

# SISTEM KONTROL DAN MONITORING PH AIR PADA HIDROPONIK DUTCH BUCKET SYSTEM (DBS) TANAMAN CABAI MENGGUNAKAN METODE KONTROL PI

Amelia Sekarsari<sup>1</sup>, Budi Setiyono<sup>2</sup>, dan Aghus Sofwan<sup>3</sup>

<sup>123</sup>Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia

<sup>\*)</sup> E-mail: [ameliasekarsari10@gmail.com](mailto:ameliasekarsari10@gmail.com)

## Abstrak

*Dutch Bucket System* tanaman cabai merupakan salah satu metode budidaya tanaman cabai dengan sistem hidroponik yang memanfaatkan suplai air bernutrisi secara terus ke dalam ember (bucket). Salah satu parameter yang mempengaruhi lingkungan hidup dari tanaman cabai yaitu derajat keasaman (PH) terlarut dalam air sebagai media tanam. Adapun PH yang baik bagi pertumbuhan cabai yaitu 6.0. PH ini harus senantiasa terjaga besarnya agar cabai dapat tumbuh dengan baik. Maka dari itu diperlukan sebuah sistem kontrol yang dapat mengontrol PH tersebut secara otomatis. Dalam perancangan sistem hidroponik ini parameter PH akan dikontrol menggunakan metode kontrol PI. Didapatkan hasil dari sistem kontrol yaitu nilai overshoot sebesar 2,79% dan 7,83% saat kondisi di atas set-point dan di bawah set-point. Selain itu didapatkan nilai error sebesar 0,17% dari hasil pengiriman data monitoring menggunakan web server Thingspeak.

*Kata Kunci: Dutch Bucket System, Tanaman Cabai, Kontrol PI, Thingspeak.*

## Abstract

Dutch Bucket System for chili plants is a method of cultivating chili plants with a hydroponic system that utilizes a supply of nutritious water directly into a bucket (bucket). One of the parameters that affect the environment of chili plants is the degree of acidity (PH) dissolved in water as a growing medium. Where is, a good PH for chili growth is 6.0. The PH must always be maintained so that chili can grow properly. Therefore, we need a control system that manages the PH automatically. In designing this hydroponic system, the PH parameters will be controlled by the PI control method. The obtained results of the control system are an overshoot value of 2.79% and 7.83% when conditions are above the set-point and below the set-point. In addition, an error value of 0.17% was obtained from the results of sending monitoring data using the Thingspeak web server.

*Keywords: Dutch Bucket System, Chili Plant, PI Control, Thingspeak.*

## 1. Pendahuluan

Cabai merupakan salah satu jenis sayuran yang sangat dibutuhkan oleh masyarakat, di mana kebutuhan cabai sekitar 800.000 ton/tahun dan di tahun 2015 Indonesia melakukan ekspor cabai segar dengan jumlah mencapai 536,38 ton [1]. Salah satu metode budidaya tanaman cabai yaitu menggunakan sistem hidroponik. Dari sistem hidroponik yang sudah ada, sangat disayangkan bahwasanya lingkungan hidup tanaman cabai masih dikontrol secara manual oleh seorang petani.

Salah satu parameter yang mempengaruhi lingkungan hidup dari tanaman cabai yaitu derajat keasaman (PH) terlarut dalam air sebagai media tanam. Di mana PH yang baik bagi pertumbuhan cabai yaitu 6.0 – 6.5 [2]. PH ini harus senantiasa terjaga besarnya agar cabai dapat tumbuh dengan baik. Maka dari itu diperlukannya sebuah

sistem kontrol yang dapat mengontrol PH tersebut secara otomatis.

Pada penelitian sebelumnya [3] yaitu sistem kontrol PH pada hidroponik tanaman selada menggunakan metode kontrol PID, didapatkan overshoot saat nilai berada di atas dan di bawah set-point yaitu di bawah 0.5%. dan 1%. Dalam pemodelan sistemnya, penelitian tersebut menggunakan fitur system identification yang telah disediakan pada MatLab. Dan menggunakan penalaan Ziegler Nichols Routh-Criterion dalam penentuan nilai parameter PID-nya.

