tekanan keluaran terletak pada pin A.1. Masukan sistem dengan menempatkan *push button* pada pin B.7. Port C digunakan sebagai tampilan sistem dengan menempatkan LCD pada pin C.0 – C.7. Port D digunakan sebagai pengatur bukaan katup dengan menempatkan motor servo pada pin D.7. Pada pin B.3 digunakan oleh *buzzer* yang berfungsi untuk alarm. Pada Gambar 6 menunjukkan alokasi port yang digunakan.



bukaan pada katup maka diperlukan umpan balik terhadap sinyal kontrol yang akan mengendalikan motor servo. Pengaturan motor servo menggunakan pin D.7 pada mikrokontroler. Gambar 8 menunjukkan diagram pewaktuan posisi sudut motor servo saat katup tertutup penuh dan katup terbuka penuh yang digunakan.



Gambar 8 Timing diagram posisi sudut motor servo

### 2.7.6. Program Sub Rutin USART Receiver Interrupt

Sub rutin *USART Receiver Interrupt* digunakan untuk penerima dan memproses data *online*. Ketika terjadi pengiriman data berupa nilai setting point serta parameter-parameter Proporsional dari komputer server, maka akan terjadi interupsi untuk menjalankan proses pengontrolan Proporsional pada program tersebut berdasarkan nilai-nilai yang telah diberikan.

### 2.6.7. Program Kontrol Proporsional

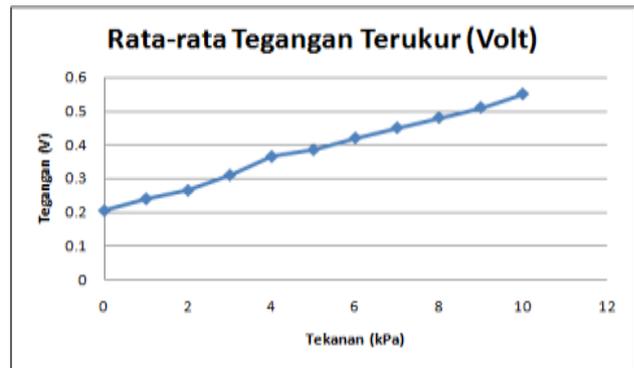
Pada Tugas Akhir ini digunakan metode kontrol proporsional untuk mengendalikan tekanan air pada *plant*. Nilai parameter  $K_p$  sudah dideklarasikan pada fungsi *init\_pid()*, keasalahan digunakan sebagai masukan pada kontrol proporsional. Prosedur kontrol proporsional dipanggil dalam program utama dengan waktu pemanggilan tertentu. Pada Tugas Akhir ini dirancang mempunyai sinyal kontrol (CO) maksimal 100% dan minimal 0%. CO 100% merupakan CO saat katup terbuka penuh, sedang CO 0% merupakan CO saat katup tertutup penuh.

## 3. Hasil dan Analisa

### 3.1. Pengujian Perangkat Keras

#### 3.1.1. Pengujian Sensor Tekanan MPX5100 DP

Pengujian terhadap sensor MPX5100DP dilakukan dengan mengukur tegangan keluaran sensor tekanan. Pembacaan sensor tersebut kemudian dibandingkan dengan grafik pengujian pada *datasheet*. Data hasil pengukuran yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 8 Grafik perbandingan pembacaan sensor MPX5100DP dengan tegangan keluaran secara terukur.

Dari Gambar 4.1 dapat dilihat bahwa tegangan pembacaan sensor MPX5100DP dengan tegangan yang terdapat pada *datasheet* masih ada perbedaan. Grafik tegangan pada pengukuran masih lebih kecil dibandingkan grafik pada *datasheet*. Jadi pada kondisi ini, kesalahan pengukuran dan kalibrasi yang belum sempurna menjadi penyebab perbedaan pada kedua grafik tersebut.

### 3.1.2. Pengujian Proses Backwash

Pada proses *backwash*, untuk menjalankan proses ini tekanan pada masukan filter telah di atur terlebih dahulu. Untuk lebih jelasnya, bisa dilihat di tabel 1. Dari tabel 1. dibawah dapat dilihat bahwa proses *backwash* akan berjalan ketika tekanan masukan di atur lebih dari 17 kPa, maka aksi yang akan dilakukan adalah keadaan akan berpindah ke keadaan *backwash* dan akan memulai proses lagi setelah tombol *push button* di tekan. Sementara jika tekanan masukan masih kurang dari 17 kPa, maka keadaan tidak berpindah dan tetap di keadaan otomatis.

