



## Alat Pengendali Derajat PH Pada Sistem Hidroponik Tanaman Pakcoy Berbasis Arduino Uno Menggunakan Metode PID

Nugroho Tri Cahyo Sulistiyo<sup>1)</sup>, Danang Erwanto<sup>2)</sup>, Aulia Dewi Rosanti<sup>3)</sup>

<sup>1), 2)</sup> Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Islam Kediri

<sup>3)</sup> Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Islam Kediri

Jl Sersan Suharmaji No.38, Manisrenggo, Kediri

Email : Nugrohouniska@gmail.com

Received: December 26th, 2018. Accepted: June 9th, 2019

### ABSTRAK

Salah satu alternatif bercocok tanam sayuran selain konvensional dan sebagai solusi masalah keterbatasan lahan di perkotaan, yaitu dengan menerapkan metode tanam hidroponik *Deep Flow Technique (DFT)*. Metode ini merupakan teknik budidaya tanaman tanpa menggunakan tanah, dimana pertumbuhan akar tanaman berada dalam larutan nutrisi hara. Seiring penerapan teknologi hidroponik timbul beberapa masalah baru yaitu kurang optimalnya hasil tanam. Salah satu faktor yang mempengaruhi adalah parameter pH yang harus di pantau secara berkala. Artikel ini membahas tentang bagaimana merancang alat pengendali derajat pH secara otomatis dengan menerapkan kontrol PID. Adapun perangkat kontrol meliputi mikrokontroler arduino uno, analog sensor pH, dan pompa peristaltik sebagai *aktuator* larutan asam atau basa. Performansi alat yang dirancang cukup baik dengan kesalahan rata-rata *error* pembacaan sensor pH 2,48%, Alat kendali mampu mempertahankan pH pada kisaran *setpoint* 6-7 dengan hasil tuning PID ( $K_p = 2.3$ ,  $K_i = 0.04$ ,  $K_d = 0.02$ ) respon pertumbuhan tanaman pakcoy tinggi rata-rata 19,82 cm dan jumlah daun 14 helai terlihat warna daun lebih segar selama 30 HST.

Kata kunci: *PID, Sensor pH, Deep Flow Technique, Pakcoy*

### ABSTRACT

*One alternative to cultivate vegetables besides conventional and as a solution to the problem of limited land in urban areas, namely by applying the hydroponic planting method Deep Flow Technique (DFT). This method is a cultivation technique without using soil, where the growth of plant roots is in nutrient nutrient solution. Along with the application of hydroponic technology, there are a number of new problems, namely less optimal crop yields. one of the influencing factors is the pH parameter that must be monitored periodically. This article discusses how to design pH degree control devices automatically by applying PID controls. The control setting includes an Arduino Uno microcontroller, an analog pH sensor, and a peristaltic pump as an acid or base solution actuator. The performance of the device is designed quite well with an average error error of pH sensor reading of 2.48%, the control device is able to maintain pH in the 6-7 setpoint range with PID tuning results ( $K_p = 2.3$ ,  $K_i = 0.04$ ,  $K_d = 0.02$ ) growth response pakcoy plants average height 19.82 cm and the number of leaves 14 strands looks fresher leaf color for 30 HST.*

Keywords: *PID, pH sensor, Deep Flow Technique, Pakcoy*

## PENDAHULUAN

Pakcoy (*Brassica Rapa L*) merupakan jenis sayuran yang termasuk keluarga *brassicaceae*. memiliki berbagai kandungan gizi yang bermanfaat bagi kesehatan tubuh, seperti kandungan vitamin A, E dan K. Vitamin K berhasiat pada proses pembekuan darah, sehingga sering disebut vitaminkoagulasi. Sedangkan vitamin E bermanfaat bagi kesehatan kulit[1].

Manfaat lainnya yaitu meringankan batuk, menyembuhkan sakit kepala, memperbaiki fungsi ginjal dan memperlancar pencernaan. Biji pakcoy biasa dimanfaatkan sebagai bahan minyak serta pelezat makanan. Pakcoy juga mengandung banyak gizi seperti kalori, protein, lemak nabati, karbohidrat, serat, Ca, P, Fe, Vitamin A, B dan C [2].

Budidaya pakcoy biasa dilakukan secara konvensional pada tanah, dengan seiring perkembangan teknologi pertanian ada salah satu alternatif budidaya pakcoy memanfaatkan teknologi hidroponik *Deep Flow Technique (DFT)* yaitu metode budidaya tanaman tanpa menggunakan tanah, dengan memanfaatkan pertumbuhan akar tanaman berada dalam genangan larutan nutrisi hara[3].

Seiring penerapan hidroponik timbul beberapa masalah baru seperti kurang optimalnya hasil tanam, salah satu faktor yang mempengaruhi adalah parameter pH (derajat keasaman). Tinggi rendahnya pH berpengaruh pada ketersediaan beberapa mineral yang dibutuhkan tanaman. Pada kenyataannya pH pada bak larutan nutrisi mudah berubah karena ketidakseimbangan antara anion dan kation yang diserap akar tanaman, seiring dengan dialirkannya air secara terus menerus. Dengan demikian pH harus di upayakan tetap stabil pada kisaran tertentu menyesuaikan jenis tanamannya dan apabila di abaikan akibatnya tanaman akan menampilkan defisiensi unsur hara tertentu[4]. Penurunan atau peningkatan nilai pH biasa dilakukan secara konvensional dengan menambahkan larutan senyawa asam atau basa secara sedikit demi sedikit dengan

konsentrasi tertentu hingga tercapai derajat pH yang diinginkan dengan menggunakan bantuan pH meter digital. Larutan yang biasa digunakan yaitu  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , atau  $\text{H}_2\text{SO}_4$  untuk asam dan senyawa KOH untuk basa [5].

Pengaturan pH pada saat ini masih tergolong manual atau dengan cara konvensional, yang mengharuskan petani untuk selalu memantau dan menjaga keadaan pH air nutrisi secara berkala agar derajat pH untuk pakcoy berada kisaran pH 6 sampai dengan pH 7. Sehingga dengan cara ini masih dikatakan kurang efektif. Berdasarkan uraian diatas maka dilakukan penelitian tentang perancangan alat untuk pengendalian pH yang dapat secara otomatis mengatur kondisi pH air sesuai dengan batas yang dibutuhkan tanaman dengan menggunakan larutan penambah (KOH) dan larutan pengurang ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ). Tanaman yang diatur pada sistem kendali pH adalah tanaman pakcoy yang berada pada kisaran pH 6 sampai dengan pH 7 maka harus di upayakan untuk tetap berada pada kisaran angka tersebut, maka dengan adanya penelitian ini diharapkan alat yang dirancang dapat menstabilkan pH, sehingga mendapatkan hasil tanam secara optimal[6].

### A. Sistem kontrol Hidroponik

Sistem kontrol hidroponik merupakan alat yang digunakan untuk mengendalikan kondisi lingkungan budidaya tanaman hidroponik yang bertujuan mengatur pertumbuhan dari tanaman agar dapat tumbuh optimal. Hasil yang diharapkan dapat berupa buah ataupun daun dari tanaman jenis sayuran. Parameter yang dikontrol dapat berupa tingkat intensitas pencahayaan yang digunakan untuk membantu proses fotosintesis, konsentrasi kandungan larutan nutrisi, kelembaban *greenhouse*, suhu, udara atau pengaturan nilai derajat keasaman pH nutrisi agar penyerapan nutrisi hara oleh akar bisa maksimal [9]. Beberapa metode kontrol juga telah digunakan untuk mengontrol pertumbuhan tanaman hidroponik, seperti PID (*Proportional Integral Derivative*), dan Metode *Fuzzy Logic Controller*.

Kontrol PID (*Proportional Integral Derivative*) pernah digunakan untuk mengontrol pH pada sistem hidroponik, Kontrol dilakukan dengan membandingkan nilai kadar aktual yang terbaca oleh sensor pH dengan nilai target *Setpoint*, hasil perbandingan PID diubah menjadi aksi menjalankan kecepatan pompa tangki berisi larutan asam dan basa hingga dicapai nilai kadar pH yang diinginkan [7].

Metode *Fuzzy Logic Controller* pernah digunakan untuk mengontrol nutrisi sistem hidroponik NFT (*Nutrien Film Technique*), Sistem kontrol yang dibangun mengatur laju volume pemberian nutrisi melalui bukaan *valve* pada sistem hidroponik tanaman Selada (*Lactuca Sativa L*)[8].

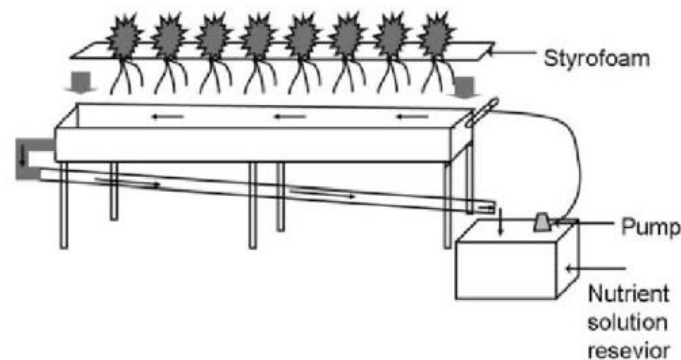
Pengaturan suhu dan pH pada air dengan penambahan larutan pH dilakukan secara titrasi menggunakan *solenoid valve* telah digunakan pada Rancangan otomasi kontrol temperatur dan

pH Air pada kebun hidroponik tanaman selada Keriting [9].