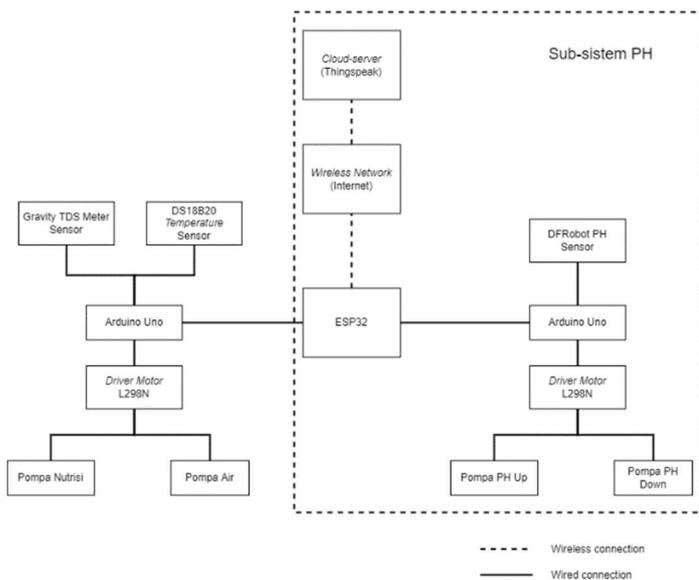
Sedangkan dalam perancangan sistem hidroponik kali ini, parameter seperti PH akan dikontrol secara otomatis menggunakan metode kontrol PI. Kesederhanaan struktur serta parameter kontrol yang mudah untuk di-tuning, menjadi alasan penggunaan PI sebagai metode kontrol pada sistem ini [4]. Hal ini bertujuan agar masyarakat

dapat menerapkan sistem ini secara mandiri karena dalam pengoperasiannya yang relatif mudah dan sederhana.

## 2. Perancangan

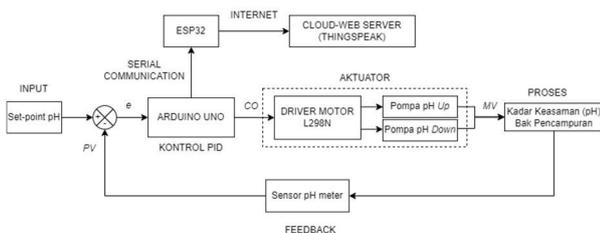
### 2.1 Diagram Blok Sistem

Secara keseluruhan, sistem kontrol dan *monitoring* pada hidroponik DBS tanaman cabai ini ditunjukkan untuk parameter kadar nutrisi dan pH air. Dimana kedua parameter tersebut saling mempengaruhi satu sama lain. Kadar pH air yang seimbang akan membantu tanaman lebih mudah menyerap nutrisi dalam tumbuh kembangnya. Maka dibuatlah sistem kontrol dan *monitoring* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1[5].



Gambar 1. Diagram Blok Sistem Kontrol dan *Monitoring* Nutrisi dan PH Air

Pada pembahasan perancangan sistem kali ini, lebih tefokus pada sebuah sistem yang mampu mempertahankan derajat keasaman (pH) air sebagai media tanam pada hidroponik tanaman cabai yaitu pada pH 6,0. Selain itu sistem dirancang agar dapat memonitor secara langsung perubahan pH yang terjadi melalui web-server. Diagram blok dari perancangan sistem kontrol dan *monitoring* pH ditunjukkan pada Gambar 2.



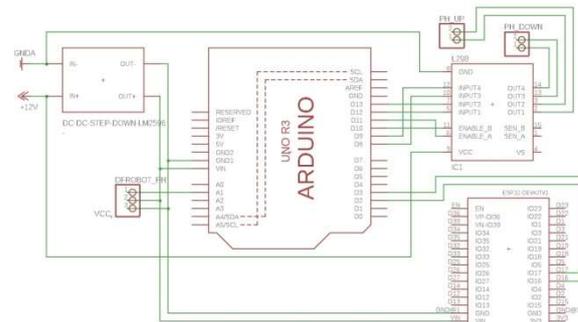
Gambar 2. Diagram Blok Sistem Kontrol dan *Monitoring* PH Air

### 2.2 Perancangan Mikrokontroler

Perancangan sensor pH dilakukan dengan menghubungkan secara berurutan pin data, VCC dan GND pada modul sensor pH dengan pin A1, 5V dan GND pada Arduino UNO.

Perancangan kendali aktuator dilakukan dengan menghubungkan motor DC 12V ke modul *driver* motor L298N. Dari 1 modul dapat digunakan untuk kontrol 2 motor sekaligus melalui pin ENA dan ENB. Kutub positif-negatif motor dihubungkan pada pin positif-negatif keluaran ENA/ENB pada modul. Kemudian pin-pin modul *driver* motor L298N yang terhubung ke arduino yaitu:

1. Secara urut pin ENA, IN 1 dan IN 2 pada modul dihubungkan pada pin 11, 12, dan 13 pada arduino UNO.
2. Secara urut pin ENB, IN 3 dan IN 4 pada modul dihubungkan pada pin 10, 8, dan 9 pada arduino UNO.
3. Pin 12V dan *ground* modul dihubungkan langsung ke sumber menggunakan adaptor 12V.