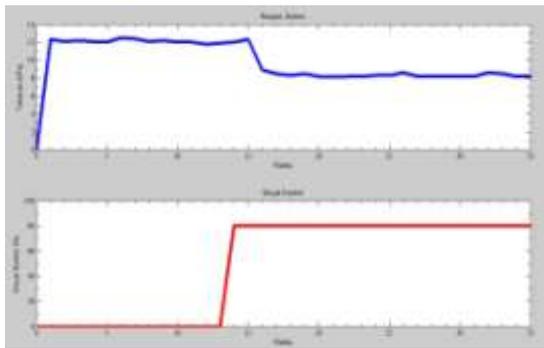
Tabel 1. Pengujian proses *backwash*.

No	Kondisi	Keterangan
1	Tekanan filter masukan > 17 kPa	Keadaan berpindah ke keadaan <i>backwash</i> dan mulai proses setelah <i>push button</i> di tekan
2	Tekanan filter masukan < 17 kPa	Keadaan tetap otomatis

### 3.2. Pengujian Perangkat Lunak

#### 3.2.1. Pengujian Kalang Terbuka

Karakteristik *plant* sistem pengendalian tekanan air dapat diketahui dengan melakukan pengujian kalang terbuka. Pendekatan model dari *plant* untuk penalaan parameter control dapat diperoleh dari respon eksperimen pengujian kalang terbuka. Hubungan antara CO (sinyal kontrol) dan PV (deviasi keluaran proses) pada hasil eksperimen *bump test* pengujian kalang terbuka ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 10 Pengujian *Bump test* bertekanan dengan tekanan awal 12kPa dan  $\Delta CO = 80\%$ .

Dari Gambar 10 dapat diketahui bahwa *plant* sistem pengendalian tekanan air memiliki keluaran (PV) berupa tekanan yang membentuk sistem integrator ketika mencapai keadaan tunak pada PV sekitar 0,1 kPa untuk perubahan tangga sinyal kontrol ( $\Delta CO$ ) sebesar 80% dengan CO awal sebesar 0% dan PV awal sudah mencapai di 12 kPa. Respon sistem tersebut memperlihatkan IPDT (*Integrating Plus Dead Time*).

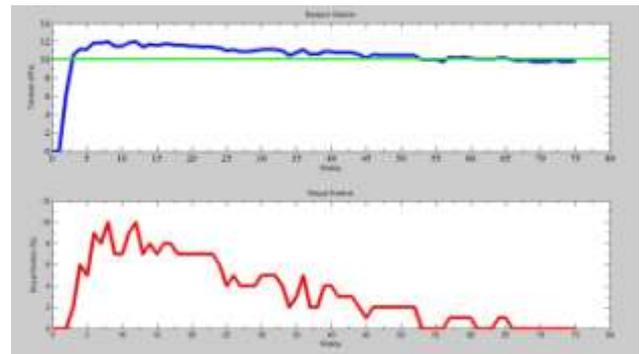
### 3.2.2. Pengujian Kontrol Proporsional pada *Setting Point* Tetap

Respon sistem kontrol proporsional pada *setting point* tetap diuji dengan memberikan variasi nilai parameter  $K_p$ . Parameter nilai  $K_p$  tersebut yaitu 50, 60 dan 70. Nilai *setting point* yang diuji masing-masing sebesar 10 kPa. Respon sistem kontrol proporsional pada *setting point* tetap tersebut ditunjukkan pada Gambar 11, Gambar 12, dan Gambar 13. Karakteristik respon sistem pengendalian tekanan air pada pengujian *setting point* tetap ditunjukkan pada Tabel 2.

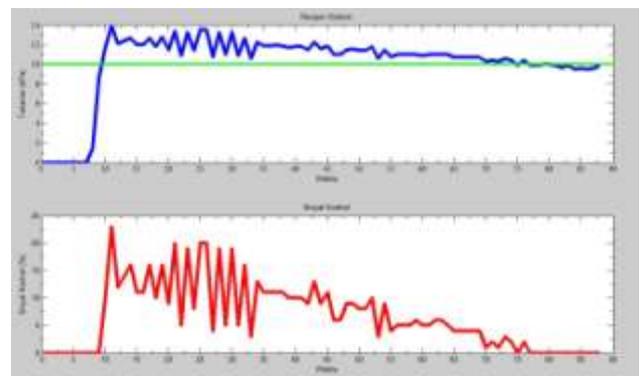
Tabel 2 Karakteristik respon sistem pengendalian tekanan air pada *setpoint* tetap.