Pengontrolan volume dan pH pada air menggunakan arduino uno pernah dilakukan dengan mengukur dan mengontrol dengan sensor ultrasonic dan sensor pH kendali dilakukan dengan mengontrol relay 4 *channel* sebagai aksi buka tutup pompa air [10].

### B. Sistem Deep Flow Technique (DFT).

Sistem Hidroponik DFT adalah metode budidaya tanaman dengan meletakkan akar tanaman dalam air. Prinsip kerja dari sistem hidroponik DFT yaitu mensirkulasikan larutan nutrisi tanaman secara terus menerus selama 24 jam dengan menggunakan motor untuk memompa larutan nutrisi. Teknik hidroponik ini dikategorikan system hidroponik tertutup. Umumnya penerapan teknik ini digunakan pada budidaya tanaman daun dan sayuran buah [11].



Gambar 1. Sistem Hidroponik DFT[12]

Teknik DFT dengan menggunakan sistem pipa, dimana aliran nutrisi dengan kedalaman 2 sampai 3 cm dialirkan pada pipa PVC berdiameter 10 cm dan pada pipa tersebut diletakkan tanaman dalam netpot sehingga tanaman akan menerima nutrisi yang mengalir. Pada netpot terdapat material seperti arang sekam atau *rokwool* sebagai tumpuan akar dan bagian bawah dari material tersebut menyentuh larutan nutrisi yang mengalir. Pipa PVC dapat dirangkai dalam satu bidang atau zig zag, tergantung pada jenis tanaman yang dibudidayakan. Sistem rangkaian pipa zigzag

lebih memanfaatkan tempat secara efisien, namun hanya dapat dipraktikkan pada tanaman yang mempunyai dengan tinggi tanaman yang rendah. Sedangkan sistem rangkaian satu bidang dapat dipraktikkan pada tanaman yang tinggi atau rendah [13].

### C. Sensor Analog pH

pH meter adalah alat laboratorium yang berfungsi untuk mengukur derajat keasaman atau kebasaan suatu larutan. Prinsip kerja pH meter terdiri dari pengukuran *probe* pH (*elektroda* gelas) yang mengukur dan menampilkan pH yang terukur. Semakin banyak elektron pada sampel maka akan semakin

bernilai asam begitu pula sebaliknya, batang *Probe* pH meter berisi larutan *elektrolit* lemah untuk mengukur aktifitas ion-ion hidrogen yang mengelilingi bohlam kaca berdinding tipis pada ujungnya. *Probe* ini menghasilkan tegangan rendah sekitar 0.06 volt/pH yang diukur dan ditampilkan sebagai pembacaan nilai larutan pH. Rangkaian pH meter terdiri dari rangkaian operasional *amplifier* yang memiliki konfigurasi pembalik, dengan total gain tegangan kurang lebih -17. *Amplifier* mengkonversi tegangan rendah yang dihasilkan oleh probe +0.059 volt/pH, yang mana kemudian dibandingkan dengan tegangan referensi untuk memberikan hasil pembacaan pada skala pH [14].

**D. Pompa peristaltik**

Pompa *Peristaltik* adalah jenis pompa perpindahan positif yang digunakan untuk memompa berbagai cairan. Tabung *fleksibel* dipasang melingkar di dalam casing pompa mengandung fluida. Sebuah baling-baling melekat pada lingkaran luar tabung *fleksibel*. Ketika baling-baling bergerak, bagian bawah tabung akan tertekan dan terjepit sehingga menjadi tertutup, dan akhirnya akan memaksa cairan yang akan dipompa untuk bergerak melalui tabung. Kemudian tabung akan terbuka seperti keadaan semula. Setelah meninggalkan roda, aliran fluida akan diinduksi ke pompa [15].

Pompa *peristaltik* bekerja dengan tekanan dan perpindahan. Hal ini digunakan terutama untuk

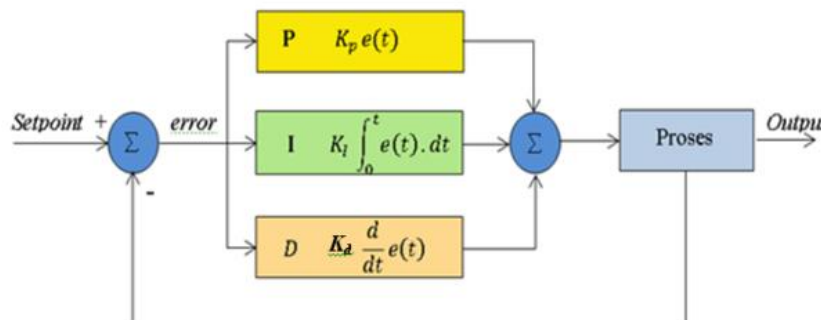
pompa cairan melalui tabung, yang membedakan dari pompa lain yaitu dimana bagian dari pompa lain benar-benar masuk kedalam bersentuhan langsung dengan cairan. Mekanisme kerja pompa *peristaltik* tidak pernah bersentuhan langsung dengan cairan steril diperlukan sehingga larutan kimia yang bersifat korosif tidak akan berpengaruh pada kinerja pompa [15].



Gambar 2. Pompa peristaltik

**E. Konsep Dasar Kendali PID**

Konsep kendali PID (*Proporsional, Integral, Derivative*) merupakan suatu metode kontrol yang mampu memperbaiki tingkat akurasi dari suatu system (*plant*) yang memiliki karakteristik umpan balik (*feedback*) pada system *close loop*. Pengendali PID mampu menghitung dan meminimalisir nilai kesalahan (*error*) atau selisih antara *output* dari proses dan *input dari nilai setpoint* yang di tentukan sebagai target system. Gambar 3 ini merupakan blok diagram kontrol PID [16].



Gambar 3. Blok Diagram Kontrol PID

**1. Kendali proporsional**

Pengendali *proporsional* atau Gain bertindak sebagai penguat yang mampu mengubah output

dari sistem secara proporsional tanpa memberikan efek dinamik pada kinerja pengendali tersebut. Respon dari kendali

*proporsional* dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$u(t) = K_p e(t)$$

Kontrol dengan pengaturan *proporsional* dapat memperbaiki respon transien dari sistem yaitu khususnya *rise time*. Kendali ini juga mampu memperbaiki *setting time* dari sistem [16].

## 2. Kendali Integral

Pengendali *integral* atau *Reset* merupakan pengendali yang berfungsi untuk memperbaiki respon *steady state* dari sistem sehingga kendali ini mampu memperbaiki *error* sistem. Respon kendali *integral* dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$u(t) = K_I \int_0^t e(t) \cdot dt$$

Dengan mengatur nilai konstanta *integral* yang tepat, nilai *error steady state* dapat diper kecil dalam waktu yang lebih cepat sehingga nilai *output* akan lebih cepat mengikuti nilai *setpoint*[16]:

## 3. Kendali Derivative

Pengendali *derivative* atau *rate* merupakan suatu kendali yang berfungsi untuk memperbaiki respon transien dari sistem. Respon kendali *derivative* dinyatakan dalam persamaan berikut ini [16]:

$$u(t) = K_P \frac{d}{dt} e(t)$$

## METODE PENELITIAN

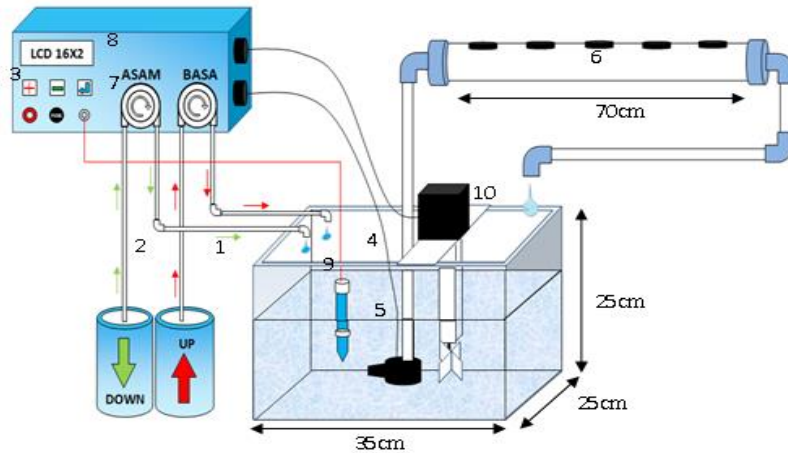
Tahapan dalam penelitian ini terbagi menjadi beberapa bagian yaitu perancangan awal meliputi perancangan perangkat keras (*Hardware*) meliputi perancangan modul Hidroponik *Deep Flow Technique* dan kelistrikan perangkat elektronik kendali. Kemudian perancangan perangkat lunak (*Software*) dengan prinsip kendali PID yang diprogram pada *software* Arduino IDE.

## A. Perancangan Modul Hidroponik *Deep Flow Technique* (DFT).

Perancangan modul sistem hidroponik *Deep Flow Technique* (DFT) meliputi perancangan bak penampungan nutrisi, pipa digunakan sebagai media untuk meletakkan netpot sebagai tempat pertumbuhan tanaman hidroponik dan instalasi perangkat kendali pH.