Gambar 3. Schematic Diagram Sistem Kontrol dan *Monitoring* PH Air

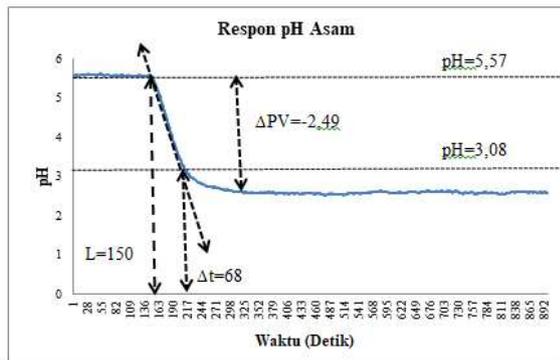
Perancangan sistem monitoring pH air pada alat ini yaitu dengan menghubungkan secara berurutan pin 16 (RX), 17 (TX), VCC dan GND pada modul ESP32 dengan pin 3 (TX), 2 (RX), 3,3V dan GND pada Arduino UNO. Rangkaian perancangan mikrokontroler secara keseluruhan ditunjukkan pada Gambar 3.

### 2.3 Perancangan Metode Kontrol PI

Langkah pertama dalam perancangan metode kontrol PI yaitu melakukan uji respon *open loop* sistem. Uji respon *open loop* sistem dilakukan dengan mencampurkan larutan *buffer* ke wadah pencampuran kapasitas 30 liter dengan nilai PWM motor yang konstan, kemudian mengamati perubahan pada respon sistem yang terbaca. Larutan *buffer* asam/basa yang digunakan yaitu campuran dari 50 ml asam/basa lemah dan air sebanyak 2 liter. Larutan campuran ini akan dialirkan oleh motor dengan

PWM 80 ke wadah pencampuran yang berisi air, dan di dalamnya telah dipasang sensor pH meter SEN0161-V2 untuk melakukan pembacaan pH yang terlarut dalam air. Hasil dari pembacaan sensor pH akan diplot ke bentuk grafik dan dilakukan pendekatan menggunakan metode IPDT (*Integrating Plus Dead Time*) untuk mencari pemodelan matematisnya.

### 2.3.1 Respon Sistem PH Asam



Gambar 4. Grafik Respon Sistem PH Asam

Dari pengujian yang telah dilakukan, didapatkan respon sistem seperti ditunjukkan pada Gambar 4, dapat dianalisis bahwa pada sistem terjadi penurunan nilai pH dari 5,57 menjadi 3,08. Selain itu, parameter-parameter IPDT dapat ditentukan melalui persamaan 1) dan 2).

1. Gain integrating proses ( $K^*$ )

$$K^* = \frac{\Delta PV / \Delta t}{\Delta CO} = \frac{3,08 - 5,57 / 68}{80 - 0} = -0,000457721 \dots\dots(1)$$

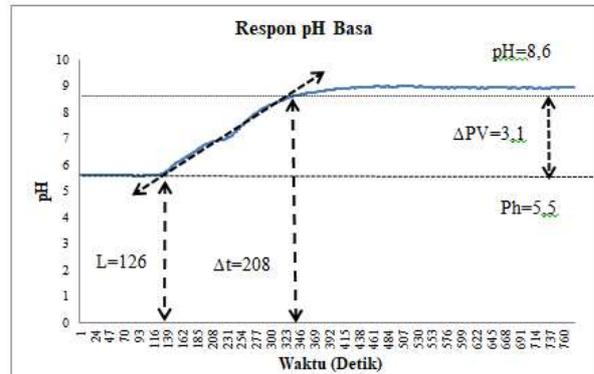
2. Keterlambatan transportasi proses (L)

$$L = 150 \text{ detik} \dots\dots\dots(2)$$

Dari persamaan (1) dan (2) dapat diketahui  $K^*=0,000457721$  dan  $L = 150$ , dari kedua parameter tersebut dapat dibentuk persamaan matematis dari sistem pH asam seperti ditunjukkan pada persamaan (3).

$$H(s) = \frac{-0,000457721}{s} e^{-150s} \dots\dots\dots(3)$$

### 2.3.2 Respon Sistem PH Basa



Gambar 5. Grafik Respon Sistem PH Basa

Dari pengujian yang telah dilakukan, didapatkan respon sistem seperti ditunjukkan pada Gambar 4, dapat dianalisis bahwa pada sistem terjadi kenaikan nilai pH dari 5,59 menjadi 8,6. Selain itu, parameter-parameter IPDT dapat ditentukan melalui persamaan (4) dan (5), yaitu:

