

# Analisis Penerapan Kendali Otomatis berbasis PID terhadap pH Larutan

FEBRIAN HADIATNA, ALFI DZULFAHMI, DECY NATALIANA

Teknik Elektro Institut Teknologi Nasional Bandung, Indonesia  
Email: febrion\_hadiatna@yahoo.com

Received 20 Februari 2019 | Revised 8 Juli 2019 | Accepted 27 Januari 2020

## ABSTRAK

*Nilai pH pada larutan nutrisi tanaman hidroponik merupakan salah satu parameter penting agar tumbuhan berkembang dengan baik. Salah satu metode pengendali otomatis adalah menggunakan pengendali PID. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penerapan sistem pengendali pH larutan nutrisi menggunakan PID. Proses pengendalian diatur oleh larutan pH up dan larutan pH down. Pengujian pengendali PID terdiri dari pengujian pengendali Propotional (P), pengendali Propotional-Integral (PI), dan Propotional-Integral-Derivative (PID). Hasil pengujian dengan menggunakan metode tunning trial and error diperoleh hasil pengendali Propotional menghasilkan respon lebih baik dengan nilai  $K_p=1$ , hasil yang didapat sistem tidak mengalami overshoot/undershoot dengan waktu yang dibutuhkan mencapai titik kesetimbangan di setpoint yaitu 126 detik. Agar sistem terjaga dinilai setpointnya sistem pengendali akan bereaksi terhadap perubahan error, sehingga memerlukan lebih banyak larutan pH up dan pH down.*

**Kata kunci :** Hidroponik, pH, Arduino, kendali PID.

## ABSTRACT

*The pH value of hydroponic-plants nutrient solution is one of the important parameters for plants to grow up well. This study aims to analyze the application of a system to control the pH of nutrient solutions using PID which is controlled by a pH up solution and a pH down solution. PID controller testing consists of Propotional (P) control test, Propotional-Integral (PI) controller, and Propotional-Integral-Derivative (PID) controller. The test results obtained using the tunning trial and error method obtained a Propotional controller result have a better response with the value  $K_p=1$ , the system does not overshoot / undershoot. the time needed to reach a stable value at setpoint is 126 seconds. so that the system is maintained at its set point the control system will react to error changes, that is why it requires more pH up liquid and the pH liquid down.*

**Keywords :** Hydroponic, pH, Arduino, PID controller.

## 1. PENDAHULUAN

Teknik budi daya tanaman dengan metode hidroponik merupakan sebuah alternatif untuk mendapatkan tanaman sayuran dan buah-buahan di lahan yang terbatas. Sistem hidroponik adalah metode budi daya tanaman dengan menggunakan air sebagai media tanamnya **(Roidah, 2014)**. Metode ini sangat cocok bagi masyarakat perkotaan yang umumnya memiliki lahan yang terbatas. Air yang digunakan pada tanaman hidroponik sudah diberikan nutrisi sesuai kebutuhan tanaman, sehingga tanaman akan tumbuh secara optimal. Terdapat 6 faktor utama yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman hidroponik, diantaranya kualitas air yang digunakan, cahaya, oksigen, nutrisi, suhu dan pH. Seluruh faktor utama tersebut perlu dilakukan proses pemantauan. Namun dengan kesibukan orang perkotaan yang tidak dapat selalu memantau langsung kondisi tanaman di greenhouse, pemilik disulitkan dalam pemantauan kondisi tanaman hidroponik jika mengalami kondisi ketidaksesuaian pH, suhu, kelembaban dan kepekatan nutrisi().

Pada penelitian ini, akan mengambil salah satu faktor yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman hidroponik yaitu kadar pH larutan. pH didefinisikan sebagai logaritma basa negatif 10 konsentrasi ion hidrogen. Namun, karena sebagian besar reaksi kimia dan biologis diatur oleh aktivitas ion hidrogen, definisi tersebut dengan cepat diubah **(Shahrulakram, 2016)**. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi nilai pH larutan nutrisi pada tanaman hidroponik yaitu, proses fotosintesis, suhu, respirasi, bakteri, dan media tanam. PH yang dibutuhkan tanaman berkisar 6 hingga 7 derajat keasaman, tergantung jenis tanamannya **(Mitalom, 2018)(Lee, 2015)**.

Pada tahun 2017, Sudewa telah melakukan penelitian mengenai pengukuran terhadap pH larutan. Dari hasil penelitiannya tersebut diketahui bahwa dalam kurun waktu 1 jam sekali nilai pH air mengalami perubahan nilai sebesar 0,01 hingga 0,02 untuk jumlah volume larutan yang kurang dari 1 Liter **(Sudewa, 2017)**. Berdasarkan faktor-faktor tersebut perlu adanya proses pengendalian pH secara berkala. Secara umum para pelaku pembudi daya tanaman hidroponik melakukan pengendalian pH secara manual, sehingga dengan cara tersebut pengendalian yang dilakukan hanya pada waktu tertentu saja. Berdasarkan hal tersebut, perlu adanya pengendalian secara otomatis dan bersifat kontinu. Penerapan sistem pengendali otomatis ini dapat mempermudah pengendalian pH larutan tanaman dan sebagai bentuk penerapan teknologi pada bidang agrikultur.

Tahun 2015, Saaid beserta timnya telah melakukan penelitian, dengan mengimplementasikan suatu sistem pengendali nilai pH suatu nutrisi **(Saaid, dkk. 2015)**. Dalam penelitian tersebut dijelaskan perancangan sistem kendali pH larutan nutrisi secara otomatis menggunakan Arduino Mega sebagai unit proses, sensor pH sebagai unit *input*, dan motor *servo* sebagai unit *output*. Sistem ini bekerja secara otomatis dengan cara membandingkan nilai pH yang diukur dengan nilai pH *set point*, selanjutnya apabila nilai pH tidak sesuai dengan nilai *set point* maka mikrokontroler akan memberikan sinyal pada motor *servo* untuk memberikan larutan pH *up* atau pH *down*. Sistem yang digunakan adalah sistem kontrol *on/off*, pengendalian ini berkerja pada dua posisi, yaitu kondisi "*on*" atau "*off*". Sistem pengendalian ini memiliki beberapa kekurangan yaitu sering terjadi perubahan dari *on* ke *off*, atau sebaliknya, sehingga dapat mempercepat kerusakan pada sistem.

Selanjutnya, penelitian dengan judul "*Optimal PID Control of pH Neutralization Plant*", oleh Kishore Bingi beserta timnya **(Bingi, dkk. 2016)**. Penelitian ini membahas perancangan matematis PID dengan metode Zn (*Ziegler-Nichols*) dan metode PSO (*Particle Swarm Optimization*). Perancangan ini diperuntukkan untuk mengatur pH di industri menggunakan kurva tirasi. Kesimpulan yang diperoleh pada penelitian ini menunjukkan metode PSO (*Particle Swarm Optimization*) lebih baik dibandingkan metode ZN (*Ziegler-Nichols*).