Bak penampungan nutrisi pada skripsi ini dibuat dari bahan kaca 5mm dibentuk seperti akuarium dengan ukuran 35x25x25 dengan kapasitas penampungan air ±20 liter, digunakan pompa air mini dengan spesifikasi daya 25watt. max = 1,2 m dan F. max 1300 L/H pompa ini digunakan sebagai pompa aliran siklus air dalam pipa pertumbuhan sehingga nutrisi dapat mengalir mengenai akar tanaman pada pipa pertumbuhan. Pipa pertumbuhan di buat dari bahan *Poly Vinyl Chloride* (PVC) berdiameter 3” dengan panjang 70cm dibuat 5 lubang netpot tanaman serta panjang siklus aliran 200cm, karena menggunakan sistem DFT pipa dirancang dengan kemiringan cenderung datar agar apabila terjadi pemadaman listrik untuk akar tanaman masih tersedia sekitar 2-3 cm yang menjadi salah satu kelebihan sistem DFT dan air dapat mengalir dengan debit ±1-2 Liter/menit

Perancangan instalasi perangkat kendali pH terdiri dari aliran masukan selang untuk mengalirkan larutan asam atau basa, peletakan sensor pH, serta pengaduk, (*stir*). Selang yang digunakan yaitu selang silicon agar tidak terpengaruh oleh sifat kimia larutan asam atau basa, selang yang digunakan dengan diameter 3mm sesuai dengan neple output pompa peristaltik. Peletakan *purb* sensor pH dalam akuarium tepatnya di tengah dari masukan asam atau basa hal ini diasumsikan agar masukan bahan yang di injek lebih cepat terbaca oleh sensor. Serta pengaduk (*Stir*) diletakan pada bagian tengah bak, agar dapat Mengaduk secara merata. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat desain perancangan pada Gambar desain rancangan dapat dilihat pada Gambar 4.

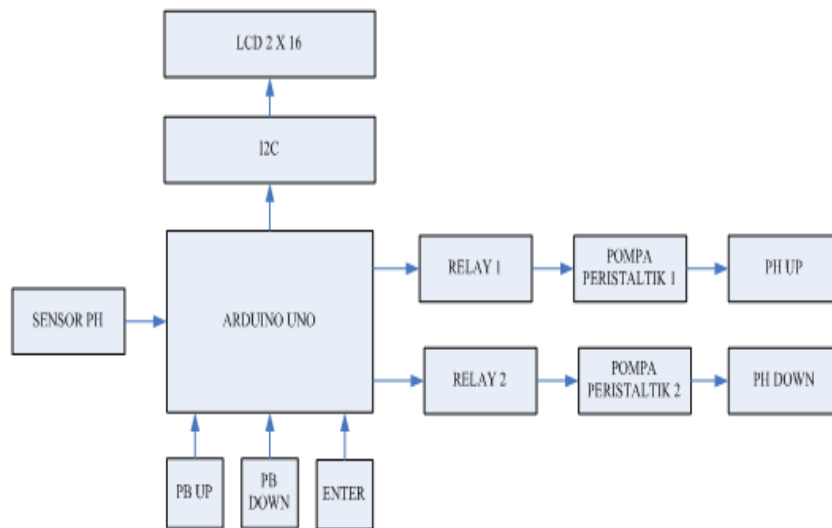


Gambar 4. Desain Sistem Pengendalian pH pada hidroponik system DFT.

**B. Perancangan Perangkat Hardware Kendali pH**

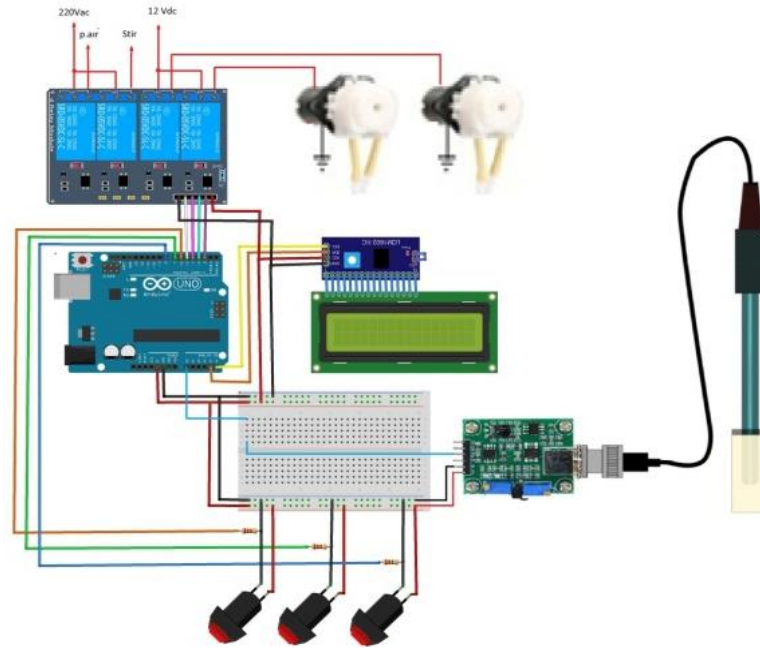
Dalam perancangan perangkat keras, terdapat beberapa komponen yang diperlukan untuk mengontrol derajat pH, yaitu digunakan Arduino Uno sebagai unit pengontrol dan pengolah data dari sensor pH. Sensor pH sebagai komponen pengukur untuk mengidentifikasi derajat pH air nutrisi. Pompa

peristaltik untuk mengalirkan larutan penambah pH Up (KOH) dan pengurang pH Down ( $H_3PO_4$ ). Driver relay sebagai saklar elektronik untuk menggerakkan pompa peristaltik, stirrer dan pompa akuarium. Liquid Crystal Display (LCD) 2 x 16 sebagai layar display. *Inter Integrated Circuit* (I2C) digunakan untuk meringkas pin I/O pada LCD. Secara lengkap diagram blok hardware ditampilkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Blok Diagram Hardware

Rangkaian kelistrikan alat pengendali pH untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 6.

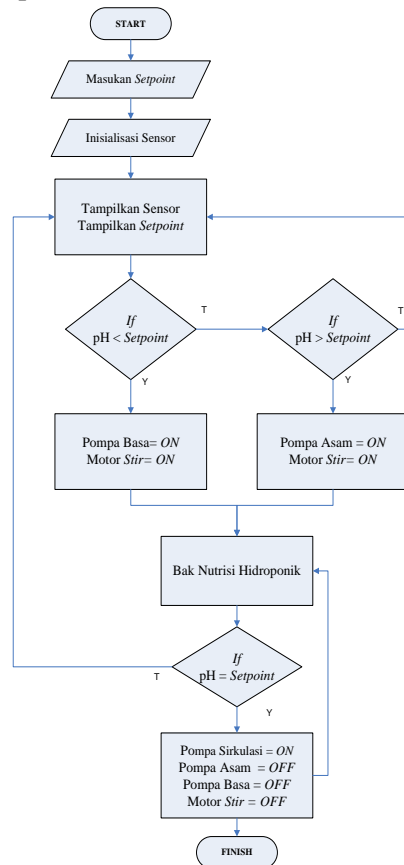


Gambar 6. Skematik rangkaian pengendali pH

### C. Perancangan Software

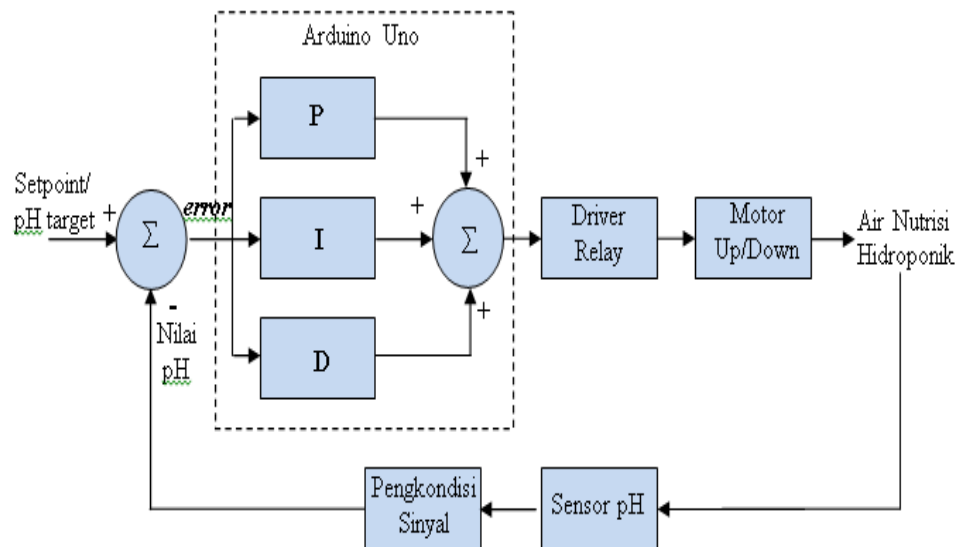
Perancangan perangkat lunak, Software menggunakan arduino IDE. Diperlukan beberapa program yang harus dibuat untuk dapat membaca sensor dan mengontrol pH sesuai nilai

setpoint yang ditentukan yakni antara rentang 6-7, untuk menjalankan perintah tersebut. Tahapan pembuatan program arduino tersebut dapat dilihat di dalam *flowchart* pada Gambar 7.



Gambar 7. Flowchart Program

## 1. Perancangan Sistem Kontrol pH Air Menggunakan PID



Gambar 8. Blok diagram pengendalian pH

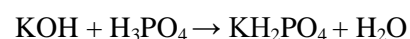
Berdasarkan dari gambar 8 terdapat dua masukan yaitu dari nilai *Setpoint* dan yang diperoleh dari *feedback* pembacaan sensor pH. Nilai masukan yang berasal dari pembacaan aktual sensor pH dapat berubah sesuai dengan keadaan air nutrisi hidroponik. Kedua nilai masukan pada arduino uno kemudian di bandingkan sehingga menghasilkan selisih yaitu *setpoint* dikurangi nilai pH. Hasil selisih perbandingan inilah yang akan di proses pada arduino dengan aturan rumus PID ( $K_p$ ,  $K_i$  dan  $K_d$ ) sehingga akan di dapat parameter dengan hasil penjumlahan antara P+I+D. Selanjutnya parameter PID akan di proses dengan nilai *error* yaitu jika ( $PID \geq -1$ ) maka *driver relay* motor basa = *high*, jika ( $PID \geq -1$ ) && ( $PID \leq 1$ ) *driver relay* motor = *low* dan jika ( $PID \leq 1$ ) maka *driver relay* motor asam = *high* pada aksi ini digunakan sebagai aksi *ON/Off* sebagai aktuatur pompa peristaltik karena pada reaksi kimia ini tergolong respon lambat.