Tekanan Awal (kPa)	Setting Point (kPa)	$K_p$	$T_r$ (detik)	$T_s$ (detik)
0	10	50	4	37
0	10	60	10	64
0	10	70	22	76

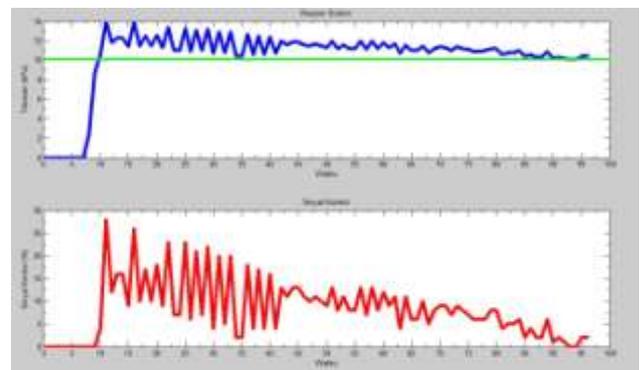
Pada Tabel 3 ditunjukkan bahwa respon sistem dengan *setting point* tetap yaitu 10 kPa menghasilkan nilai  $K_p$  terbaik yaitu 50 karena respon sistem terlihat dari nilai waktu naik sebesar 4 detik, waktu tetapan sebesar 37 detik. Gambar 10, Gambar 11, dan Gambar 12. menunjukkan respon sistem relatif stabil untuk mencapai variasi nilai *setting point* tanpa adanya *overshoot* dan osilasi kecil.



Gambar 11 Respon sistem kontrol proporsional pada  $K_p=50$



Gambar 12 Respon sistem kontrol proporsional pada  $K_p=60$ .

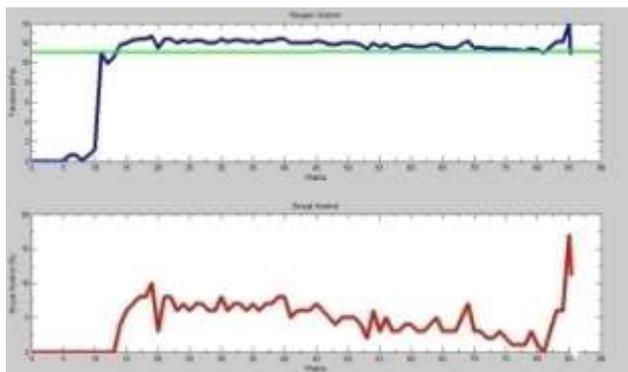


Gambar 13 Respon sistem kontrol proporsional pada  $K_p=70$ .

### 3.2.3. Pengujian Kontrol Proporsional Pada Perubahan Set Point

Pengujian dengan perubahan *setting point* naik ini bertujuan untuk mengetahui respon kendali sistem terhadap perubahan *setting point*. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan nilai parameter  $K_p = 50$ . Gambar 14 menunjukkan pengujian respon sistem pengendalian tekanan air pada perubahan *setting point* semakin besar. Pada percobaan sebelumnya sistem diberi *setting point* sebesar 10 kPa dengan tekanan awal 0 kPa. Waktu naik ( $T_r$ ) yang diperlukan untuk mencapai *setting point*

tersebut adalah 14 detik. Sistem telah mencapai keadaan tunak dengan waktu penetapan ( $T_s$ ) 37 detik. Ketika sistem melakukan perubahan *setting point* menjadi 11 kPa waktu naik ( $T_r$ ) yang diperlukan adalah 52 detik dan waktu penetapan ( $T_s$ ) 55 detik. Waktu yang diperlukan ketika *setting point* naik relatif lebih lama dibandingkan dengan *setting point* 10 kPa dengan  $K_p = 50$ . Hal ini dikarenakan semakin besar *setting point*, semakin sulit untuk katup tersebut dapat menyesuaikan dengan debit air yang mengalir terus menerus.



Gambar 14 Respon sistem pada perubahan *setting point* 11 kPa.

#### 4. Kesimpulan

Hasil pengujian kalang terbuka dengan eksperimen *bump test* untuk  $\Delta CO = 80\%$  dari CO awal 0%, *plant* sistem pengendalian tekanan air termasuk model IPDT dengan nilai  $L = 1$  detik dan  $K^* = -0,07375 (kPa / \%)$ . Pengujian untuk *setting point* tetap sebesar 10 kPa dengan tekanan awal sama yaitu 0 kPa, sistem menghasilkan nilai  $K_p$  terbaik sebesar 50 dengan respon sistem terlihat dari nilai waktu naik sebesar 4 detik, waktu tetapan sebesar 37 detik dibandingkan saat  $K_p = 60$  dengan waktu naik sebesar 10 detik dan waktu tetapan 64 detik dan  $K_p = 70$  dengan waktu naik 12 detik dan waktu tetapan 76 detik. Salah satu pengujian untuk mengetahui kestabilan sistem yaitu dengan pengujian perubahan *setting point*, respon sistem mampu mengikuti perubahan *setting point* dengan waktu naik lebih cepat dibandingkan dengan saat tekanan 10 kPa dengan  $K_p = 50$ . Hal ini dikarenakan semakin besar *setting point*, semakin sulit katup tersebut dapat menyesuaikan dengan debit air yang mengalir terus menerus. Ketika tekanan 1 kPa, rata-rata tegangan terukur adalah 0,205. Nilai ini akan selalu berbanding lurus hingga tekanan 10 kPa, rata-rata tegangan terukurnya adalah 0,55. Tegangan pembacaan sensor MPX5100DP dengan tegangan yang terdapat pada *datasheet* masih ada perbedaan. Grafik tegangan pada pengukuran masih lebih kecil dibandingkan grafik pada *datasheet*. Proses *backwash* akan aktif ketika tekanan masukan di set lebih dari 17 kPa, maka aksi yang akan dilakukan adalah kondisi akan

berpindah ke keadaan *backwash* dan akan memulai proses lagi setelah menekan tombol *push button*. Sementara jika tekanan masukan masih kurang dari 17 kPa, maka keadaan tidak berpindah dan tetap di keadaan otomatis.

Harus memperhatikan proses fisika untuk dapat meminimalkan terjadinya kerusakan alat. Menggunakan material *plant* yang lebih kuat dan *portable* agar lebih praktis dan mudah dibawa kemana-mana. Menggunakan metode pengontrolan yang lebih kompleks agar lebih cepat menstabilkan proses.

#### Referensi

- [1]. Anindyaningrum Ayuta, *Sistem Pengontrolan Tekanan Udara Pada Ruang Tertutup*, Skripsi S-1, Teknik Elektro, Universitas Diponegoro, Semarang, 2012.
- [2]. Budiharto Widodo, *Panduan Praktikum Mikrokontroler AVR ATmega16*, PT Elex Media Komputindo, Jakarta, 2008.
- [3]. Heryanto, M. Ary dan Wisnu Adi P, *Pemrograman Bahasa C Untuk Mikrokontroler ATMEGA8535*, Penerbit Andi, Yogyakarta, 2008.
- [4]. Mukhaitir, A. Shafi, *Skema Gain Scheduling Untuk Pengendalian Suhu Cairan Pada Plant Electric Water Heater*, Skripsi S-1, Teknik Elektro, Universitas Diponegoro, Semarang, 2011.
- [5]. Ogata, Katsuhiko. 1994. *Teknik Kontrol Automatik Jilid 1, terj.* Edi Leksono. Jakarta: Erlangga.
- [6]. Ogata, Katsuhiko. 1994. *Teknik Kontrol Automatik Jilid 2, terj.* Edi Leksono, Jakarta: Erlangga.
- [7]. Seiko Instrument Inc. *Liquid Crystal Display Module M1632: User Manual*. Japan. 1987.
- [8]. Setiawan, Iwan. 2008. *Kontrol PID untuk Proses Industri*. Jakarta: Elex Media Komputindo.
- [9]. Setiawan, Iwan, *Perancangan Sistem Embedded Berbasis Statechart: Studi Kasus Pada Line Follower Mobile Robot*, <http://iwan.blog.undip.ac.id>. Juni 2009.
- [10]. Wardhana L., *Belajar Sendiri Mikrokontroler AVR Seri ATmega8535 Simulasi, Hardware, dan Aplikasi*, Penerbit Andi, Yogyakarta, 2006.
- [11]. *Datasheet ATMEGA8535*, <http://www.atmel.com>.
- [12]. Fungsi Filter Air, <http://bebibluu.blogspot.com/2009/06/fungsi-filter-air.html>
- [13]. *Datasheet MPX5100DP*, <http://www.datasheetdir.com/MPX5100DP>
- [14]. *Servo Database*, <http://www.servodatabase.com>
- [15]. Prinsip Kerja Solenoid Valve, <http://www.merewardana.com/2011/11/solenoid-valve.html>
- [16]. Pencemaran Air, <http://bmpengurusankumpulan15.blogspot.com/2010/08/alam-sekitar-pencemaran-air.html>
- [17]. Komponen LCD, <http://elektronikadasar.com/komponen/lcd-liquid-cristal-display-dot-matrix-2x16-m1632/>