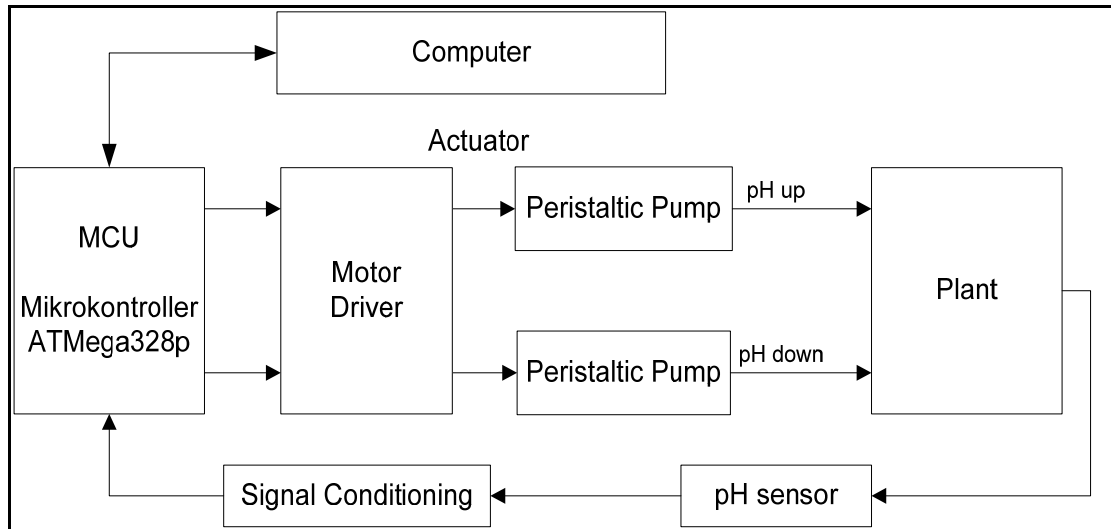
Kemudian, tahun 2016 dilakukan penelitian dengan judul "*Implementation of Real-Time Fuzzy Logic Control for NFT-Based Hydroponic System on Internet of Things Environment*", mengenai implementasi pengendalian pH dan EC (*Electrical Conductivity*) menggunakan pengendali *Fuzzy-Logic* oleh Desta Yolanda beserta timnya **(Yolanda, dkk. 2016)**. Penelitian ini bertujuan untuk mengendalikan nilai pH dan EC pada larutan nutrisi hidroponik dengan menggunakan sistem NFT (*Nutrient Film Technique*). Hasil penelitian ini adalah setiap 1 ml larutan *alkaline* dapat menaikkan nilai pH sebesar  $\pm 0,01$  pada 10 liter larutan dalam tangki, dan dengan menambahkan 1 ml larutan *acid* dapat menurunkan nilai pH sebesar  $\pm 0,015$  pada 10 L tangki larutan. Pada sistem yang dibuat semakin besar kenaikan dan penurunan pH maka semakin lama waktu respon sistem untuk menyelesaikan proses dalam memenuhi masukan yang diinginkan.

Berdasarkan dari beberapa referensi tersebut, maka dalam penelitian ini akan dilakukan analisis sistem kendali larutan pH dengan metode pengendali PID. Rumusan masalah yang diambil dalam penelitian ini yaitu bagaimana menerapkan pengendali PID untuk mengatur pH larutan nutrisi, serta berapa nilai  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$  yang digunakan pada sistem tersebut, dan menghitung lama waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kesetimbangan sistem.

Penelitian ini dibatasi dengan menggunakan sensor pH tipe SEN0161. Metode mencari nilai  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$  menggunakan metode *trial and error*, nilai pH yang akan diatur dibatasi yaitu sebesar 6,5 derajat keasaman, tidak membahas tentang pengaruh terhadap pertumbuhan tanaman, pengujian dilakukan di dalam ruangan, dan suhu ruangan dalam pengujian dianggap sama yaitu berkisar 20°C sampai 30°C, nilai tersebut masih di dalam *range* yang diperbolehkan. *Plant* yang diuji tidak menggunakan larutan nutrisi tanaman, melainkan disimulasikan dengan menggunakan air mineral.

## 2. PERANCANGAN DAN REALISASI SISTEM

Perancangan sistem kendali pH larutan yang dirancang menggunakan perangkat keras dan perangkat lunak. Perangkat keras yang digunakan terdiri dari 3 sub-sistem yaitu bagian *input unit*, *process unit*, *output unit*, dan *feedback unit*. *Input unit* terdiri dari *Personal Computer* (PC) yang akan mengatur nilai *set point*. *Process unit* terdiri dari mikrokontroler ATmega328. *Output unit* terdiri dari modul *driver motor*, pompa peristaltik, dan *Personal Computer* (PC). Perangkat lunak dirancang agar dapat membaca nilai pH melalui sensor, mengolah data, melakukan pengendalian pH, dan menampilkan data pada PC. Gambar 1 menunjukkan diagram blok pengendali PID.



**Gambar 1. Diagram Blok Sistem Pengendali PID**

Sensor pH akan mengakusisi data dari pH larutan dalam *plant*. Data tersebut akan masuk ke dalam modul pH sebagai pengkondisi sinyal agar data dapat diterima oleh mikrokontroler. Mikrokontroler akan membaca data dari modul pH dan diolah menjadi besaran pH. Setelah data diolah menjadi besaran pH, mikrokontroler akan melakukan analisis untuk melakukan pengendalian terhadap pH yang hasilnya akan diberikan kepada aktuator (*output unit*). Aktuator tersebut akan memasukkan cairan pH *up* atau cairan pH *down* terhadap *plant* yang dipakai. Aktuator akan berkerja berdasarkan sinyal yang diberikan oleh mikrokontroler berdasarkan cara kerja pengendali PID. Data yang diperoleh mikrokontroler akan ditampilkan pada PC melalui serial monitor.

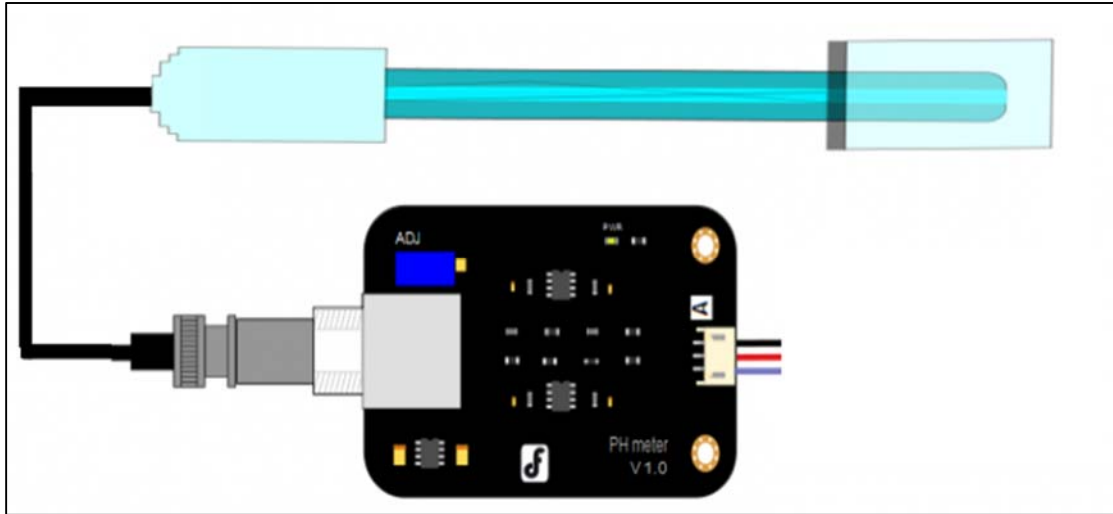
Sistem kendali pH larutan dirancang agar memungkinkan untuk melakukan pengendalian. Adapun spesifikasi sistem yang diimplementasikan yaitu:

1. Sensor pH khusus larutan dengan pembacaan 1-14 derajat keasaman.
2. Modul kendali berupa Arduino Uno dengan mikrokontroler ATmega328.
3. Nilai pH yang diatur sebesar 6,5 derajat keasaman.
4. Pemantauan secara *realtime*.
5. Modul *driver motor* l298n.
6. Motor peristaltik 12 volt maksimum dengan maksimum *flow rate* 100 ml/menit.
7. Penampilan yang digunakan masih menggunakan PC melalui serial monitor.
8. *Plant* yang digunakan terdiri dari tangki yang diisi dengan 10 L larutan air, dimana larutan air tersebut akan diatur nilai pH nya.