## 2. Penetrulan Asam-Basa

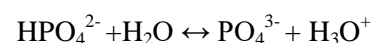
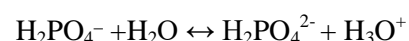
Reaksi penetrulan (*Neutralization reaction*), penetapan derajat pH suatu larutan

Prinsip kerja keseluruhan sistem kendali pH dengan menggunakan kontrol PID pada bak nutrisi Hidroponik dapat di tunjukan pada gambar 8.

menggunakan asam dan basa yang ditambahkan secara bertahap pada larutan lain hingga reaksi kimia tersebut berlangsung sempurna. Reaksi asam dengan basa dalam medium air menghasilkan air dan garam (*salt*), yang merupakan senyawa ionic yang terbentuk dari suatu kation selain  $H^+$  dan suatu anion selain  $OH^-$ . Penetrulan dengan asam-basa (Asam posphat + Kalium Hidroksida), yang mewakili oleh persamaan berikut:



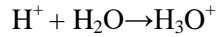
**Asam triprotik** (*Triprotik acid*) menghasilkan tiga ion  $H^+$ , keberadaanya relative sedikit. *Asam triprotik* yang paling banyak di kenal adalah asam fosfat. Reaksi Asam posphat dengan air yang prosesionisasinya adalah:



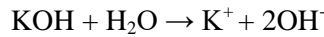
Ketiga spesi ( $H_3PO_4$ ,  $H_2PO_4^-$  dan  $HPO_4^{2-}$ ) merupakan asam lemah, dan menggunakan panah dengan dua arah untuk menunjukan tiap



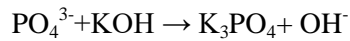
tahap ionisasi. Asam melepaskan  $H^+$  (*proton*) tidak mungkin berdiri bebas dalam air, tetapi berikatan koordinasi dengan oksigen air, sehingga membentuk ion hydronium ( $H_3O^+$ ) diperoleh dari:



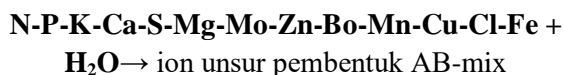
Berikut ini merupakan reaksi dengan basa + air (Kalium Hidroksida dengan air), yang mewakili oleh persamaan berikut:



Sedangkan untuk reaksi (Asam posphat + Kalium Hidroksida + Air), yang mewakili oleh persamaan berikut yang menghasilkan kalium fosfat.



Nutrisi tanaman terlarut dalam air yang digunakan dalam hidroponik sebagian besar anorganik dan dalam bentuk ion. Pada umumnya formula nutrisi hidroponik terdiri dari kombinasi bahan yang digunakan sebagai sumber hara *makro* dan *mikro* yang terdapat dalam AB-mix. Nutrisi AB-mix terdiri dari dua larutan yaitu dari pupuk A yang mewakili unsur hara *makro* dan pupuk B yang mengandung kebutuhan unsur hara *mikro*. Pada penggunaan nutrisi AB-mix dilarutkan pada air sehingga terdisosiasi menjadi ion-ion unsur pembentuk AB-mix seperti gambaran berikut ini:



Pada persamaan diatas, AB-mix bereaksi dengan air sehingga terdisosiasi membentuk ion-ion yang dibutuhkan tanaman. Pada prinsip dasarnya penyerapan unsur hara yang dibutuhkan dalam jumlah yang besar adalah yang terdapat pada unsur *makro* dengan konsentrasi yang relatif tinggi sedangkan unsur *mikro* dibutuhkan dalam konsentrasi rendah. Pada unsur *makro* ketersediaan unsur P dan K adalah termasuk yang cenderung aktif diserap tanaman sedangkan ion yang lain dibutuhkan sebagai melengkapi kebutuhan unsur *mikro*. Unsur K terdisosiasi dalam air membentuk  $K^+$  dan unsur P

menjadi  $P^{6+}$  yang akan bereaksi dengan unsur K dan P yang berasal dari KOH dan  $H_3PO_4$ , sehingga kandungan unsur K atau P di dalam bak larutan nutrisi akan cenderung lebih besar dari unsur lain. Dengan ketersediaan K dan P yang cukup diharapkan dapat diserap tanaman dengan baik, karena dengan adanya unsur K dan P berperan penting dalam pertumbuhan yaitu keberadaan unsur P (Phospor) berfungsi sebagai penyimpan dan transfer energi untuk seluruh aktivitas metabolisme tanaman sedangkan pada unsur K (Kalium) berfungsi sebagai aktivator enzim. Membantu penyerapan air dan unsur hara dari tanah oleh tanaman dan membantu transportasi hasil asimilasi dari daun ke akar tanaman.

### 3. Kalibrasi Modul Sensor pH

Pengkalibrasian sensor pH ini dilakukan bertujuan untuk mencapai keakuratan pembacaan sensor dan untuk meminimalisir terjadi kesalahan (*error*). Untuk menetapkan sensitivitas keakuratan pembacaan sensor pH, modul sensor pH harus dikalibrasi terlebih dahulu yaitu dengan mencari nilai ADC sensor pH menggunakan bubuk pH *buffer* (4,00; 6,86 dan 9,18) yang dilarutkan pada *aquades* 250mL yang merupakan standar untuk kalibrasi pH meter. Hasil dari pengujian menggunakan larutan *buffer* akan diperoleh nilai analog dengan mendeklarasikan ADC sebagai nilai yang terbaca dari *analogRead* kemudian dikonversi dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

$$\text{int adc} = \text{analogRead}(pHpin)$$

Untuk menampilkan nilai tegangan yaitu nilai analog dari data sensor pH kemudian dikonversi sebagai nilai tegangan  $V_{pH}$  dengan rumus:

$$V_{pH} = \frac{5}{1024} \times \text{Nilai Analog}$$

“5/1024” merupakan tegangan 5Volt yang mewakili dari nilai analog 1024. Setelah didapat nilai tegangan maka dapat ditampilkan pada serial monitor pada IDE, untuk mengonversi nilai Analog sensor ke nilai pH dengan rentang 1 sampai dengan 14 diperlukan pengujian nilai

ADC, dari nilai ADC pH *buffer* (4,00; 6,86 dan 9,18) di tarik menjadi grafik regresi sebagai berikut:

$$y = ax - b$$

Dari grafik ini akan konversikan sebagai nilai pH dimana y adalah nilai pH dan x adalah nilai ADC.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil dari perancangan sistem yang telah dibuat. Dilakukan pengujian dan analisa dimaksudkan untuk memastikan kinerja alat yang telah dibuat berfungsi sesuai dengan tujuan yang diharapkan, serta diamati respon perkembangan tanaman pakcoy pada system hidroponik DFT.



Gambar 9. Perangkat Panel Kendali pH

### A. Pengujian Sensor pH

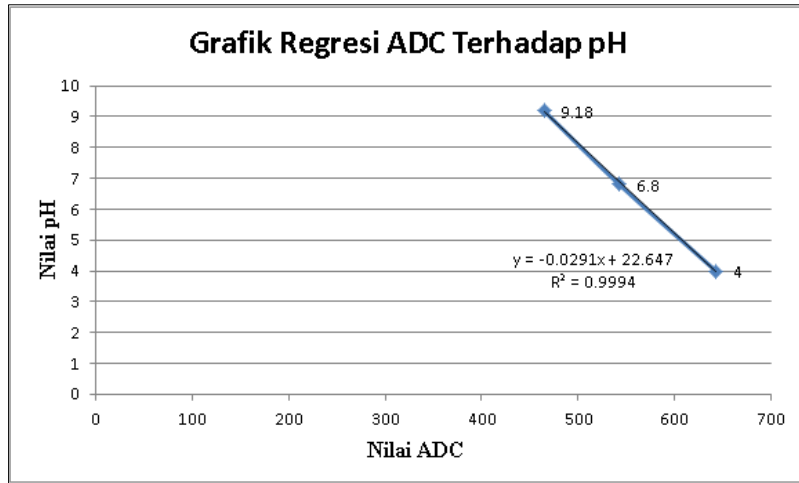
Pengujian sensor pH dilakukan dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran menggunakan pH meter digital dengan hasil pengukuran menggunakan sensor pH yang telah dibuat. Kalibrasi dilakukan dengan menggunakan bubuk pH *buffer* (4,00; 6,86 dan

9,18) yang telah dilarutkan dengan *aquades* 250mL. Hasil konversi tersebut dapat langsung terbaca melalui tampilan pada *serial monitor*. Dengan pembacaan sensor setiap delay 5000ms sekali. Hasil *Setting Kalibrasi* sensor pH dapat dilihat pada tabel 1 dan gambar tampilan pada *serial monitor*.

Tabel 1. Hasil Setting Kalibrasi Sensor pH

pH	ADC	VpH
4,00	643	3,138
6,80	543	2,654
9,18	465	2,271

Dari hasil data kalibrator bubuk pH *buffer* (4,00; 6,86 dan 9,18) yang telah dilarutkan dengan *aquades* 250mL. Kemudian nilai ADC di masukan pada grafik Regresi agar diketahui hubungan dari 2 variabel nilai ADC terhadap nilai pH. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 10.