1. Gain integrating proses ( $K^*$ )

$$K^* = \frac{\Delta PV / \Delta t}{\Delta CO} = \frac{8,6 - 5,59 / 208}{80 - 0} = 0,000180889 \dots\dots\dots(4)$$

2. Keterlambatan transportasi proses (L)

$$L = 126 \text{ detik} \dots\dots\dots(5)$$

Dari persamaan (4) dan (5) dapat diketahui  $K^*=0,000180889$  dan  $L = 126$ , dari kedua parameter tersebut dapat dibentuk persamaan matematis dari sistem pH basa seperti ditunjukkan pada persamaan (6).

$$H(s) = \frac{0,000180889}{s} e^{-126s} \dots\dots\dots(6)$$

### 2.4 Penalaan Metode Ziegler-Nichols 1

Rumus penentuan nilai  $K_p$  dan  $K_i$  berdasarkan metode Ziegler-Nichols 1 terdapat pada Tabel 1.

Tabel 1. Rumus Tuning PI Metode Ziegler-Nichols 1

Kontrol	$K_p$	$T_i$
P	$\frac{0,78}{L \cdot K^*}$	-
PI	$\frac{0,9}{L \cdot K^*}$	$3,3L$

### 2.4.1 Parameter Kontrol PH Asam

Dari persamaan (1) dan (2) dapat dilakukan perhitungan parameter *tuning* PI berdasarkan rumus pada Tabel 1. Berikut perhitungan nilai parameter  $K_p$ , dan  $K_i$  ditunjukkan pada persamaan (7) dan (9).

$$K_p = \frac{0,9}{L.K^*} = \frac{0,9}{150 \times 0,000457721} = 13,10843373.....(7)$$

$$T_i = 3,3.L = 3,3 \times 150 = 495.....(8)$$

$$K_i = \frac{K_p}{T_i} = \frac{13,10843373}{495} = 0,026481684.....(9)$$

### 2.4.2 Parameter Kontrol PH Basa

Dari persamaan (4) dan (5) dapat dilakukan perhitungan parameter *tuning* PI berdasarkan rumus pada Tabel 1. Berikut perhitungan nilai parameter  $K_p$ , dan  $K_i$  ditunjukkan pada persamaan (10) dan (12).

$$K_p = \frac{0,9}{L.K^*} = \frac{0,9}{126 \times 0,000180889} = 39,48742288$$

$$T_i = 3,3.L = 3,3 \times 126 = 415,8$$

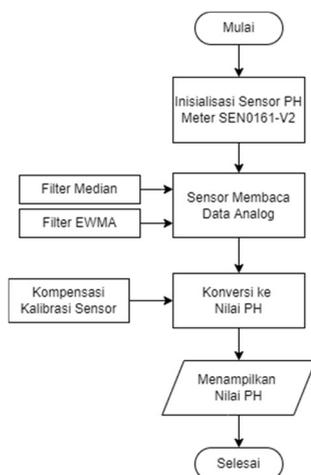
$$K_i = \frac{K_p}{T_i} = \frac{39,48742288}{415,8} = 0,094967347$$

## 2.5 Perancangan Akuisisi dan Monitoring Data

Perancangan sistem akuisisi dan monitoring data meliputi proses pembacaan data oleh sensor serta pengiriman ke *web-server* melalui modul ESP32.

### 2.5.1 Akuisisi Data pada Sensor PH SEN0161-V2

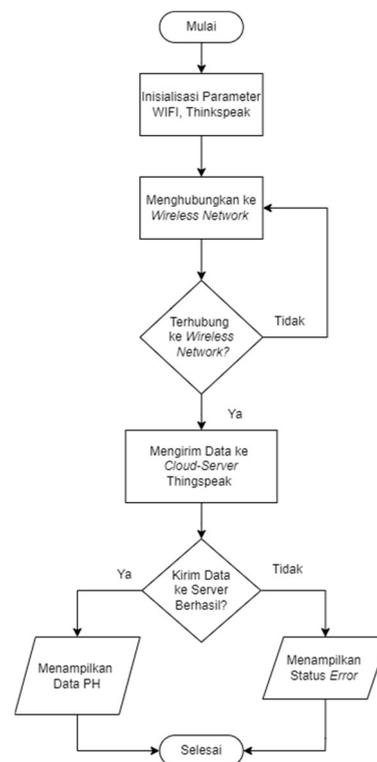
Diagram alir proses akuisisi data pada sensor pH SEN0161-V2 dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Diagram alir akuisisi data pada sensor pH SEN0161-V2

### 2.5.2 Pengiriman Data ke *Cloud-web Server*

Data hasil pembacaan pada kontroler Arduino Uno selanjutnya akan dikirimkan ke kontroler ESP32 melalui pin serial masing-masing papan. Data yang telah diterima oleh ESP32 kemudian akan diteruskan ke *cloud-web server* menggunakan komunikasi protokol HTTP. Diagram alir proses pengiriman data dari ESP32 ke *cloud-web server* ditunjukkan pada Gambar 7.