## 2.1 Perancangan dan Realisasi Perangkat Keras

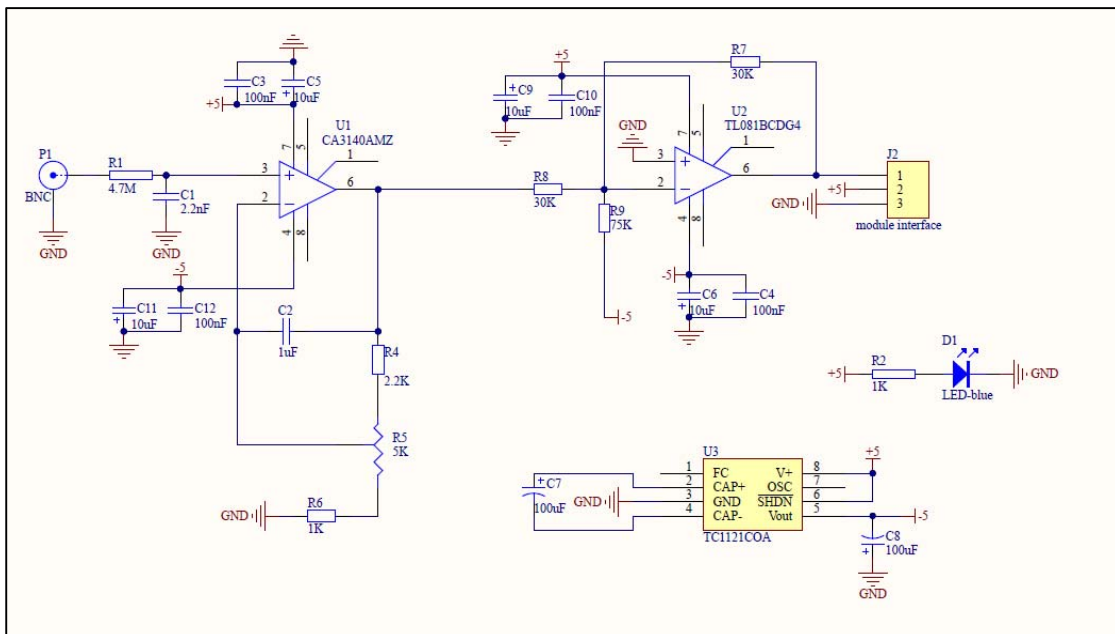
### 2.1.1 Sensor pH dan Rangkaian Modul Pengkondisi sinyal

Sensor pH yang digunakan merupakan buatan *Dfrobot*, terdiri dari tabung pH *electrode* yang terhubung dengan modul pengkondisi sinyal melalui konektor BNC. Pada perancangan sistem yang dibuat modul pengkondisi sinyal diberikan catu daya sebesar 5 v dari Arduino Uno. Bagian *output* modul tersebut dihubungkan pada *pin* A0 Arduino Uno. Gambar 2 menunjukkan Sensor pH dan modul pengkondisi sinyal.



**Gambar 2. Sensor pH dan Modul Pengkondisi Sinyal**

Batas pengukuran sensor pH sebesar 0-14 derajat keasaman. Suhu kerja sensor adalah 0°C sampai 60°C. Tingkat akurasi sensor sebesar  $\pm 0,2$  pH (25°C). Modul pengkondisi sinyal terdiri dari dua rangkaian Op-amp. Rangkaian tersebut terdiri dari rangkaian *non-inverting*, dan rangkaian *summing*. Gambar 3 menunjukkan rangkaian signal conditioning Sensor pH.



**Gambar 3. Rangkaian *Signal Conditioning* Sensor pH (Industrial pH electrode, 2017)**

Berdasarkan Gambar 3 tampak bahwa sensor pH menghasilkan keluaran berupa tegangan akan diolah pertama kali oleh rangkaian penguat *non-inverting* menggunakan IC CA3140AMZ. Rangkaian penguat pertama ini dilengkapi dengan *Gain Adjustment Potentiometer* dimana nilai pengali penguatan dapat diatur melalui *potensiometer*. *Potensiometer* ini digunakan ketika akan melakukan kalibrasi. Sinyal yang dihasilkan oleh penguat pertama sangat kecil, sehingga diolah kembali oleh rangkaian penguat kedua. Rangkaian penguat kedua yang digunakan merupakan rangkaian *summing*. Rangkaian ini menggunakan IC TL081BCDG4. Selanjutnya, modul sensor pH dilengkapi dengan rangkaian IC TC1121COA berfungsi sebagai pembalik

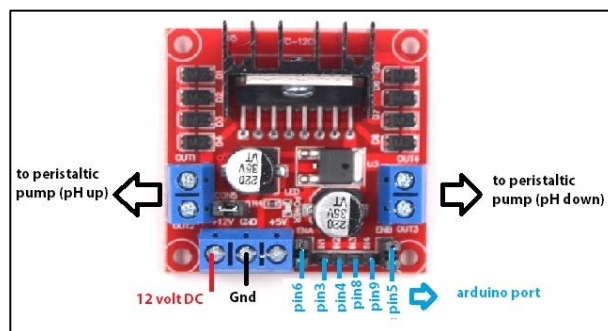
tegangan dari tegangan catu daya. Tegangan ini digunakan sebagai catu daya kedua rangkaian penguat dan tegangan -5 v digunakan sebagai *input* penguat kedua.

### 2.1.2 Arduino Uno

Arduino Uno adalah sistem minimum yang berbasis mikrokontroler ATmega328. Perangkat ini dilengkapi rangkaian USB *to serial converter*, serta rangkaian catu daya sebesar 5 v dan 3,3 v (Arduino, 2018). Arduino Uno akan digunakan sebagai unit kendali yang akan menerima data dari sensor dan melakukan pengendalian aktuator. Arduino Uno membutuhkan sumber daya sebesar 5 v yang diberikan dari *Personal Computer*.

### 2.1.3 Driver Motor L298N

*Driver* motor L298N digunakan pada sistem ini untuk mengatur kecepatan pompa peristaltik pada sistem pengendali menggunakan PID. *Driver* motor memiliki tegangan minimal *power* antara 5-35 v, arus masukan antara 0-36 mA, arus maksimal keluaran sebesar 2 A, dan daya maksimum sebesar 25 W. *Driver* motor diberikan catu daya sebesar 12 volt. *Pin* enA dan *pin* enB dihubungkan dengan *pin output* (pin 5 dan pin 6) PWM Arduino Uno. In1, in2, in3, dan in4 dihubungkan dengan *pin* digital (3, 4, 8, dan 9) berfungsi untuk mengatur arah putaran pompa. Gambar 4 merupakan *driver motor* yang digunakan pada sistem pengendalian pH.