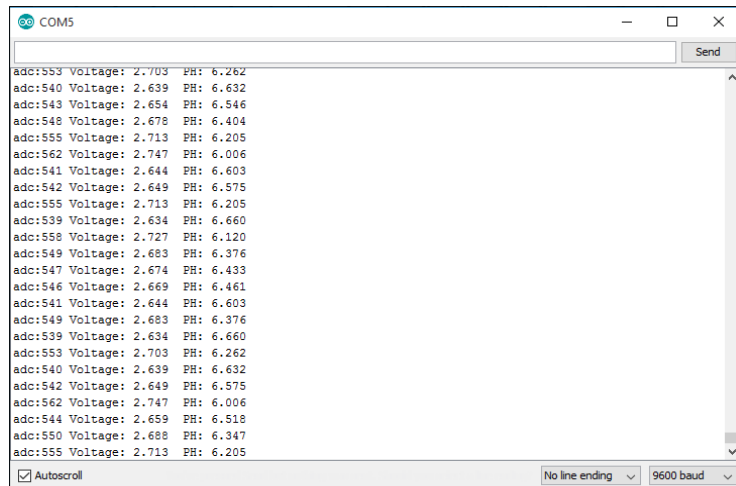


Gambar 10 Regresi ADC terhadap pH

Dari Gambar 10 diperoleh rumus persamaan regresi  $y = -0,0291x + 22,647$  dimana X adalah nilai ADC dan Y adalah nilai pH, persamaan ini di pakai untuk konversi ke nilai pH, dapat dilihat bahwa semakin besar nilai ADC sensor maka semakin asam nilai pH, sedangkan

semakin rendah nilai ADC sensor maka nilai pH cenderung Basa.

Untuk hasil tampilan data pembacaan sensor pH dari serial monitor hasil sensor pH setelah di kalibrasi dapat dilihat pada Gambar 11 berupa Nilai ADC, tegangan dan nilai pH.



Gambar 11. Tampilan data pada serial Monitor

Data hasil Pengujian Sensor pH dengan kalibrator pH buffer (4,00; 6,86 dan 9,18) yang telah dilarutkan dengan *aquades* 250mL dan

pengukuran dibandingkan dengan pH meter digital dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Pengujian Sensor pH

NO	pH buffer 4,00					pH buffer 6,86					pH buffer 9,18																					
	ter	Me	pH	ns	Se	pH	ror	Er	tar	Me	pH	ns	Se	pH	ror	Er	tar	Me	pH	ns	Se	pH	ror	Er	tar							
1		3,55			3,35				5,63				6,80				6,70			1,47				9,22				9,12				1,08
2		3,54			3,38				4,51				6,79				6,64			2,20				9,15				9,15				0
3		3,48			3,36				3,44				6,74				6,64			1,48				9,18				9,18				0
4		3,49			3,36				3,72				6,73				6,55			2,67				9,23				9,18				0,54
5		3,52			3,39				3,69				6,71				6,58			1,93				9,22				9,21				0,10

6	3,49	3,39	2,86	6,70	6,55	2,23	9,22	9,21	0,10
Rata-rata	<b>3,52</b>	<b>3,28</b>	<b>3,64</b>	<b>6,74</b>	<b>6,61</b>	<b>1,99</b>	<b>9,18</b>	<b>9,19</b>	<b>0,30</b>

Dari hasil pengujian ini masih terdapat *error* yang cenderung besar pada larutan *buffer* asam dan sensor lebih sensitif terhadap larutan *buffer* basa.

## B. Pengujian Sistem Kendali pH kontrol PID

Pengujian ini dilakukan bertujuan untuk melihat kemampuan sistem pengontrolan secara otomatis, berfungsi dengan baik sehingga lebih

efektif dalam pengontrolan pH dalam bak penampungan nutrisi hidroponik. Pengujian kendali PID ditentukan berdasarkan nilai tuning ( $K_p$ ,  $K_i$  dan  $K_d$ ), dengan menetapkan nilai target (*setpoint*). Hasil pengujian dengan menggunakan nilai parameter tuning ( $K_p = 2.3$ ,  $K_i=0.04$ ,  $K_d=0.02$ ) dapat dilihat pada tampilan serial monitor pada Gambar 12.

Controller ID	Sp	d	e	errorD	errorI	pH
p1d:0.22	1:0.00	4:-0.17	error:0.18	errorI:0.18	errorD:-0.06	Sp:6.50
p1d:0.24	1:0.00	4:-0.09	error:0.15	errorI:0.15	errorD:-0.03	Sp:6.50
p1d:0.33	1:0.00	4:0.00	error:0.15	errorI:0.15	errorD:0.00	Sp:6.50
p1d:0.48	1:0.00	4:0.09	error:0.18	errorI:0.18	errorD:0.03	Sp:6.50
p1d:0.39	1:0.00	4:0.00	error:0.18	errorI:0.18	errorD:0.00	Sp:6.50
p1d:0.09	1:0.00	4:-0.17	error:0.12	errorI:0.12	errorD:-0.06	Sp:6.50
p1d:0.42	1:0.00	4:0.09	error:0.15	errorI:0.15	errorD:0.03	Sp:6.50
p1d:0.63	1:0.00	4:0.17	error:0.21	errorI:0.21	errorD:0.06	Sp:6.50
p1d:0.30	1:0.00	4:-0.09	error:0.18	errorI:0.18	errorD:-0.03	Sp:6.50
p1d:0.39	1:0.00	4:0.00	error:0.18	errorI:0.18	errorD:0.00	Sp:6.50
p1d:0.09	1:0.00	4:-0.17	error:0.12	errorI:0.12	errorD:-0.06	Sp:6.50
p1d:0.26	1:0.00	4:0.00	error:0.12	errorI:0.12	errorD:0.00	Sp:6.50
p1d:0.26	1:0.00	4:0.00	error:0.12	errorI:0.12	errorD:0.00	Sp:6.50
p1d:0.57	1:0.00	4:0.17	error:0.18	errorI:0.18	errorD:0.06	Sp:6.50
p1d:0.69	1:0.00	4:0.17	error:0.24	errorI:0.24	errorD:0.06	Sp:6.50
p1d:0.37	1:0.00	4:-0.09	error:0.21	errorI:0.21	errorD:-0.03	Sp:6.50
p1d:0.15	1:0.00	4:-0.17	error:0.15	errorI:0.15	errorD:-0.06	Sp:6.50
p1d:0.63	1:0.00	4:0.17	error:0.21	errorI:0.21	errorD:0.06	Sp:6.50
p1d:0.30	1:0.00	4:-0.09	error:0.18	errorI:0.18	errorD:-0.03	Sp:6.50
p1d:0.39	1:0.00	4:0.00	error:0.18	errorI:0.18	errorD:0.00	Sp:6.50
p1d:0.39	1:0.00	4:0.00	error:0.18	errorI:0.18	errorD:0.00	Sp:6.50
p1d:0.39	1:0.00	4:0.00	error:0.18	errorI:0.18	errorD:0.00	Sp:6.50
p1d:0.39	1:0.00	4:0.00	error:0.18	errorI:0.18	errorD:0.00	Sp:6.50
p1d:0.09	1:0.00	4:-0.17	error:0.12	errorI:0.12	errorD:-0.06	Sp:6.50
p1d:0.57	1:0.00	4:0.17	error:0.18	errorI:0.18	errorD:0.06	Sp:6.50
p1d:0.69	1:0.00	4:0.17	error:0.24	errorI:0.24	errorD:0.06	Sp:6.50
p1d:0.22	1:0.00	4:-0.17	error:0.18	errorI:0.18	errorD:-0.06	Sp:6.50
p1d:0.39	1:0.00	4:0.00	error:0.18	errorI:0.18	errorD:0.00	Sp:6.50
p1d:0.34	1:0.00	4:-0.09	error:0.21	errorI:0.21	errorD:-0.03	Sp:6.50
p1d:0.30	1:0.00	4:-0.09	error:0.18	errorI:0.18	errorD:-0.03	Sp:6.50
p1d:0.09	1:0.00	4:-0.17	error:0.12	errorI:0.12	errorD:-0.06	Sp:6.50
p1d:1.02	1:0.00	4:0.44	error:0.27	errorI:0.27	errorD:0.15	Sp:6.50
p1d:0.13	1:0.00	4:-0.26	error:0.18	errorI:0.18	errorD:-0.09	Sp:6.50
p1d:0.54	1:0.00	4:0.09	error:0.21	errorI:0.21	errorD:0.03	Sp:6.50
p1d:0.76	1:0.00	4:0.17	error:0.27	errorI:0.27	errorD:0.06	Sp:6.50
p1d:0.43	1:0					Sp:6.50

Gambar 12. Tampilan data nilai PID pada serial Monitor

Respon nilai PID akan menjadi semakin kecil atau mendekati nol apabila nilai sensor pH semakin mendekati nilai *setpoint* dan semakin menjauhi titik nol apabila semakin besar nilai selisih *error* antara nilai *setpoint* dengan nilai pH aktual. Hasil penjumlahan antara parameter P+I+D berfungsi sebagai parameter pembanding terhadap parameter proses.

Dalam kontrol PID ini memiliki beberapa kelebihan dimana aksi kontrol *Proporsional* merupakan perkalian antara konstanta P dengan masukannya, sehingga memiliki keluaran yang sebanding dengan besarnya nilai kesalahan. Sehingga jika nilai  $K_p$  kecil sistem hanya

mampu mengoreksi kesalahan yang kecil yang akan menyebabkan respon sistem lambat dan apabila  $K_p$  dinaikan respon sistem akan semakin cepat namun bila terlalu besar menyebabkan sistem mencapai harga yang berlebih (*overshoot*).