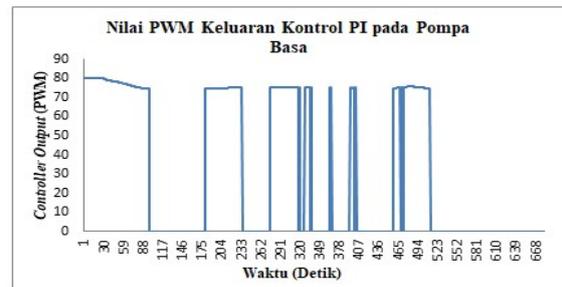
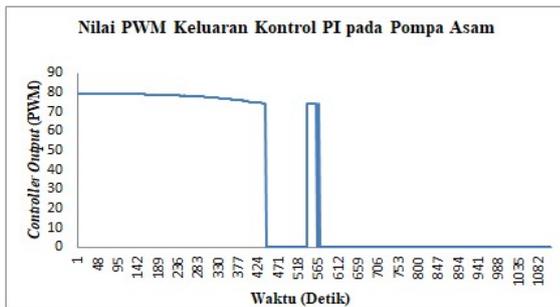
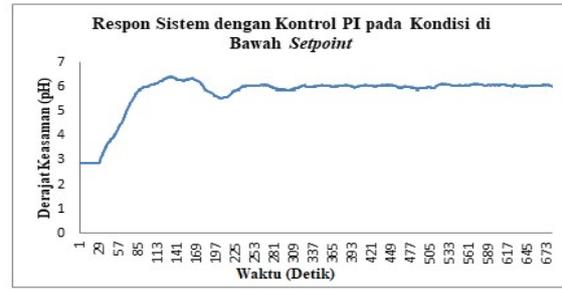


Gambar 7. Diagram alir pengiriman data dari ESP32 ke *cloud-web server*

## 3. Pengujian

### 3.1 Pengujian Kontrol PI pada Kondisi Di Atas *Setpoint*

Pengujian ini menggunakan  $K_p = 13,10843373$  dan  $K_i = 0,026481684$  untuk mengendalikan nilai pH air sesuai *set-point* sebesar 6,00. Kondisi awal pembacaan pH sebesar 9,81. Nilai *error* yang dihasilkan adalah 3,81. Nilai ini akan dikirim ke arduino uno dan diolah hingga menghasilkan sinyal kontrol berupa PWM. Sinyal kontrol tersebut akan dikirim ke motor pompa asam untuk menyuplai seberapa banyak cairan *buffer* asam ke dalam wadah hingga hasil pembacaan mencapai nilai *setpoint*. Hasil pengujian respon metode kontrol PI pada kondisi di atas *setpoint* seperti ditunjukkan pada Gambar 8 (a) dan (b).



Gambar 8. Respon Sistem dengan Kontrol PI Kondisi di Atas Setpoint  
(a) PH  
(b) Controller Output pada Pompa Asam

Gambar 9. Respon Sistem dengan Kontrol PI Kondisi di Bawah Setpoint  
(a) PH  
(b) Controller Output pada Pompa Basa

Dari pengujian yang telah dilakukan, didapatkan respon sistem seperti ditunjukkan pada Gambar 8 (a), dapat dianalisis bahwa sistem memiliki *delay time* ( $T_d$ ) sebesar 348 detik, *rise time* ( $T_r$ ) sebesar 254 detik, *settling time* ( $T_s$ ) sebesar 636 detik, nilai *overshoot* sebesar 2,79% dan nilai *time peak* ( $T_p$ ) pada detik ke-478. *Overshoot* pada respon sistem terjadi karena adanya keterlambatan transportasi proses ( $L$ ). Hal ini menyebabkan ketika pH sesungguhnya sudah mencapai *setpoint*, tetapi pada sensor belum terbaca nilainya, sehingga pompa akan terus memompa dan terjadilah *overshoot*. Sedangkan pada Gambar 8 (b), dapat diketahui bahwa ketika pH berada di nilai  $\leq 6$ , maka nilai keluaran PWM pada pompa asam akan bernilai 0.

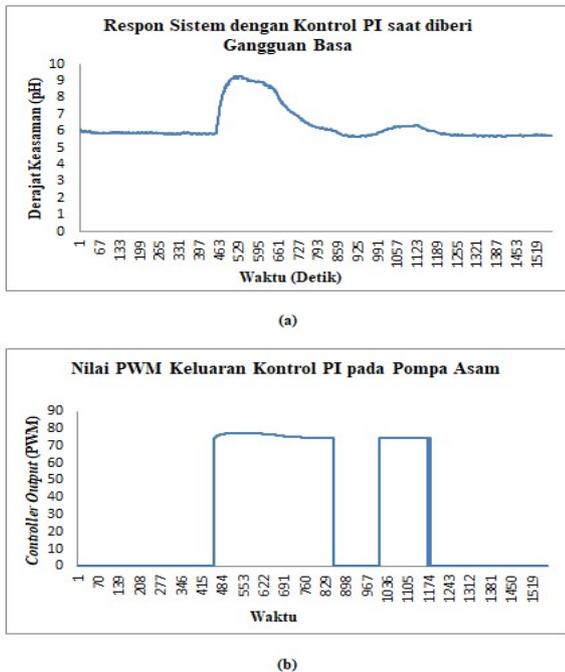
Dari pengujian yang telah dilakukan, didapatkan respon sistem seperti ditunjukkan pada Gambar 9 (a), dapat dianalisis bahwa sistem memiliki  $T_d$  sebesar 59 detik,  $T_r$  sebesar 48 detik,  $T_s$  sebesar 235 detik, nilai *overshoot* sebesar 7,83% dan nilai  $T_p$  pada detik ke-204. Adanya *overshoot* pada respon sistem, diakibatkan karena adanya keterlambatan transportasi proses ( $L$ ). Hal ini menyebabkan ketika pH sesungguhnya sudah mencapai *setpoint*, tetapi pada sensor belum terbaca nilainya, sehingga pompa akan terus memompa dan terjadilah *overshoot*. Sedangkan pada Gambar 9(b), dapat diketahui bahwa ketika pH berada di nilai  $\geq 6$ , maka nilai keluaran PWM pada pompa basa akan bernilai 0.

### 3.2 Pengujian Kontrol PI pada Kondisi Di Atas Setpoint

Pengujian ini menggunakan  $K_p = 39,48742288$  dan  $K_i = 0,094967347$  untuk mengendalikan nilai pH air sesuai *set-point* sebesar 6,00. Kondisi awal pembacaan pH sebesar 2,88. Nilai *error* yang dihasilkan adalah 3,12. Nilai ini akan dikirim ke arduino uno dan diolah hingga menghasilkan sinyal kontrol berupa PWM. Sinyal kontrol tersebut akan dikirim ke motor pompa basa untuk menyuplai seberapa banyak cairan *buffer* basa ke dalam wadah hingga hasil pembacaan mencapai nilai *setpoint*. Hasil pengujian respon metode kontrol PI pada kondisi di bawah *setpoint* seperti ditunjukkan pada Gambar 9 (a) dan (b).

### 3.3 Pengujian Kontrol PI diberi Gangguan Basa

Pengujian ini menggunakan  $K_p = 13,10843373$  dan  $K_i = 0,026481684$  untuk mengendalikan nilai pH air sesuai *set-point* sebesar 6,00. Kondisi awal pembacaan pH sebesar 5,9 (keadaan *steady*). Kemudian diberikan cairan basa KOH sebanyak 30 ml ke dalam wadah pencampuran, sehingga pembacaan menjadi 9,28. Nilai *error* yang dihasilkan adalah 3,38. Nilai ini akan dikirim ke arduino uno dan diolah hingga menghasilkan sinyal kontrol berupa PWM. Sinyal kontrol tersebut akan dikirim ke motor pompa asam untuk menyuplai seberapa banyak cairan *buffer* asam ke dalam wadah hingga hasil pembacaan mencapai nilai *setpoint*. Hasil pengujian respon metode kontrol PI saat diberi agngguan basa seperti ditunjukkan pada Gambar 10 (a) dan (b).