Gambar 4. *Driver* Motor dengan *Port* yang Digunakan

### 2.1.4 Pompa Peristaltik

Pompa peristaltik atau *dosing pump* digunakan untuk memasukkan cairan larutan ke dalam *plant*. Pada penelitian ini digunakan 2 buah pompa peristaltik, untuk memasukan dua jenis cairan yaitu cairan pH *up* (kalium Hidroksida 10%) dan pH *down* (Asam fosfat 10%). Pada sistem pengendali PID pompa dikendalikan melalui *driver* motor L298N. Gambar 5 menunjukkan pompa peristaltik yang digunakan.

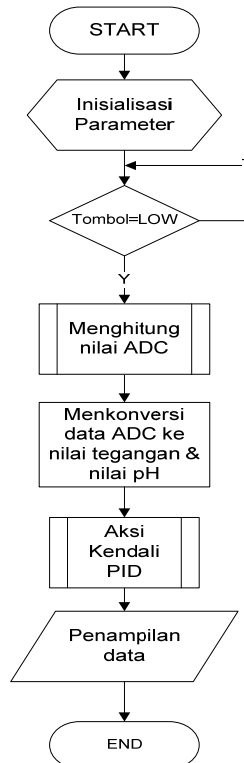


Gambar 5. Pompa Peristaltik

Pompa peristaltik bekerja pada tegangan maksimal sebesar 12 v, daya motor maksimal 3 W. Pompa peristaltik memiliki *flow rate* antara 0 sampai 100 ml/menit, sedangkan suhu kerja pompa antara 0°C sampai 40°C.

## 2.2 Perancangan dan Realisasi Perangkat Lunak

Perangkat lunak yang dirancang menggunakan bahasa pemrograman C melalui aplikasi IDE (*Integrated development enviroment*) dari Arduino. Secara umum terdapat 5 (lima) proses komputasi yang dilakukan pada sistem ini. Proses-proses tersebut adalah inialisasi parameter, menghitung nilai ADC, konversi nilai ADC ke tegangan dan nilai pH, aksi kendali, dan penampilan data. Gambar 6 merupakan diagram alir secara umum dari keseluruhan sistem. Gambar 6 menunjukkan diagram alir program utama kendali PID.



**Gambar 6. Diagram Alir Program Utama Kendali PID**

Berdasarkan Gambar 6 tahap pertama dari program adalah melakukan inialisasi parameter yang digunakan dalam program utama, diantaranya parameter *integer*, *float*, *include library* untuk kendali PID, dan *define value*. Sebelum proses pengendalian dimulai sistem akan menunggu proses penekanan "Tombol". Setelah "Tombol" selesai ditekan maka proses pengendalian akan berkerja. Pada tahap selanjutnya program akan menghitung nilai ADC dengan cara mengambil 20 *sample* data ADC, kemudian data-data tersebut akan diurutkan dari nilai terkecil sampai terbesar. Selanjutnya, mengambil *sample* tengah dari data yang sudah diurutkan yaitu data urutan ke-6 sampai data urutan ke-15. Terakhir program akan mengambil nilai rata-rata nilai ADC tersebut. Setelah menyelesaikan tahap menghitung nilai ADC yaitu program akan mengonversi nilai ADC ke dalam bentuk pH dan tegangan.

Tahap aksi kendali PID yang diimplementasikan pada mikrokontroler harus diubah ke dalam persamaan diskret. Aksi kendali PID dari pengendali *Propotional*, pengendali *Integral*, dan pengendali *Derivative* menggunakan Persamaan (1).

$$u(t) = Kp e(t) + ki \int_0^t e(t)dt + Kd \frac{d e(t)}{dt} \quad (1)$$

$$e(t) = \text{setpoint} - \text{input (data ADC)} \quad (2)$$

$$u(n) = Kp e(n) \quad (3)$$

Dengan  $u(t)$  adalah sinyal kendali, dimana sinyal tersebut akan mengendalikan *output* pengendali.  $e(t)$  adalah nilai kesalahan (*error*). Nilai *input* didapat dari hasil pembacaan sensor pH.  $Kp$  adalah konstanta *propotional*,  $Ki$  adalah konstanta *integral*, dan  $Kd$  adalah konstanta *derivative*. Pada Persamaan (1) merupakan persamaan kawasan waktu kontinu (analog). Sedangkan agar persamaan tersebut dapat direalisasikan dalam bentuk program, maka persamaan diubah ke dalam persamaan diskret. Persamaan (3) merupakan persamaan diskret pada pengendali *propotional*. Berdasarkan Persamaan (3) nilai  $Kp$  akan terus dikalikan dengan dengan nilai *error* pada setiap *sample* data yang diambil. Nilai  $n$  merupakan sebuah notasi yang menunjukkan pengambilan data pada waktu-waktu tertentu. Persamaan (4), (5), dan (6) merupakan persamaan diskret pada pengendali *integral*.

$$u(n) = Ki \sum_{i=0}^n e(i) Ts \quad (4)$$

$$u(n) = Ki Ts [e(0) + e(1) + \dots + e(n-1) + e(n)] \quad (5)$$

$$u(n) = Ki Ts [e(n-1) + e(n)] \quad (6)$$

Notasi  $Ts$  merupakan waktu *sampling*. *Integral* adalah suatu operator matematis dalam kawasan kontinu jika diubah ke dalam bentuk diskret akan menjadi sigma ( $\Sigma$ ), yang merupakan operator matematis kawasan diskret. Fungsi dari operator sigma adalah menjumlahkan nilai ke- $i$  sampai nilai ke- $n$ . Berdasarkan Persamaan (6) nilai *error* sebelumnya akan dijumlahkan dengan nilai *error-error* sebelumnya hingga nilai *error* sekarang. Hasil penjumlahan *error* tersebut akan dikalikan dengan nilai  $Ki$  dan nilai  $Ts$ . Pengendali *derivative* didapat berdasarkan laju perubahan sinyal *error* Persamaan (7).

$$\frac{d e(t)}{dt} = \frac{d \text{Setpoint}(t)}{dt} - \frac{d \text{input}(t)}{dt} \quad (7)$$

Karena *setpoint* bernilai konstan, maka:

$$\frac{d e(t)}{dt} = - \frac{d \text{input}(t)}{dt} \quad (8)$$

$$u(t) = Kd \frac{d e(t)}{dt} = -Kd \frac{d \text{input}(t)}{dt} \quad (9)$$

$$u(n) = -Kd \frac{\text{input}(n) - \text{input}(n-1)}{Ts} \quad (10)$$

Dari Persamaan (9) kontinu diubah menjadi persamaan diskret seperti pada persamaan (10). Persamaan *derivative* adalah suatu operator matematis dalam kawasan kontinu jika diubah menjadi persamaan diskret maka akan menjadi limit. Dimana fungsi operator limit adalah mengurangi nilai ke- $n$  dengan nilai ke- $n-1$ . Berdasarkan Persamaan (10) hasil perhitungan *derivative* adalah nilai negatif dari hasil pengurangan nilai *input* dengan nilai *input* sebelumnya, dan dikalikan dengan  $Kd/Ts$ .



### 3. HASIL PENELITIAN DAN ANALISIS

Pengujian dilakukan terhadap pengujian sub-sistem dan pengujian sistem terintegrasi. Pengujian sub-sistem meliputi pengujian sensor pH dan pengujian aktuator, sedangkan pengujian sistem terintegrasi meliputi pengujian pengendali *Propotional* (P), pengendali *Propotional-Integral* (PI), dan pengendali *Propotional-Integral-Derivative* (PID).

#### 3.1 Pengujian Sub-Sistem

Pengujian sub-sistem dilakukan untuk melihat respon dan karakteristik sensor dan aktuator berdasarkan parameter yang diperlukan.

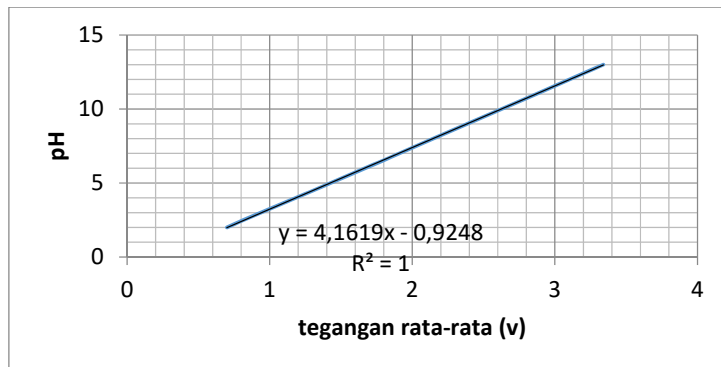
##### 3.1.1 Pengujian Sensor pH

Pengujian Sensor pH dilakukan di dalam wadah berisi 500 ml air dengan suhu 28°C. Di dalam air tersebut pH akan diatur dari 2-13 derajat keasaman. Data yang diambil dalam pengujian ini berupa nilai *output* tegangan setiap kenaikan derajat keasaman dan data perbandingan nilai pH yang terbaca oleh mikrokontoler dengan nilai acuan. Nilai acuan didapat dari hasil pembacaan pH meter digital. Hasil pengujian sensor pH dapat dilihat melalui Tabel 1. Data pengujian sensor diperoleh melalui fitur *serial print* dari aplikasi Arduino IDE.

**Tabel 1. Pengujian Sub-sistem Sensor pH**

| pH meter | percobaan 1 |          |       | percobaan 2 |          |       | percobaan 3 |          |       | percobaan 4 |          |      |
|----------|-------------|----------|-------|-------------|----------|-------|-------------|----------|-------|-------------|----------|------|
|          | Output(V)   | nilai pH | ΔpH   | Output(V)   | nilai pH | ΔpH   | Output(V)   | nilai pH | ΔpH   | Output(V)   | nilai pH | ΔpH  |
| 2        | 0,69        | 1,92     | -0,08 | 0,69        | 1,92     | -0,08 | 0,71        | 2,01     | 0,01  | 0,71        | 2,01     | 0,01 |
| 2,5      | 0,82        | 2,45     | -0,05 | 0,79        | 2,34     | -0,16 | 0,82        | 2,46     | -0,04 | 0,83        | 2,52     | 0,02 |
| 3        | 0,94        | 2,98     | -0,02 | 0,91        | 2,85     | -0,15 | 0,94        | 2,97     | -0,03 | 0,95        | 3,03     | 0,03 |
| 3,5      | 1,07        | 3,51     | 0,01  | 1,04        | 3,39     | -0,11 | 1,06        | 3,49     | -0,01 | 1,08        | 3,55     | 0,05 |
| 4        | 1,19        | 4,02     | 0,02  | 1,17        | 3,94     | -0,06 | 1,18        | 4        | 0     | 1,19        | 4,05     | 0,05 |
| 4,5      | 1,32        | 4,55     | 0,05  | 1,28        | 4,4      | -0,1  | 1,31        | 4,52     | 0,02  | 1,32        | 4,55     | 0,05 |
| 5        | 1,44        | 5,07     | 0,07  | 1,4         | 4,91     | -0,09 | 1,43        | 5,03     | 0,03  | 1,44        | 5,07     | 0,07 |
| 5,5      | 1,56        | 5,57     | 0,07  | 1,53        | 5,43     | -0,07 | 1,55        | 5,54     | 0,04  | 1,55        | 5,55     | 0,05 |
| 6        | 1,67        | 6,06     | 0,06  | 1,64        | 5,94     | -0,06 | 1,67        | 6,04     | 0,04  | 1,68        | 6,08     | 0,08 |
| 6,5      | 1,8         | 6,58     | 0,08  | 1,77        | 6,45     | -0,05 | 1,79        | 6,54     | 0,04  | 1,8         | 6,58     | 0,08 |
| 7        | 1,91        | 7,08     | 0,08  | 1,89        | 6,98     | -0,02 | 1,91        | 7,07     | 0,07  | 1,92        | 7,09     | 0,09 |
| 7,5      | 2,02        | 7,53     | 0,03  | 2,04        | 7,59     | 0,09  | 2,01        | 7,5      | 0     | 2,03        | 7,59     | 0,09 |
| 8        | 2,14        | 8,04     | 0,04  | 2,15        | 8,08     | 0,08  | 2,13        | 8,01     | 0,01  | 2,16        | 8,1      | 0,1  |
| 8,5      | 2,26        | 8,55     | 0,05  | 2,27        | 8,59     | 0,09  | 2,26        | 8,53     | 0,03  | 2,28        | 8,62     | 0,12 |
| 9        | 2,38        | 9,06     | 0,06  | 2,39        | 9,08     | 0,08  | 2,38        | 9,05     | 0,05  | 2,4         | 9,11     | 0,11 |
| 9,5      | 2,5         | 9,56     | 0,06  | 2,51        | 9,57     | 0,07  | 2,5         | 9,57     | 0,07  | 2,52        | 9,63     | 0,13 |
| 10       | 2,62        | 10,06    | 0,06  | 2,62        | 10,07    | 0,07  | 2,63        | 10,09    | 0,09  | 2,64        | 10,12    | 0,12 |
| 10,5     | 2,74        | 10,56    | 0,06  | 2,74        | 10,58    | 0,08  | 2,75        | 10,61    | 0,11  | 2,76        | 10,63    | 0,13 |
| 11       | 2,86        | 11,07    | 0,07  | 2,86        | 11,06    | 0,06  | 2,87        | 11,13    | 0,13  | 2,87        | 11,12    | 0,12 |
| 11,5     | 2,97        | 11,56    | 0,06  | 2,97        | 11,55    | 0,05  | 3           | 11,65    | 0,15  | 2,99        | 11,64    | 0,14 |
| 12       | 3,09        | 12,06    | 0,06  | 3,09        | 12,03    | 0,03  | 3,12        | 12,17    | 0,17  | 3,11        | 12,14    | 0,14 |
| 12,5     | 3,21        | 12,55    | 0,05  | 3,2         | 12,52    | 0,02  | 3,24        | 12,69    | 0,19  | 3,23        | 12,63    | 0,13 |
| 13       | 3,32        | 13,02    | 0,02  | 3,32        | 13,04    | 0,04  | 3,36        | 13,19    | 0,19  | 3,36        | 13,19    | 0,19 |

Tabel 1 menunjukkan selisih yang didapat dari hasil pengukuran berkisar diantara *range* -0,11 pH sampai 0,19 pH, data tersebut menunjukkan sensor pH yang digunakan sesuai dengan spesifikasi akurasi, yaitu sebesar ±0,20 pH. Gambar 7 menunjukkan hubungan pH terhadap nilai tegangan.



**Gambar 7. Grafik Hubungan pH terhadap Tegangan**

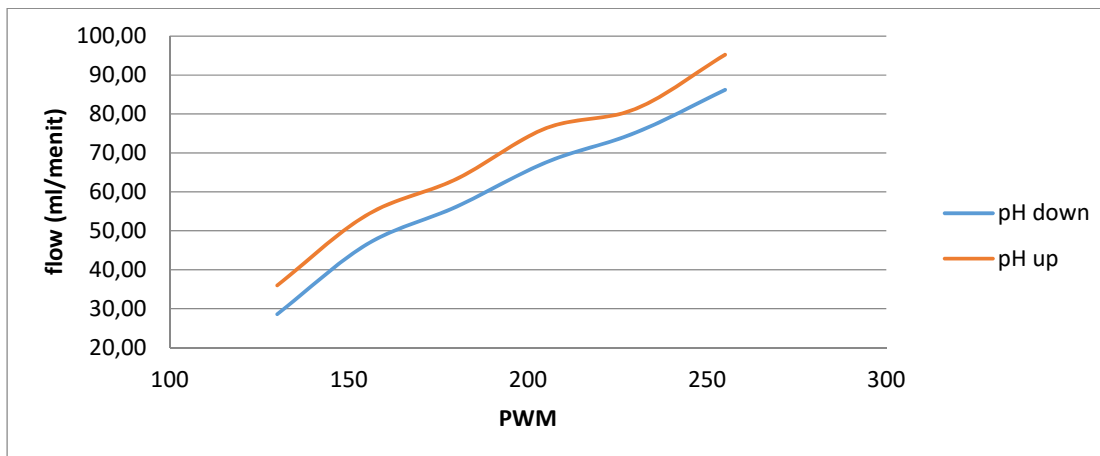
Gambar 8 menunjukkan bahwa hubungan antara pH terhadap nilai tegangan *output* modul pH memiliki kelinieran yang baik, sehingga dapat disimpulkan kondisi modul pH masih layak untuk dipakai. Persamaan yang didapat dari Gambar 7 akan digunakan dalam program untuk mengonversi nilai tegangan ke dalam nilai pH.

### 3.1.2 Pengujian Pompa Peristaltik

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik pompa yang digunakan. Pada proses pengujian *input* yang digunakan berupa nilai PWM. Pengujian dilakukan dengan menghitung waktu yang dibutuhkan untuk mengisi 100 ml air pada gelas ukur menggunakan *stopwatch*. Tabel 2 dan Gambar 8 menunjukkan data hasil pengukuran yang telah dilakukan.

**Tabel 2. Hasil Pengujian Pompa dengan PWM**

| PWM | pH down     |       |                 |               | pH up       |       |                 |               |
|-----|-------------|-------|-----------------|---------------|-------------|-------|-----------------|---------------|
|     | tegangan(v) | pompa | flow (ml/menit) | waktu (menit) | tegangan(v) | pompa | flow (ml/menit) | waktu (menit) |
| 30  | 0,25        | off   | -               | -             | 0,25        | off   | -               | -             |
| 55  | 0,681       | off   | -               | -             | 0,65        | off   | -               | -             |
| 80  | 1,176       | off   | -               | -             | 1,16        | off   | -               | -             |
| 105 | 1,86        | off   | -               | -             | 1,83        | off   | -               | -             |
| 130 | 4,7         | on    | 28,57           | 3,5           | 4,9         | on    | 35,97           | 2,78          |
| 155 | 6,25        | on    | 46,51           | 2,15          | 6,56        | on    | 54,05           | 1,85          |
| 180 | 7,45        | on    | 56,18           | 1,78          | 7,63        | on    | 63,29           | 1,58          |
| 205 | 8,22        | on    | 67,57           | 1,48          | 8,44        | on    | 76,34           | 1,31          |
| 230 | 9,05        | on    | 75,19           | 1,33          | 9,18        | on    | 81,30           | 1,23          |
| 255 | 10,67       | on    | 86,21           | 1,16          | 10,7        | on    | 95,24           | 1,05          |

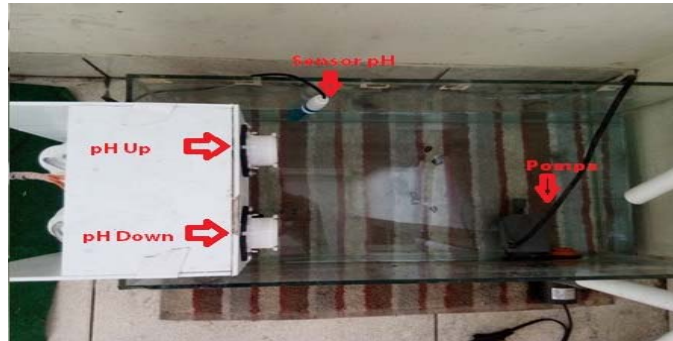


**Gambar 8. Grafik Flow terhadap PWM**

Berdasarkan Tabel 2 dan Gambar 8 didapatkan hasil dari masing-masing pengujian menunjukkan karakteristik pompa peristaltik yang digunakan pada pH *up* memiliki kemampuan mengalirkan cairan sedikit lebih cepat dibandingkan dengan pompa peristaltik yang digunakan pada pH *down*. Tabel 2 menunjukkan pompa peristaltik berkerja ketika nilai PWM yang diberikan mulai dari 130 pada masing-masing pompa.

### 3.2 Pengujian Sistem Terintegrasi

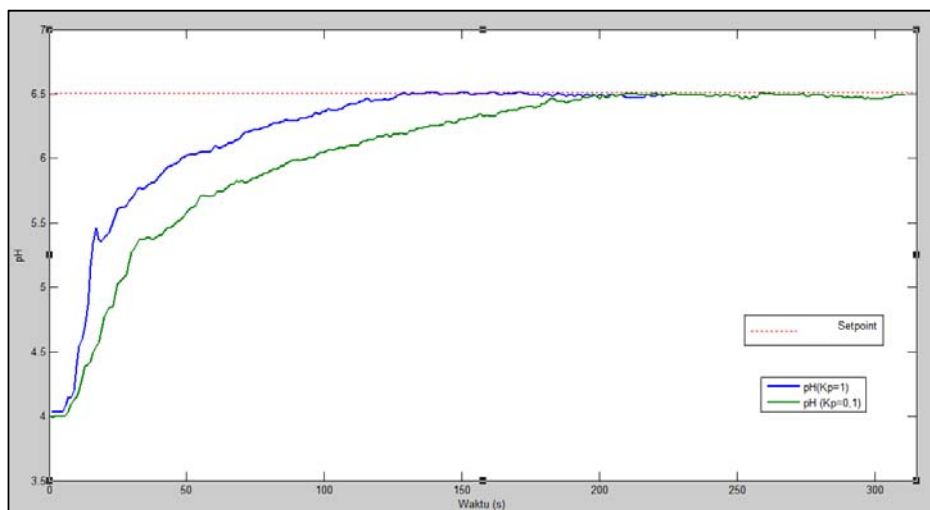
Pengujian sistem terintegrasi merupakan pengujian keseluruhan sistem untuk melihat hasil respon sistem. Pengujian ini dilakukan dengan memasukkan nilai pH yang diinginkan, yaitu sebesar 6,5 derajat keasaman. Nilai tersebut merupakan nilai tengah dari batas pH yang dibutuhkan dan nilai tersebut dapat mewakili kebutuhan banyak jenis tanaman. Pengujian dilakukan di dalam ruangan dengan suhu ruangan sebesar 30,2 °C dan kelembaban sebesar 52%. Pengendalian dilakukan pada *plant* yang terdiri dari tangki yang berisi air sebesar 10 L. Di dalam *plant* tersedia pompa yang berfungsi sebagai pengaduk larutan. Sensor dikalibrasi setiap pengujian dilakukan. Gambar 9 menunjukkan *plant* yang digunakan pada sistem.



Gambar 9. *Plant* yang digunakan pada Sistem

#### 3.2.1 Pengujian Pengendali *Propotional* (P)

Pengujian dilakukan dengan mengatur kondisi awal *plant* pada nilai 4 derajat keasaman, kemudian pengendali diaktifkan dan data diambil melalui aplikasi PLX-DAQ. Pengujian ini diharapkan dapat mengurangi *error steady state*. Menentukan nilai paramater P adalah dengan metode *trial and error*. Pengujian dilakukan sebanyak 2 kali dengan nilai  $K_p=0,1$  dan  $K_p=1$ . Berikut hasil pengujian pengendali *Propotional*.

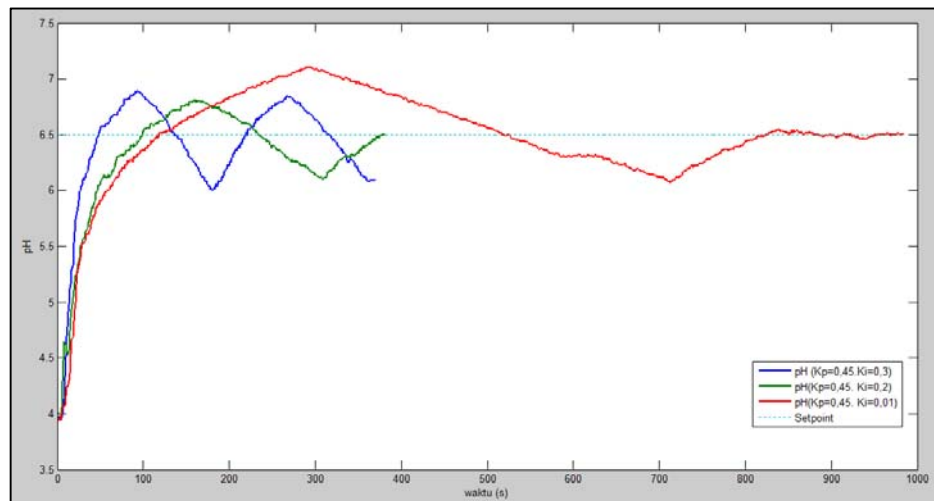


Gambar 10. Grafik Respon Pengendali *Propotional* (P)

Gambar 10 menunjukkan pada saat nilai  $K_p=1$  (grafik berwarna biru) waktu *rise time* jauh lebih sedikit dibandingkan dengan nilai  $K_p=0,1$  (grafik berwarna hijau). Namun, masing-masing pengendali dapat menghilangkan *overshoot* dan nilai *error steady state* hampir tidak terlihat. Sistem setimbang saat nilai  $K_p=1$  yaitu pada waktu 126 detik, sedangkan saat nilai  $K_p=0,1$  sistem setimbang pada waktu 194 detik. Nilai  $K_p$  yang besar dapat memperkecil *rise time*.

### 3.2.2 Pengujian Pengendali *Propotional-Integral* (PI)

Pengujian Pengendali PI dilakukan sebanyak 3 kali. Pengujian dilakukan dengan mengatur kondisi awal *plant* pada nilai 4 derajat keasaman, kemudian pengendali diaktifkan dan data diambil melalui aplikasi PLX-DAQ. Menentukan nilai parameter P dan parameter I adalah dengan metode *trial and error*. Pengujian pertama nilai yang digunakan adalah  $K_p=0,45$ ,  $K_i=0,3$  (grafik berwarna biru), pengujian kedua nilai yang digunakan adalah  $K_p=0,45$ ,  $K_i=0,2$  (grafik berwarna hijau), dan pengujian ketiga nilai yang digunakan adalah  $K_p=0,45$ ,  $K_i=0,01$  (grafik berwarna merah). Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 11.

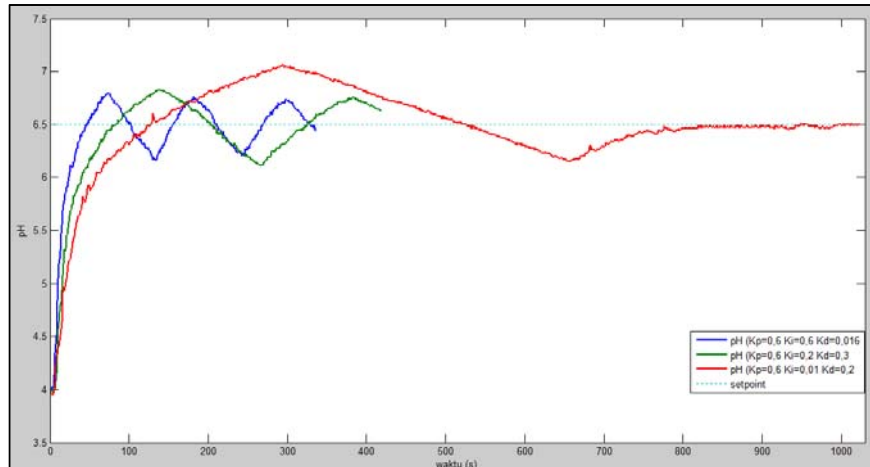


Gambar 11. Grafik Respon Pengendali *Propotional-Integral* (PI)

Berdasarkan Gambar 11 pengujian pertama dan kedua respon sistem masih beresilasi. Pengujian ketiga (grafik berwarna merah) menunjukkan bahwa sistem stabil pada waktu 828 detik, namun masih ada sedikit osilasi dan menghasilkan *overshoot* dan *undershoot*. Berdasarkan grafik tersebut dengan menurunkan nilai  $K_i$  dapat menghilangkan osilasi sistem, namun dapat memperlambat respon sistem.

### 3.2.3 Pengujian Pengendali *Propotional-Integral-Derivative* (PID)

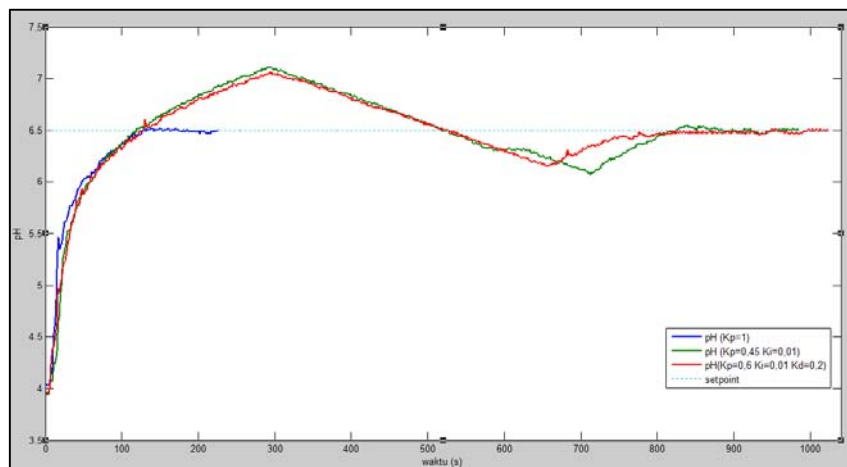
Pengujian Pengendali PID dilakukan sebanyak 3 kali. Pengujian dilakukan dengan mengatur kondisi awal *plant* pada nilai 4 derajat keasaman, kemudian pengendali diaktifkan dan data diambil melalui aplikasi PLX-DAQ. Menentukan nilai parameter P dan parameter I adalah dengan metode *trial and error*. Pengujian pertama nilai yang digunakan adalah  $K_p=0,6$ ,  $K_i=0,6$ ,  $K_d=0,016$  (grafik berwarna biru), pengujian kedua nilai yang digunakan adalah  $K_p=0,6$ ,  $K_i=0,2$ ,  $K_d=0,3$  (grafik berwarna hijau), dan pengujian ketiga nilai yang digunakan adalah  $K_p=0,6$ ,  $K_i=0,01$ ,  $K_d=0,2$  (grafik berwarna merah). Dengan menambahkan pengendali *derivative* dapat meningkatkan kestabilan sistem. Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 12.



**Gambar 12. Grafik Respon Pengendali *Proportional-Integral-Derivative* (PID)**

Berdasarkan Gambar 12 hasil pengujian pertama dan kedua respon sistem masih berosilasi. Pengujian ketiga (grafik berwarna merah) menunjukkan sistem stabil pada waktu 800 detik, tetapi sistem terdapat *overshoot* dan *undershoot*. Hal tersebut bisa disebabkan nilai konstanta *derivative* yang diberikan kurang besar. Sifat dari kendali *derivative* dapat mengurangi *overshoot* pada respon sistem.

Setelah melakukan pengujian, data terbaik dari masing-masing pengendali dibandingkan untuk melihat perbedaan karakteristik dari setiap pengendali yang digunakan pada penelitian ini. Berikut Gambar 13 merupakan grafik perbandingan hasil pengujian dari masing-masing pengendali.



**Gambar 13. Grafik Perbandingan Masing-masing Pengendali**

Berdasarkan Gambar 13 sistem dengan menggunakan pengendali *Proportional* memiliki respon lebih baik dibandingkan dengan pengendali lainnya, dilihat dari pengendali *Proportional* tidak memiliki *overshoot* maupun *undershoot*. Sistem mencapai kesetimbangan pada pengendali *proportional* dikisaran waktu 126 detik. Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kesetimbangan pada pengendali P lebih cepat dibandingkan dengan pengendali PI dan PID.

Apabila ditinjau dari larutan yang digunakan untuk mengendalikan pH, pengendali PI dan PID mengeluarkan volume larutan pH *up* atau larutan pH *down* lebih banyak. Karena, respon sistem sebelum mencapai stabil terdapat *overshoot* dan *undershoot*, serta respon sistem yang terbilang lama. Pada dasarnya pengendali menggunakan metode *Proportional*, *Proportional-*

*Integral*, maupun *Propotional-Integral-Derivative* mampu menjaga sistem berada tepat pada nilai *setpoint*-nya. Namun, untuk menjaga sistem agar terus mendekati nilai *setpoint* sistem pengendali akan terus merespon setiap perubahan sistem. Sehingga, larutan yang digunakan untuk mengendalikan sistem akan lebih banyak.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian penerapan sistem pengendali PID terhadap larutan, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengendali P, PI, dan PID dapat diterapkan untuk mengendalikan pH tanaman, namun memiliki beberapa kekurangan seperti membutuhkan lebih banyak larutan pH *up* dan larutan pH *down* untuk menjaga kesetimbangan sistem. Dari ketiga jenis pengendali, pengendali P mampu mengendalikan pH larutan lebih baik dibandingkan dengan pengendali PI dan PID.
2. Nilai Kp, Ki, dan Kd yang didapat dengan menggunakan metode *tunning trial and error* yaitu Kp=1 untuk pengendali *Propotional* (P), Kp=0,45 Ki=0,01 untuk pengendali *Propotional-Integral* (PI), dan Kp=0,6 Ki=0,01 Kd=0,2 untuk pengendali *Propotional-Integral-Derivative* (PID). Nilai masing-masing konstanta dapat dari hasil uji coba *trial and error*.
3. Berdasarkan data pengujian sistem pengendali PID. Waktu yang dibutuhkan agar sistem stabil dinilai *setpoint* dikisaran 126 detik pada pengendali *Protional* (P), sedangkan pada pengendali *Propotional-Integral* (PI) waktu yang didapat berkisar 828 detik, dan pada pengendali *Propotional-Integral-Derivative* (PID) waktu yang didapat berkisar 800 detik.
4. Pengendali *Propotional* menghasilkan grafik respon lebih baik dibandingkan dengan pengendali *Propotional-Integral* dan *Propotional-Integral-Derivative* untuk mengendalikan pH larutan, tetapi pada pengendai *Propotional* nilai *error* tidak dapat dihilangkan sepenuhnya, sehingga akan selalu mengeluarkan larutan pH *up* dan pH *down*. Hal tersebut dapat meyebabkan pemborosan larutan pH *up* dan pH *down*

#### DAFTAR RUJUKAN

- Arduino. (2018). Arduino Uno. Dipetik Agustus 20, 2018, dari Arduino <https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>
- Bingi, K., Ibrahim, R., Karsiti, M.N., Chung, T.D., & Hassan, S.M. (2016). *Optimal PID Control of pH Neutralization Plant. 2<sup>nd</sup> IEEE International Symposium on Robotics and Manufacturing Automation* (ROMA).
- Industrial pH electrode (SKU:FIT0348). (2017). Dipetik Desember, 2017, dari [www.dfrobot.com/wiki/index.php/Industrial\\_pH\\_electrode\(SKU:FIT0348\)](http://www.dfrobot.com/wiki/index.php/Industrial_pH_electrode(SKU:FIT0348)).
- Lee, S., & Lee, J. (2015). Beneficial Bacteria and Fungi in Hydroponic Systems: Types and Characteristics of Hydroponic Food Production Methods. *Scientia Horticulturae*, 195, 206 – 215.
- Mitalom. (2018). Pengaruh pH Larutan Nutrisi pada Tanaman Hidroponik. Dipetik Juli 13, 2018. <https://mitalom.com/pengaruh-ph-larutan-nutrisi-pada-tanaman-hidroponik/>

- Roidah & Syamsu, I. (2014). Pemanfaatan Lahan Dengan Menggunakan Hidroponik. *Jurnal Universitas Tulungagung BONOWORO*, 1.
- Saaïd, M.F., Sanuddin, A., Ali, M., & M.S.A. I.M Yassin. (2015). Automated pH Controller System for Hydroponic Cultivation. *IEEE Symposium on Computer Applications & Industrial Electronics (ISCAIE)*.
- Shahrulakram, M., A., I., & Johari, J. (2016). Water Storage Monitoring System with pH Sensor for Pharmaceutical Plants. *IEEE 6th International Conference on System Engineering and Technology (ICSET)*.
- Sudewa, B., & Hadiatna, F. (2017). Evaluasi Sensor FIT0348 Sebagai Alat Ukur Potential Of Hydrogen (pH) Larutan. *Jurnal Elektro Telekomunikasi Terapan*, 4(2), 570 – 578.
- Yolanda, D., Hindersah, H., Hadiatna, F., & Triawan, M.A. (2016). Implementation of Real-Time Fuzzy Logic Control for NFT-Based Hydroponic System on Internet of Things Environment. *IEEE 6th International Conference on System Engineering and Technology (ICSET)*.