Pada kontrol *integral* ketika sinyal kesalahan berharga nol, maka keluaran akan mempertahankan pada keadaan nilai sebelumnya sehingga kontrol *integral* cenderung memperlambat sistem. Namun jika nilai kesalahan tidak bernilai nol keluaran akan menunjukkan kenaikan atau penurunan yang dipengaruhi besarnya nilai (*error*) dan nilai  $K_i$ . Nilai  $K_i$  yang bernilai besar akan mempercepat

hilangnya (*offset*) namun jika terlalu besar akan menyebabkan *osilasi*. Sedangkan kontrol *derivative* jika terjadi perubahan secara mendadak pada nilai *input* akan menyebabkan perubahan yang besar dan cepat namun tidak dapat menghasilkan keluaran apabila tidak ada

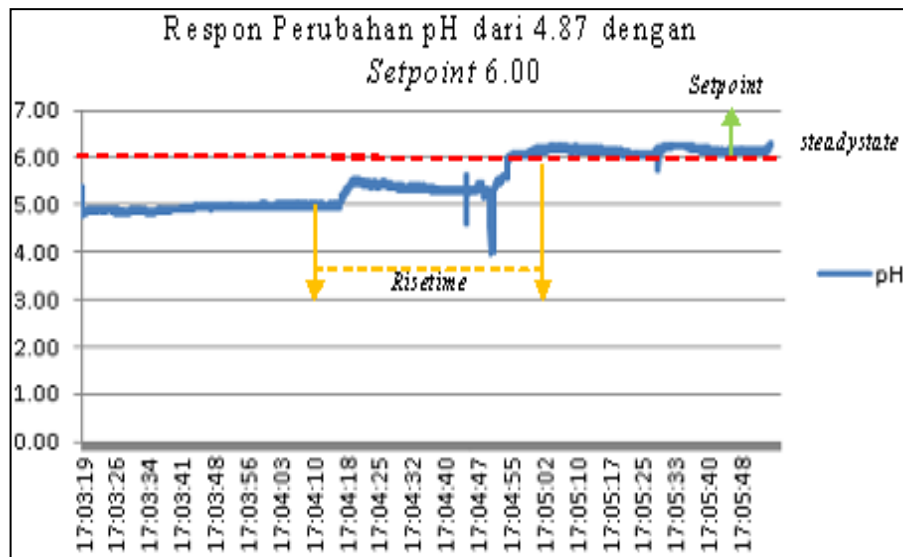
perubahan pada nilai *input*, kontrol *derivative* bersifat korektif dan cenderung meningkatkan stabilitas sistem. Untuk selanjutnya pengujian sistem kendali pH dengan PID di tampilkan pada tabel 3.

Tabel 3. Hasil pengujian sistem kendali pH

No	pH awal	Setpnt (Nilai Target)	Output Kendali		Stir	pH Hasil	Rise Time (S)
			Asam	Basa			
1	4,87	6,00	Off	On	On	6,34	60,2
2	4,39	6,00	Off	On	On	6,29	54,9
3	5,51	6,50	Off	On	On	6,76	37,4
4	5,72	6,50	Off	On	On	6,73	32,1
5	8,04	6,00	On	Off	On	6,85	49,5
6	8,40	6,00	On	Off	On	6,53	52,4
7	8,45	6,50	On	Off	On	6,52	54,6
8	7,82	6,50	On	Off	On	6,22	43,2

Dari hasil pengujian kendali pH menggunakan kendali PID, nilai parameter PID akan semakin kecil atau mendekati nol seiring dengan nilai sensor pH mendekati *setpoint*, dari rancangan alat kendali pH, mampu menaikkan pH ketika pH berada di bawah nilai pH target, dan mampu

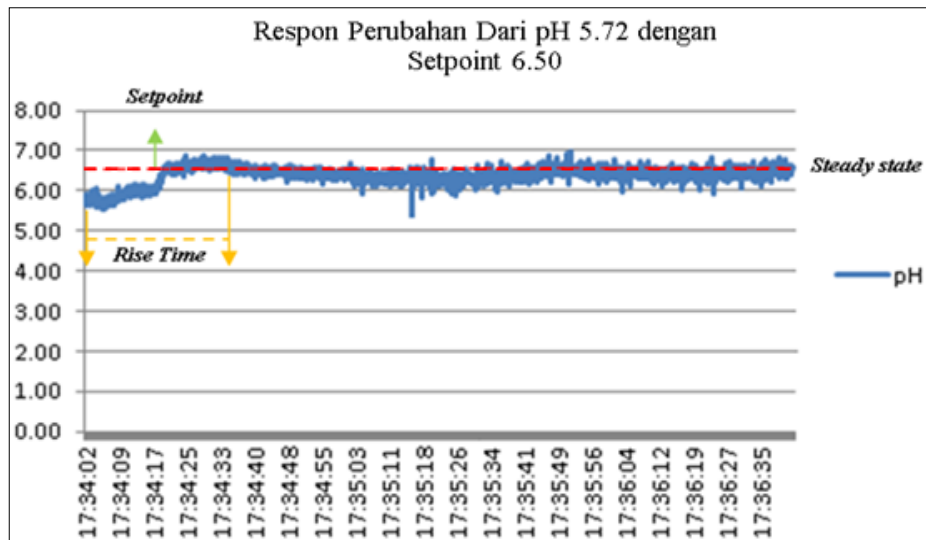
menurunkan pH ketika pH berada di atas pH target. Proses kendali pH berhenti ketika pH air pada bak penampungan nutrisi berada di kisaran nilai *setpoint* atau hanya terdapat (*error*) yang kecil dan kemudian pompa sirkulasi bekerja. Uji respon perubahan naik pH pada gambar 13.



Gambar 13. Grafik Respon Perubahan dari pH 4.86

Dari Gambar 13 Terjadi kenaikan pH menuju *setpoint* 6.00 yang ditempuh dengan waktu 60 detik, namun terjadi osilasi pada detik ke 40 dengan

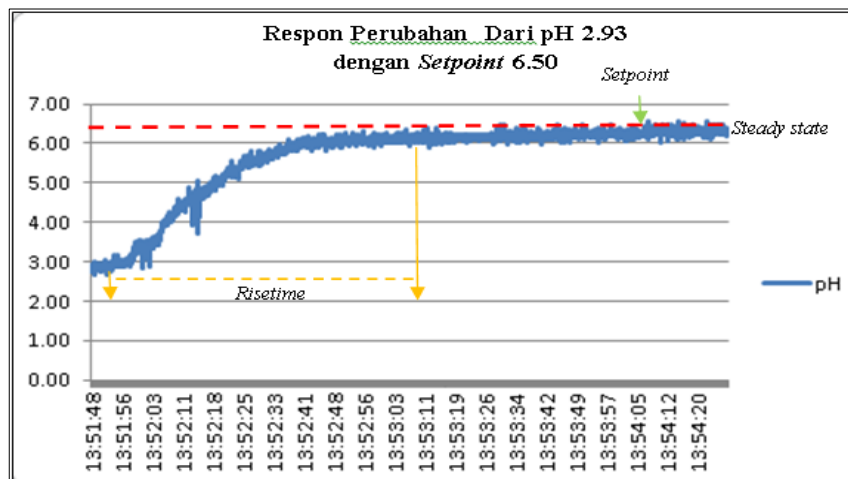
nilai pH dapat mencapai *steadystate* berada pada kisaran 6.34.



Gambar 14. Grafik Respon Perubahan dari pH 5.72

Dari Gambar 14. Respon perubahan Nilai pH dapat mencapai *setpoint* dengan waktu 32 detik. Nilai pH berada pada kisaran 6,00 hingga 6,80. Pada

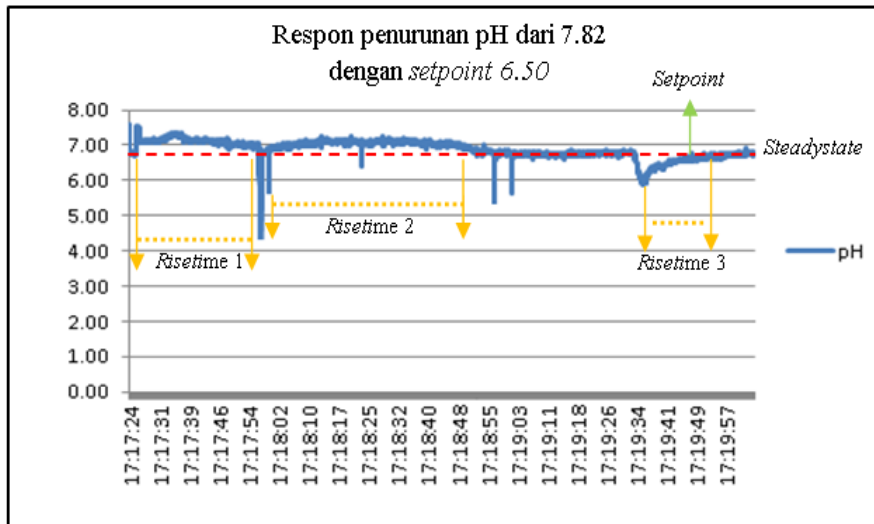
pengujian ini nilai sensor cenderung tidak stabil di karenakan terjadi getaran *noise*.