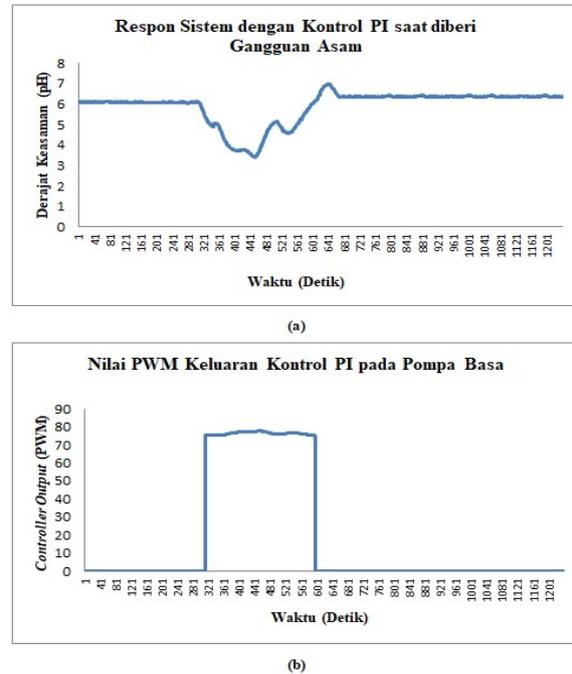
Gambar 10. Respon Sistem dengan Kontrol PI diberi Gangguan Basa  
 (a) PH  
 (b) Controller Output pada Pompa Asam

Dari pengujian yang telah dilakukan didapatkan respon sistem seperti ditunjukkan pada Gambar 10 (a), dapat dianalisis bahwa sistem saat diberi gangguan basa sebanyak 30 ml di detik ke-454 pada air dengan pH *steady* sebesar 5,9 naik menjadi 9,28. Sehingga *error* yang dihasilkan sebesar 57,28%. Respon sistem mengalami *overshoot* sebesar 10,8% dengan nilai  $T_p$  pada detik ke-1117. Dan sistem mencapai *steady*-nya kembali pada detik ke-1263 atau 809 detik sejak diberikan gangguan. Adanya *overshoot* pada respon sistem, diakibatkan karena adanya keterlambatan transportasi proses (L). Hal ini menyebabkan ketika pH sesungguhnya sudah mencapai *setpoint*, tetapi pada sensor belum terbaca nilainya, sehingga pompa akan terus memompa dan terjadilah *overshoot*. Sedangkan pada Gambar 10 (b), dapat diketahui bahwa ketika pH berada di nilai  $\leq 6$ , maka nilai keluaran PWM pada pompa asam akan bernilai 0.

### 3.4 Pengujian Kontrol PI diberi Gangguan Asam

Pengujian ini menggunakan  $K_p = 39,48742288$ , dan  $K_i = 0,094967347$  untuk mengendalikan nilai pH air sesuai *set-point* sebesar 6,00. Kondisi awal pembacaan pH sebesar 6,1 (keadaan *steady*). Kemudian diberikan cairan asam  $H_3PO_4$  sebanyak 30 ml ke dalam wadah pencampuran, sehingga pembacaan menjadi 3,42. Nilai *error* yang dihasilkan adalah 2,68. Nilai ini akan dikirim ke arduino uno dan diolah hingga menghasilkan sinyal kontrol berupa PWM. Sinyal kontrol tersebut akan

dikirim ke motor pompa basa untuk menyuplai seberapa banyak cairan *buffer* basa ke dalam wadah hingga hasil pembacaan mencapai nilai *setpoint*. Hasil pengujian respon metode kontrol PI saat diberi gangguan asam seperti ditunjukkan pada Gambar 11 (a) dan (b).



Gambar 11. Respon Sistem dengan Kontrol PI diberi Gangguan Asam  
 (a) PH  
 (b) Controller Output pada Pompa Basa

Dari pengujian yang telah dilakukan didapatkan respon sistem seperti ditunjukkan pada Gambar 11 (a), dapat dianalisis bahwa sistem saat diberi gangguan asam sebanyak 30 ml di detik ke-308 pada air dengan pH *steady* sebesar 6,1 turun menjadi 3,42. Sehingga *error* yang dihasilkan sebesar 43,93%. Respon sistem mengalami *overshoot* sebesar 9,71% dengan nilai  $T_p$  pada detik ke-643. Dan sistem mencapai *steady*-nya kembali pada detik ke-666 atau 358 detik sejak diberikan gangguan. Adanya *overshoot* pada respon sistem, diakibatkan karena adanya keterlambatan transportasi proses (L). Hal ini menyebabkan ketika pH sesungguhnya sudah mencapai *setpoint*, tetapi pada sensor belum terbaca nilainya, sehingga pompa akan terus memompa dan terjadilah *overshoot*. Sedangkan pada Gambar 11 (b), dapat diketahui bahwa ketika pH berada di nilai  $\geq 6$ , maka nilai keluaran PWM pada pompa basa akan bernilai 0.

### 3.5 Pengujian Monitoring Pada Sistem

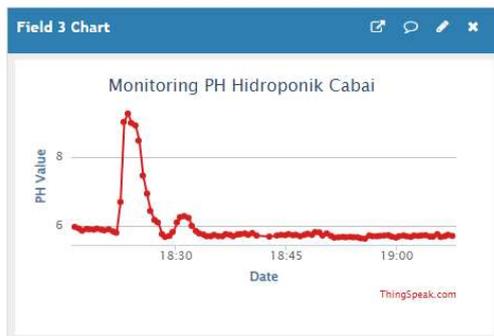
Pengujian monitoring yang dilakukan yaitu membandingkan nilai yang terkirim pada *web-server* Thingspeak apakah memiliki nilai yang sama dengan nilai yang ditampilkan pada *serial monitor* pada Arduino IDE.

Nilai perbandingan antara *serial monitor* dengan *web-server* Thingspeak ditunjukkan pada Tabel 2.

**Tabel 2. Perbandingan nilai *serial monitor* dengan Thingspeak serta persentase *error*.**

Data ke-	Nilai <i>Serial Monitor</i>	Nilai Thingspeak	<i>Error</i> (%)
11	5,96	5,97	0,16
124	5,9	5,91	0,16
349	5,89	5,9	0,16
499	9,03	9	0,33
574	8,97	8,97	0
649	8,45	8,46	0,11
724	6,92	6,93	0,14
800	6,15	6,17	0,32
1249	5,77	5,78	0,17
1473	5,69	5,7	0,17
Rata-rata <i>error</i> (%)			0,17

Dari Tabel 2, dapat diketahui bahwa persentase *error* dari komunikasi serial sebesar 0,17%. Maka dapat disimpulkan, bahwa pengiriman data dari arduino uno melalui modul ESP32 berhasil dilakukan dengan baik. Tampilan grafik pembacaan pH pada *web-server* Thingspeak ditunjukkan pada Gambar 12.



**Gambar 12. Grafik pembacaan pH pada *web-server* Thingspeak**

## 4. Penutup

### 4.1 Kesimpulan

Pada penelitian, dilakukan 4 kali pengujian dengan kondisi yang berbeda. Pengujian pertama, kondisi awal nilai PH berada di bawah setpoint, menghasilkan overshoot sebesar 2,79% dengan parameter transient:  $t_d = 348$ ;  $t_r = 254$ ;  $t_s = 636$ ;  $t_p = 478$ . Pengujian kedua dilakukan dengan kondisi nilai PH di atas setpoint, didapatkan overshoot sebesar 7,83% dengan parameter

transient:  $t_d = 59$ ;  $t_r = 48$ ;  $t_s = 235$ ;  $t_p = 204$ . Pengujian ketiga, sistem diberikan gangguan berupa penambahan cairan PH basa, didapatkan overshoot 10,8% dengan  $t_p = 1117$ . Terakhir, sistem diberi gangguan penambahan cairan PH asam, didapatkan overshoot sebesar 9,71% dengan nilai  $t_p = 643$ . Overshoot yang dihasilkan disebabkan oleh adanya faktor keterlambatan respons ( $L$ ) yang cukup besar dan kurangnya data pendukung dari parameter kualitas air yang lain. Selain itu, pada perancangan monitoring, telah berhasil dibuat dengan semua data yang terbaca berhasil dikirimkan.

## 4.2 Saran

1. Dapat diteliti lebih lanjut perbandingan hasil sistem kontrol antara metode PI dengan metode kontrol lainnya.
2. Melakukan penambahan sensor lainnya guna mendapatkan variabel yang lebih terkontrol serta minim *error*.
3. Menambahkan pengaduk agar dapat mengurangi nilai keterlambatan transportasi sistem ( $L$ ) yang menyebabkan adanya *overshoot* pada respon sistem.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. A. Jeklin, "Outlook Komoditas Pertanian Sub Sektor Hortikultura Cabai Merah 2016," no. July, pp. 1–23, 2016.
- [2]. Susilawati, Dasar – Dasar Bertanam Secara Hidroponik. 2019.
- [3]. M. N. Simanjuntak, T. Andromeda, and Y. A. A. Soetrisno, " Perancangan Sistem Monitoring dan Kendali Derajat Keasaman (PH) pada Hidroponik Nutrient Film Technique (NFT) menggunakan Metode Kontrol PID," Transient: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro, vol. 1, no. 4, May. 2021.
- [4]. I. Setiawan, Kontrol PI Untuk Proses Industri, no. March. 2008.
- [5]. D. Ardiyansyah, "Sistem Kontrol Nutrisi untuk Tanaman Sayur Buah Hidroponik Berbasis Fuzzy Logic," Univ. Bhayangkara Surabaya, 2020.