Gambar 15. Grafik Respon Perubahan dari pH 2.93

Dari Gambar 15 respon perubahan dari pH 2.93 dengan *setpoint* 6.50, pH dapat naik hingga mencapai kisaran 6.48 stabil dengan waktu 81 detik. Selanjutnya dilakukan pengujian respon penurunan pH dengan menggunakan larutan

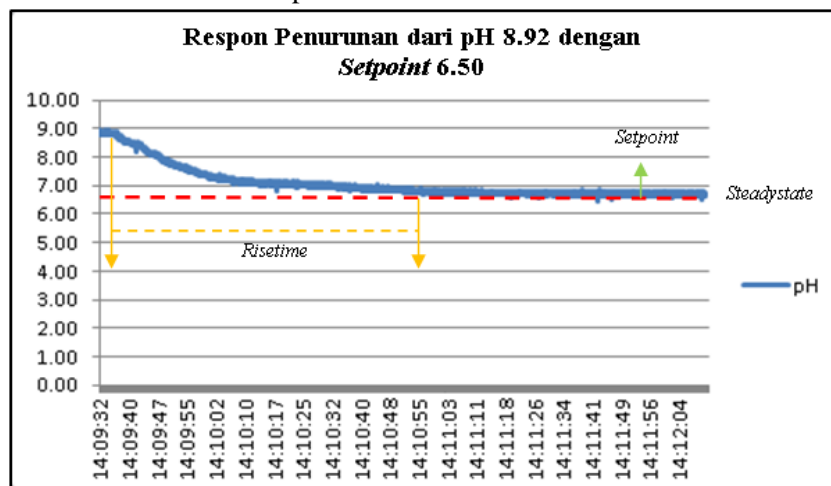
asamfosfat dengan beberapa keadaan pH yang berada di luar *setpoint* dengan memberikan nilai target 6.50 yaitu ditampilkan dalam grafik secara *realtime*.



Gambar 16. Grafik Respon Perubahan dari pH 7.82

Dari Gambar 16 terlihat terjadi 3 kali perubahan dimana *ristime* 1 pompa asam menyala selama 30 detik, dan terjadi *overshoot* pada detik 54, sehingga menyebabkan *ristime* ke2 dengan mengaktifkan pompa basa selama sekitar 46 detik namun terlihat *overshoot* kembali pada

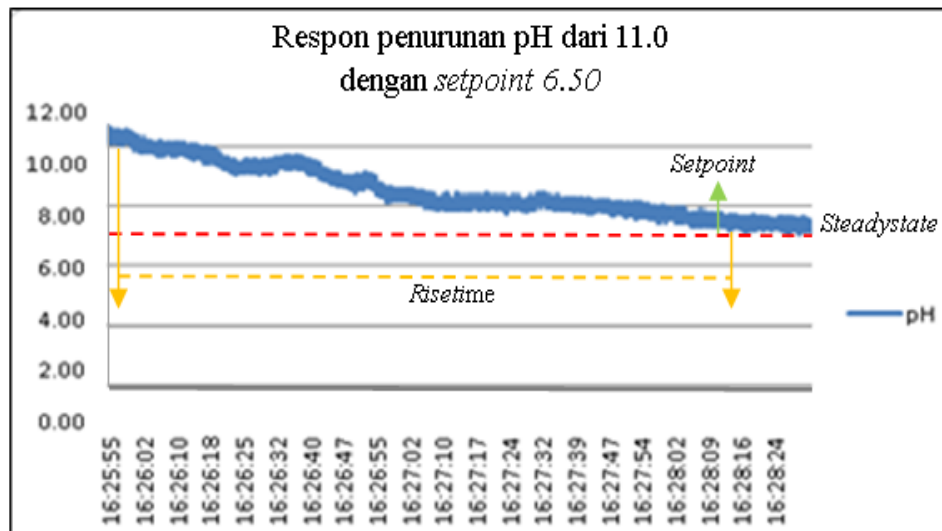
detik 55 namun terjadi singkat, sehingga pompa dalam kondisi diam namun pada menit 19:34 terjadi *ristime* pompa basa sekitar 15 detik dan mencapai *steadystate* dengan nilai pH kisaran 6.5



Gambar 17. Grafik Respon Perubahan dari pH 8.29

Dari Gambar 17 respon penurunan dari pH 8,92 dengan *setpoint* 6.50 dapat mencapai *steadystate* pada kisaran 6,70 dengan waktu 83

detik pH dapat stabil pada kisaran nilai *setpoint* dengan kondisi cukup baik.



Gambar 18. Grafik Respon Perubahan dari pH 11.0

Dari Gambar 18 respon penurunan pH dari 11.0 mampu mencapai *steady state* dengan waktu  $\pm 140$  detik, respon tergolong cukup lambat dikarenakan pada sistem kontrol reaksi kimia memerlukan waktu untuk bereaksi atau bercampur secara sempurna, selain itu laju alir

pompa *peristaltik* yang pelan seperti di tujuan pada pengujian kecepatan laju alir pada Table 4. dan juga pada larutan yang di injek hanya dengan konsentrasi rendah 1%. Pengujian laju alir pompa yang digunakan dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Pengujian Kecepatan Laju Alir Pompa dan Kecepatan Reaksi Bahan yang di Injek (Asam dan Basa)

No.	Laju alir Pompa dalam siklus hidroponik (Liter/Detik)	Laju Alir Pompa Peristaltik (Liter/Detik)	Kecepatan Reaksi Bahan yang di injek terbaca sensor pH (S)	
			Asam	Basa
1	0,181	0,064	17,9	11,7
2	0,179	0,064	16,5	11,4
3	0,170	0,065	16,2	11,5
4	0,172	0,064	16,4	11,2
5	0,177	0,065	17,8	11,9
Rata-rata	0,1758	0,0644	16,96	11,54

Dari Tabel 4. Pada media tanam hidroponik sistem DFT dengan panjang pipa 70cm. dengan 5 buah netpot perputaran air dalam pipa hidroponik air mengalir rata-rata 0,1758 liter per detik. Dengan kedalaman  $\pm 3$ cm akar tergenang dalam larutan nutrisi, sehingga sesuai kelebihan dari sistem ini apabila terjadi gangguan listrik atau dalam keadaan pompa tidak bekerja akar masih tergenang air larutan nutrisi sehingga tidak kering.

### C. Hasil Pengamatan Respon Pertumbuhan Tanaman Pakcoy

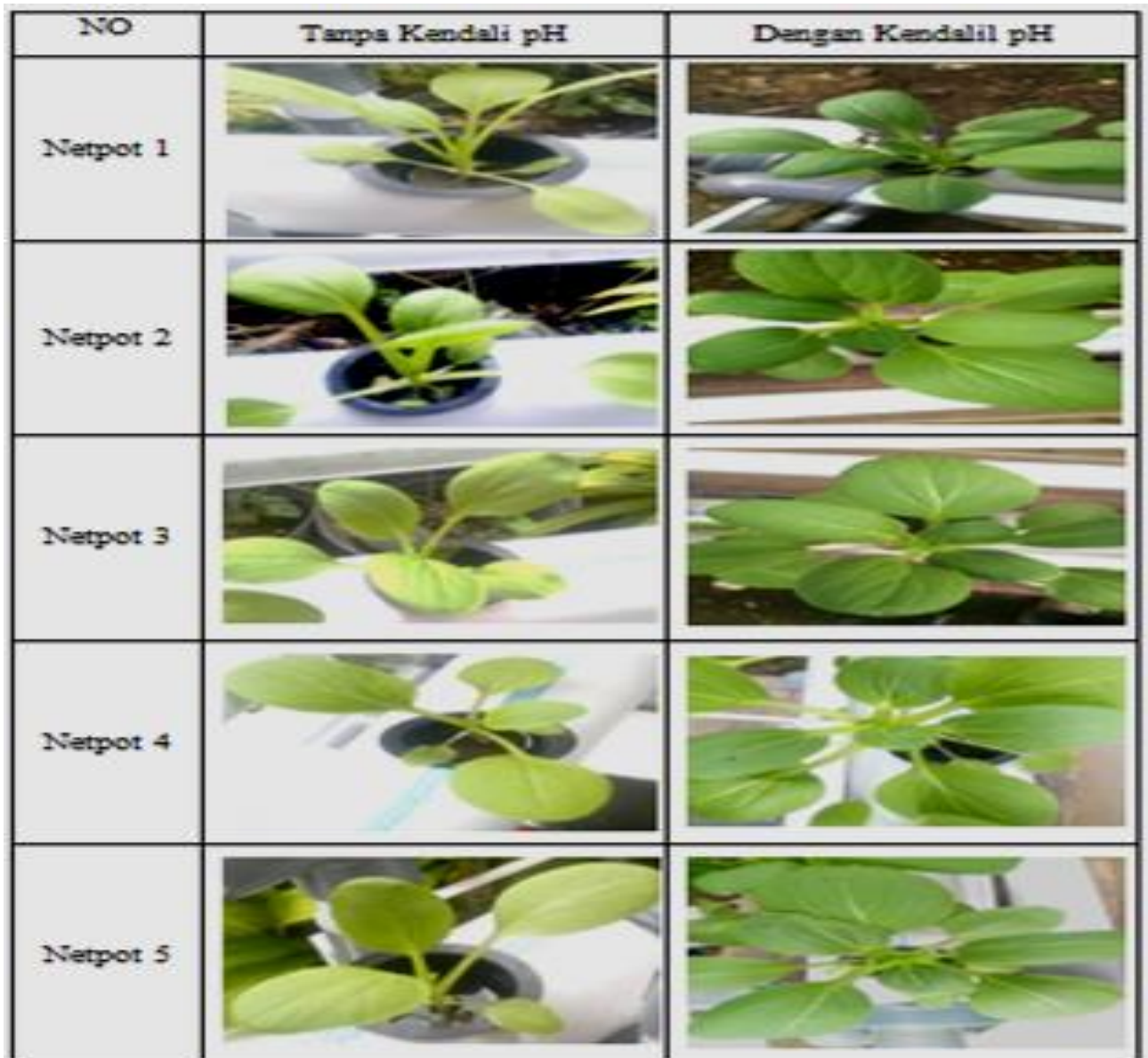
Hasil pengamatan respon 5 buah netpot tanaman pakcoy selama 30 hari setelah tanam (HST), dihitung dari 10 hari sesudah semai (HSS). Pengamatan dilakukan 2 kali tanam yaitu bertujuan untuk mengetahui perbedaan antara tanaman dengan keadaan pH tidak stabil dan tanaman yang menggunakan sistem kontrol pH. Adapun hasil pengamatan ditampilkan pada Tabel 4.6 yaitu kondisi tanaman tidak



menggunakan sistem kontrol pH, dimana pH dibiarkan dengan kondisi berubah-ubah dan dengan kondisi tanaman yang telah menggunakan sistem kontrol pH. Pada media tanam hidroponik sistem DFT yang digunakan diletakan secara outdoor dengan sinar matahari yang cukup namun tetap di beri atap untuk

menghindari terkena air hujan dengan suhu antara 27-30 derajat Celcius. Berikut merupakan hasil dan pengamatan respon tanaman selama 30 HST pada Tabel 5 dan secara detail data pengamatan pertumbuhan tanaman pakcoy tanpa menggunakan alat pengendali pH dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 5. Hasil Respon Tanaman pakcoy selama 30 HST



Tabel 6. Data Hasil Pengamatan Pakcoy Tanpa Sistem Kendali pH

Tanggal	Umur Pakcoy (HST)	pH	Tinggi Batang (cm)					Jumlah Daun (helai)				
			1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
18 feb 2018	1	5,24	3,1	3,0	2,9	2,8	2,6	4	4	4	4	4

22 feb 2018	5	5,21	3,6	3,7	3,6	3,5	3,8	5	5	5	5	5
27 feb 2018	10	4,71	6,8	6,9	6,6	6,7	6,5	6	6	6	6	6
4 mar 2018	15	5,26	9,2	10,0	10,0	10,3	10,0	8	8	8	7	7
9 mar 2018	20	5,32	10,6	11,2	11,0	11,0	11,0	9	9	9	8	8
14 mar 2018	25	5,33	12,3	12,9	12,6	12,8	12,6	10	10	10	10	10
19 mar 2018	30	5,32	14,0	14,2	14,2	14,4	14,1	11	11	11	11	11

Sedangkan data secara detail pengamatan menggunakan alat pengendali pH dapat dilihat pada pertumbuhan tanaman pakcoy dengan tabel 7.

Tabel 7. Data Hasil Pengamatan Pakcoy dengan Sistem Kendali pH

Tanggal	Umur Pakcoy (HST)	pH	Tinggi Batang (cm)					Jumlah Daun (helai)				
			1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
8 April 2018	1	6,25	3,2	3,3	3,0	3,1	3,1	4	4	4	4	4
12 April 2018	5	6,43	5,2	5,0	4,3	4,5	4,8	5	5	5	5	5
17 April 2018	10	6,32	8,6	8,5	7,0	7,2	7,6	6	6	6	6	6
22 April 2018	15	6,40	12,6	12,9	11,1	10,5	11,7	8	8	8	8	8
27 April 2018	20	6,43	15,0	15,3	14,6	14,6	14,2	10	10	10	10	10
2 mei 2018	25	6,75	17,0	17,6	16,9	16,6	16,5	12	12	12	12	12
7 mei 2018	30	6,35	20,1	20,4	19,6	19,5	19,5	14	14	14	14	14

Dari hasil pengamatan sistem hidroponik DFT tanpa menggunakan alat pengendali pH, nilai pH pada bak nutrisi cenderung tidak stabil dan tidak berada pada kisaran nilai pH yang dibutuhkan tanaman pakcoy, sedangkan sistem hidroponik yang menggunakan alat pengendali pH masih terjadi perubahan namun dalam rentang yang kecil, alat tetap mampu menjaga pH berada pada kisaran pH 6 hingga pH 7. Dari hasil keduanya terlihat perbedaan pertumbuhan tinggi batang, jumlah daun dan warna daun, alat yang telah dibuat mampu membuat hasil tanam menjadi lebih baik, namun tidak terjadi perbedaan yang cukup jauh.

## KESIMPULAN

1. Setelah dilakukan pengujian sensor pH dapat berfungsi dengan baik, namun masih terdapat selisih *error* pengukuran namun tidak terlalu besar, Akurasi pembacaan sensor pH cenderung lebih sensitif pada larutan basa.

2. Alat kendali pH menggunakan kontrol PID, dengan tuning nilai ( $K_p = 2.3$ ,  $K_i = 0.04$ ,  $K_d = 0.02$ ) dengan hasil yang cukup baik mampu mempertahankan pH pada kisaran 6 hingga 7 namun pada respon tergolong cukup lambat yang disebabkan laju aliran pompa *peristaltik* yang pelan dan larutan yang di injek dengan konsentrasi yang rendah sehingga menyebabkan pembacaan sensor cukup lama selain itu pada reaksi kimia perlu waktu untuk bereaksi secara sempurna.

Pengamatan tanaman pakcoy tanpa alat kendali pH, tanaman masih bisa mengalami pertumbuhan namun terlihat beberapa warna daun berwarna kekuningan dan ada beberapa daun mengalami kerontokan. Perbedaan tanaman pakcoy dengan menggunakan alat kendali pH, tanaman mengalami pertumbuhan lebih cepat dan terlihat lebih segar.

Penelitian lebih lanjut ada beberapa hal yang perlu diperhatikan dan di kembangkan

1. Agar mencantumkan perbandingan antara sistem kontrol dengan menggunakan PID dan tanpa kontrol PID dalam reaksi kimia.
2. Agar tanaman tumbuh lebih maksimal perlu diperhatikan dan di tambah pengendalian parameter lain yang berpotensi berpengaruh tanaman.
3. Penggunaan aktuator sebaiknya di gunakan *water flow control valve* dengan variable bukaan yang dapat *di adjust*.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur kehadiran Allah SWT, serta Penulis sampaikan terimakasih kepada, orang tua, keluarga dan seluruh pihak yang terlibat membantu dan mendukung penelitian ini

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Prastio, U. 2015, *Panen Sayuran Setiap Hari*, Yogyakarta: PT Agro Media Pustaka.
- [2] Fahrudin, F. 2009, *Budidaya Caisim (Brassica Juncea) menggunakan Ekstrak Teh dan Pupuk Kascing*, Skripsi, Fakultas Pertanian Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- [3] Perwitasari, B. dan Tripatmasari, M. Dan Wasonowati, C. 2012. Pengaruh Media Tanam dan Nutrisi Terhadap Pertumbuhan Pakcoy (*Brassica juncea*) dengan sistem hidroponik. *Jurnal Agrovigor*, Vol. 5, No. 6, ISSN 1979 5777
- [4] Harjadi, S.S. 1990, *Dasar-Dasar Hortikultura*, Departemen Budidaya Pertanian, IPB, Bogor, Hal 506.
- [5] Suhardiyanto, H. 2010, *Teknologi Hidroponik untuk Budidaya Tanaman*, Intitut Pertanian Bogor, Bogor
- [6] Haryanto, 2006, *Teknik Budidaya Sayuran Pakcoy (Sawi Mangkok)*, Jakarta: Penebar Swadaya.
- [7] Arjuna, 2017, *Pengontrolan Kadar pH air pada tanaman hidroponik berbasis mikrokontroller dengan metode PID*, Teknik Elektro, Tugas Akhir, Politeknik Negeri Batam, Batam.
- [8] Pancawati, D. dan Yulianto, A. 2016, Implementasi FLC Untuk Mengatur pH Nutrisi Pada Sistem Hidroponik Nutrient Film Technique (NFT), *Jurnal Teknik*, Vol.5, No.2, ISSN: 2302-2949.
- [9] Adrianto, A.Y. dan Prasetyo H.N. 2015, *Rancang Otomasi Kontrol Temperatur Dan PH Air pada kebun Hidroponik Selada Kriting*, Teknik Industri, Tugas Akhir, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- [10] Fakhruzaini, M dan Aprilianto, H. 2017, Sistem otomasi pengontrolan volume dan pH air pada hidroponik, *Jurnal Teknik Informatika*, Vol. 6, No.2:1311-1448
- [11] Chadirin Y, 2007, *Teknologi Greenhouse dan Hidroponik*, Diktat Kuliah Departemen Teknik Pertanian, IPB.
- [12] S. Vimolmangkang, W. Sitthithaworn, D. Vannavanich, S. Keattikunpaibroj, and C. Chittasupho, 2009 "Productivity and quality of volatile oil extracted from *Mentha spicata* and *M. arvensis* var. *piperascens* grown by a hydroponic system using the deep flow technique," *J. Nat. Med.*, vol. 64, pp. 31–35.
- [13] Sanata Dharma, Yogyakarta. Ruaf-asia Foundation, 2010, *Hydroponics*, Departement of Agriculture, Ministry of Agriculture.
- [14] Nur, I. 2017, *Pengendalian Sirkulasi Dan Pengukuran pH Air Pada Tambak Udang Berbasis Arduino*, Fakultas Sains Dan Teknologi, Skripsi, UIN Alaudin Makasar, Makasar.

[15] Putra, B.A. 2016, *Sistem Akuisisi Data Penggunaan Bahan Bakar Tempuh Dan Jarak Tempuh Berbasis Arduino*, Teknik Elektro, Tugas Akhir, Universitas

[16] Jepri, 2010, *Perancangan pengendali PID pada proporsional valve*, Skripsi, Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok