

## RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING DAN PENGONTROLAN PH NUTRISI PADA HIDROPONIK SITEM NUTRIENT FILM TECHNIQUE (NFT) MENGGUNAKAN PENGENDALI PID BERBASIS ARDUINO UNO

**Ahmad Nur Fuad**

Program Studi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya, Ketintang 60231, Indonesia  
e-mail : ahmadfuad@mhs.unesa.ac.id

**M. Syariffuddien Zuhrie**

Dosen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya, Ketintang 60231, Indonesia  
e-mail : zuhrie@unesa.ac.id

### Abstrak

Sistem kontrol hidroponik adalah sebuah sistem yang bekerja untuk mengontrol variabel yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman agar dapat tumbuh optimal sehingga menghasilkan hasil yang maksimal. Salah satu parameter yang penting adalah derajat keasaman (pH) larutan nutrisi, dimana pH sangat berpengaruh terhadap kelarutan dan ketersediaan unsur hara dalam larutan nutrisi. Pada nilai optimalnya yaitu  $5,5 < \text{pH} < 6,5$  semua unsur berada dalam kondisi yang baik sehingga mudah diserap oleh tanaman. Penelitian ini membahas tentang bagaimana merancang sebuah sistem kontrol dan monitoring pH secara otomatis dengan menerapkan Kontrol PID (*Proporsional Integral Derevative*). Adapun sistem ini dirancang untuk mempertahankan pH pada nilai 6 dengan menggunakan Arduino Uno sebagai mikrokontroler dengan pH meter kit sebagai masukan dan dua buah pompa motor DC sebagai aktuatornya. Proses perancangan kontroler PID ini menggunakan metode *root locus* dan didapatkan bahwa semua akar berada disebelah kiri bidang s. Performansi respon sistem terbaik dari implementasi kontrol PID dengan *pole s* = -4.23 adalah pada nilai  $K_p = 2.0826$ ,  $K_i = 1$ ,  $K_d = 0.2462$ , pengujian dilakukan dengan *setpoint* pH 6.0 didapatkan *time settling* 283 detik dan *error steady state* = 0.67 %.

**Kata Kunci :** Arduino Uno, Kontrol PID, Hidroponik, pH.

### Abstract

Hydroponic control system is a system that works for control variables that affect growth plant to get it grow optimally so produce maximum results. One of the important parameters is level acidity (pH) solution nutrition , where pH is very take effect to solubility and availability element nutrient in solution nutrition . At the optimal value that is  $5,5 < \text{pH} < 6.5$  all element are in good condition so that easy absorbed by plants. This research discuss about how designing a control system and monitoring of pH automatic with applying control PID (Proportional Integral Derevative). As the system is designed to maintain pH at value 6.0 with use Arduino Uno as microcontroller and a pH meter kit as input and two DC motor pump as the actuator. The process of designing this PID controller uses root locus method and obtained that all root is located next to left field s. The best system response performance from PID control implementation with *pole* = -4.23 is at value  $K_p = 2.0826$ ,  $K_i = 1$ ,  $K_d = 0.2462$ . Testing done with *setpoint* pH 6.0 which obtained 2 83 seconds settling time and steady state error = 0.67 %.

**Keywords :** Arduino Uno, PID Control , Hydroponics , pH.

### PENDAHULUAN

Dewasa ini pertanian perkotaan (*Urban Farming*) sudah mulai populer di kota-kota besar di dunia. Salah satu *urban farming* yang cocok diterapkan di daerah perkotaan yang mengalami keterbatasan lahan adalah sistem budidaya hidroponik. Salah satu metode hidroponik yang mulai banyak digunakan adalah metode NFT (*Nutrient Film Technique*). yaitu metode budidaya tanaman dimana akar tanaman tumbuh pada lapisan nutrisi yang dangkal

dan tersirkulasi sehingga memungkinkan tanaman memperoleh air, nutrisi dan oksigen. Pada hidroponik NFT air bersirkulasi selama 24 jam terus-menerus agar perakaran selalu mendapatkan air nutrisi sehingga memberikan limpahan oksigen kepada akar tanaman sehingga baik untuk pertumbuhan tanaman.

Nutrisi yang diberikan pada tanaman erat kaitannya dengan derajat keasaman (pH) air, dimana pH air akan mempengaruhi daya larut unsur hara pada tanaman yang

berakibat pada kualitas kesuburan tumbuh dan kembang tanaman tersebut. Sutiyoso (2003) juga menyampaikan bahwa pada budidaya hidroponik kisaran derajat keasaman sekitar pH 5.5-6.5 dengan angka optimal 6.0. Di bawah angka 5.5 dan di atas angka 6.5 beberapa unsur mulai mengendap sehingga tidak dapat diserap oleh akar dan akibatnya tanaman mengalami defisiensi unsur terkait. Pada pH optimal, semua unsur berada dalam kondisi kelarutan yang baik sehingga mudah diserap oleh akar.

Pada penelitian ini peneliti akan membahas tentang bagaimana merancang sebuah sistem monitoring dan pengontrolan pH nutrisi pada hidroponik sistem NFT menggunakan arduino Uno R3 dengan menerapkan kontroler PID. Dimana tujuan dengan diterapkannya sistem ini dapat meningkatkan produktifitas dan kualitas tanaman hidroponik dan dapat mempertahankan nilai pH pada *setpoint*-nya. Tanaman yang akan dikontrol nilai pH nutrisinya pada sistem ini adalah selada (*Lactuca Sativa L.*).

Sistem kontrol PID diaplikasikan sebagai modul kontrol kadar pH di dalam sistem dengan menggunakan Arduino Uno sebagai piranti data akuisisi untuk membaca keluaran dari sensor pH analog dan mengendalikan kecepatan putaran pompa dalam sebuah tangki yang berisi cairan asam dan basa. Pada penelitian ini pH larutan nutrisi dipertahankan pada nilai 6.0. Data yang didapat akan ditampilkan langsung ke laptop dan LCD dengan *software* Megunolink yang dapat menerima, menyimpan dan menampilkan *train* data nilai pH berupa grafik/angka.

## KAJIAN TEORI

### Hidroponik NFT (Nutrient Film Technique)

Hidroponik merupakan metode budidaya tanaman yang menekankan pada pemenuhan kebutuhan nutrisi bagi tanaman. Menurut Cooper (1972 dalam Suprijadi, dkk., 2009), NFT adalah sebuah sistem yang menggunakan 'film' larutan nutrisi. Film atau lapisan tipis tersebut berupa larutan nutrisi setebal 1-3 mm, dipompa dan dialirkan melewati akar tanaman secara terus menerus dengan kecepatan aliran sekitar 1-2 liter per menit. Berdasarkan cara pengairannya, Hidroponik NFT termasuk dalam hidroponik sistem tertutup. Dalam sistem tertutup, larutan nutrisi bersirkulasi secara terus menerus selama 24 jam agar perakaran selalu mendapatkan air nutrisi sehingga memberikan limpahan oksigen kepada akar tanaman sehingga baik untuk pertumbuhan tanaman.

Nutrisi yang diberikan pada tanaman erat kaitannya dengan pH air atau derajat keasaman air. Pengaruh pH nutrisi hidroponik sangat penting karena akan mempengaruhi ketersediaan dan penyerapan beberapa unsur atom 16 yang diperlukan untuk pertumbuhan tanaman (Pancawati, 2016).

### Arduino Uno R3

Arduino Uno R3 adalah prototyping platform sebuah paket berupa papan (*board*) elektronik (*hardware*) dan lingkungan pengembangan (*software*) yang memanfaatkan kemampuan mikrokontroler jenis tertentu. Mikrokontroler yang digunakan pada Arduino Uno adalah jenis Atmel seri ATmega 328 (Wardana, 2015).



Gambar 1. Arduino Uno  
(Sumber: [www.arduino.cc](http://www.arduino.cc))

### Sensor pH

Prinsip kerja pH meter adalah didasarkan pada pengukuran pH secara potensiometrik. Sistem pengukuran dalam pH meter berisi elektroda kerja dan elektroda referensi. Perbedaan potensial antara 2 elektroda tersebut sebagai fungsi dari pH dalam larutan yang diukur. Elektroda ini memonitor perubahan voltase yang disebabkan oleh perubahan aktivitas ion hidrogen (H<sup>+</sup>) dalam larutan. Keluaran dari pH meter sudah dikalibrasi dalam mV dan kondisi ideal dari elektroda pH pada suhu 25 °C. Dengan memonitor perubahan tegangan yang disebabkan oleh perubahan aktifitas ion hidrogen (H<sup>+</sup>) dalam larutan maka pH larutan dapat diketahui.



Gambar 2. PH meter (SKU: SEN0161)  
(Sumber : [www.dfrobot.com](http://www.dfrobot.com))

### Pompa Motor DC

Pompa ini termasuk tipe pompa sentrifugal. Pompa Dengan prinsip kerjanya mengubah energi kinetis (kecepatan) cairan menjadi energi potensial (dinamis) melalui suatu *impeller* yang berputar dalam *casing*.



Gambar 3. Pompa Motor DC  
(Sumber : www.mechatro.co.id)

### Pengambilan Data Input Output

Pengujian ini tentu memerlukan sinyal uji tertentu yang akan diberikan kepada sistem fisik yang akan diidentifikasi. Agar diperoleh model yang tepat maka dalam pemilihan sinyal uji ini tidak boleh sembarangan. Syarat pemilihannya adalah suatu sinyal uji harus memiliki cakupan frekuensi yang lebar dan standard yang digunakan adalah sinyal PRBS (*Pseudo Random Binary Sequences*).

Sinyal PRBS adalah sinyal kotak yang termodulasi pada lebarnya dan berlangsung secara sekuensial. Sinyal ini biasanya dibangkitkan menggunakan LFSR (*Linear Feedback Shift Register*). Pada LFSR memiliki 2 parameter dasar yang menentukan sifat sekuensial yang dihasilkan, yaitu: panjang dari shift register dan susunan umpan balik. PRBS memiliki variasi panjang sekuensialnya, tergantung dari panjangnya *shift register* seperti ditunjukkan Tabel 1. Panjang dari *shift register* menentukan periode maksimum yang dapat dihasilkan dari sekuensial PRBS dan tidak berulang yang dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$LPRBS = 2^n - 1 \quad (1)$$

Keterangan :

LPRBS = Panjang Sekuensial

n = Panjang bit LFSR

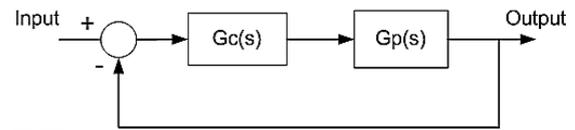
Tabel 1. Variasi Panjang Sekuensial PRBS

(Sumber : Kustanti, 2014)

Panjang Register (n)	Panjang Sekuensial $L=2^n - 1$	Posisi Tap Umpan Balik
2	3	1 dan 2
3	7	1 dan 3
4	15	3 dan 4
5	31	3 dan 5
6	63	5 dan 6
7	127	4 dan 7
8	255	2, 3, 4, dan 8
9	511	5 dan 9
10	1023	7 dan 10

### Perancangan PID dengan Root Locus

Rancangan sistem kendali *loop* tertutup dengan metode *root locus* dimungkinkan untuk mengatur sekurangnya beberapa letak *pole* sistem loop tertutup sehingga dapat diatur tanggapan transient pada tingkat tertentu dan pengaruhnya terhadap tanggapan keadaan mantap. Prosedur analitis perancangan kontroler PID menggunakan metode *root locus* dapat dilihat dalam Gambar 4.



Gambar 4. Blok Diagram Sistem Kendali  
(Sumber : Philip, 1996)

Berdasarkan diagram sistem kendali tersebut, persamaan karakteristiknya adalah sebagai berikut :

$$1 + Gc(s)Gp(s) = 0 \quad (2)$$

Misalkan diinginkan lokus akar melalui  $s = si$ , maka ;

$$Gc(si)Gp(si) = -1 \quad (3)$$

$$Gc(si)|Gp(si)|e^{j\varphi} = 1e^{j\pi} \quad (4)$$

Fungsi alih kontroler PID setelah ditransformasi laplace dinyatakan oleh ;

$$Gc(s) = Kp + \frac{Ki}{s} + Kd \cdot s \quad (5)$$

Sehingga dari persamaan diatas didapatkan ;

$$Gc(si) = \frac{1}{|Gp(si)|} e^{j(\pi-\varphi)} \quad (6)$$

Atau ;

$$Kd si^2 + Kpsi + Ki = \frac{e^{j(\pi-\varphi)}}{|Gp(si)|} \quad (7)$$

Dengan;

$$si = |si|e^{j\beta} \quad (8)$$

Maka ;

$$Kd|si|^2(\cos 2\beta + j\sin 2\beta) + Kp|si|(\cos \beta + j\sin \beta) + Ki = \frac{|si|}{|Gp(si)|} [\cos(\beta + \pi - \varphi) + j\sin(\beta + \pi - \varphi)] \quad (9)$$

Menyamakan *real* dengan *real* dan imajiner dengan imajiner, didapat ;

$$\begin{bmatrix} |si|^2 & |si|\cos\beta \\ |si|^2 & |si|\cos\beta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Kd \\ Kp \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{|si|}{Gp(si)} \cos(\beta + \pi + \varphi) - Ki \\ \frac{|si|}{Gp(si)} \sin(\beta + \pi + \varphi) \end{bmatrix} \quad (10)$$

Atau ;

$$\begin{bmatrix} |si|^2 & |si|\cos\beta \\ |si|^2 & |si|\cos\beta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Kd \\ Kp \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{|si|}{Gp(si)} \cos(\varphi - \beta) - Ki \\ \frac{|si|}{Gp(si)} \sin(\varphi - \beta) \end{bmatrix} \quad (11)$$

Keterangan :

$G_c(s)$  = Blok Kontroler

$G_p(s)$  = Blok *Plant*

$K_d$  = Konstanta Derivatif

$K_p$  = Konstanta Proporsional

$K_i$  = Konstanta Integral

$e$  = Euler =  $(\cos\beta + j\sin\beta)$

$\pi$  = Sudut Kedatangan

$\varphi$  = Sudut Keberangkatan (*Phase Angle*)

$\beta$  = Sudut pole ( $s_i = |s_i| \angle \beta$ )

$s_i$  = Pole sistem

Dari persamaan diatas dapat dilihat bahwa untuk perancangan kontroler PID, satu dari tiga penguatan  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$ , harus ditentukan dahulu. Sedangkan untuk perancangan PI atau PD, penguatan yang sesuai dalam persamaan diatas dibuat sama dengan nol.

Kasus  $s_1$  adalah imajiner, persamaan diatas akan menghasilkan dua persamaan dalam  $K_p$  dan  $K_d$  serta besar  $K_i$  harus ditentukan terlebih dahulu.

## METODE PENELITIAN

### Pendekatan Penelitian

Penelitian dimulai dengan pengkajian teori-teori yang ada, berdasarkan fenomena nyata sehingga muncul sebab permasalahan. Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif. Tujuan Penelitian ini adalah menggunakan dan mengembangkan model matematis, teori-teori atau hipotesis tentang alam.

Penelitian ini akan membahas tentang rancang bangun dan penerapan kontroler PID pada sistem pengontrolan dan *monitoring* nilai pH nutrisi hidroponik secara otomatis. Penelitian ini menggunakan *software* Arduino IDE untuk menjalankan simulasi pada miniatur plant yang akan menghasilkan respon sistem untuk mempertahankan nilai pH agar tetap pada *setpoint*-nya.

### Tempat dan Waktu Penelitian

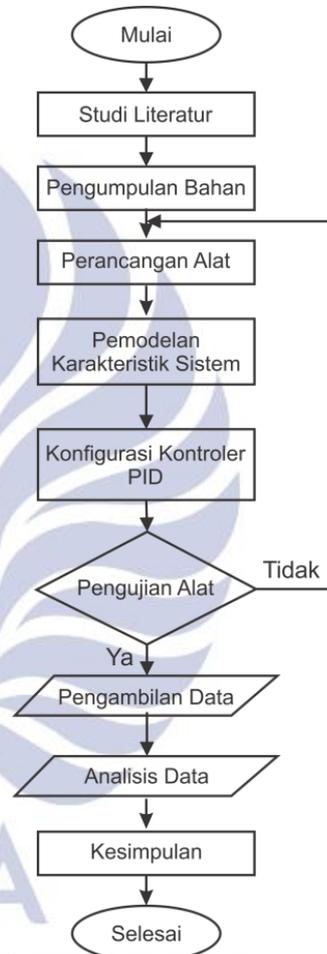
Penelitian ini dilakukan di kebun hidroponik Kavling Auri Jl. Bendul Merisi Utara 1 No. 22A dan di Laboratorium Transmisi dan Distribusi Gedung A80213 Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya, pada masa perkuliahan semester gasal 2018-2019.

### Rancangan Penelitian

Pada rancangan penelitian ini dimulai dengan menelaah beberapa penelitian yang berhubungan dan relevan dengan pengontrolan pH pada tanaman hidroponik. Setelah mendapatkan referensi, peneliti melakukan pengumpulan bahan-bahan yang dibutuhkan untuk merancang sebuah sistem pengontrol pH. Perancangan alat pada sistem ini dilakukan meliputi perancangan modul hidroponik, sistem elektrik, *software*

dan kontroler PID. Pengujian alat dilakukan untuk mengetahui respon sistem, apabila respon sistem telah memenuhi kriteria penelitian, langkah selanjutnya adalah melakukan pengambilan data dari respon sistem berupa pembacaan pH dari tangki nutrisi hidroponik yang kemudian hasilnya dianalisis dan menghasilkan kesimpulan penelitian.

Rancangan penelitian pada penelitian ini dapat digambarkan dalam sebuah diagram alir penelitian yang ditunjukkan pada Gambar 5.

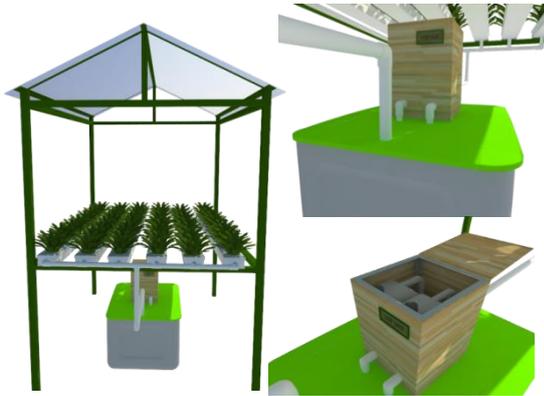


Gambar 5. Diagram Alir Rancangan Penelitian  
(Sumber : Data Penelitian, 2018)

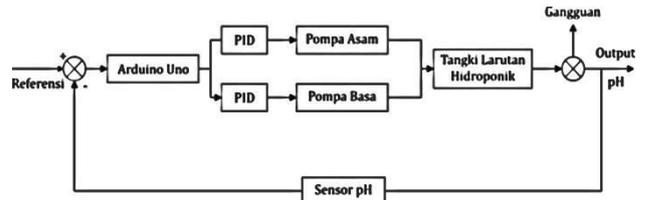
### Rancang Bangun Modul Hidroponik

Perancangan modul hidroponik NFT (*Nutrient Film Technique*) meliputi perancangan tangki nutrisi berkapasitas 25 liter, sistem irigasi atau pengairan, rangka dan talang pertumbuhan tanaman hidroponik dengan dimensi tinggi 1 meter lebar 0.5 meter dan panjang 1 meter dengan 24 lubang tanaman. Modul ini juga dilengkapi sebuah *box* sebagai wadah larutan asam, basa dan rangkaian elektrik.

Rancangan modul hidroponik NFT dapat dilihat pada Gambar 6.



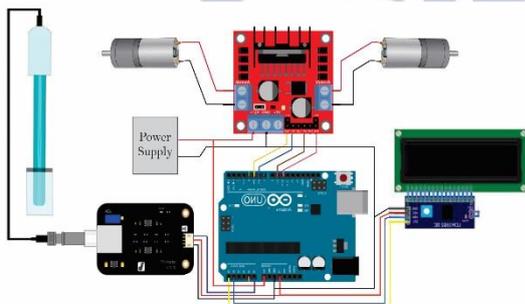
Gambar 6. Modul Hidroponik  
(Sumber : Data Penelitian, 2018)



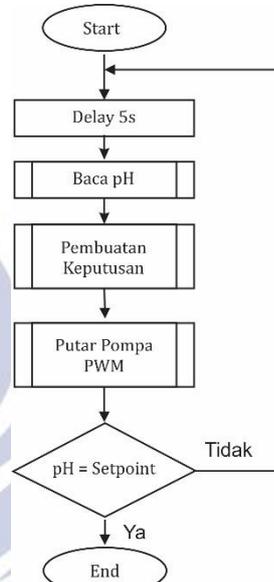
Gambar 8. Diagram Blok Sistem  
(Sumber : Data Penelitian, 2018)

### Rancang Bangun Sistem Elektrik

Perangkat keras yang digunakan pada rancang bangun sistem elektrik antara lain adalah *sensor* analog pH SKU:SEN016 sebagai *input* sistem, Arduino Uno R3 sebagai mikrokontroler, *driver* motor L298N sebagai pengatur kecepatan motor, dua buah pompa motor DC sebagai aktuator dan LCD 16x2 sebagai penampil pH terukur. Gambar dari rangkaian keseluruhan sistem *monitoring* dan pengontrolan ph nutrisi hidroponik ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Rangkaian Elektrik  
(Sumber : Data Penelitian)



Gambar 9. Flowchart Program  
(Sumber : Data Penelitian, 2018)

### Rancang Bangun Software

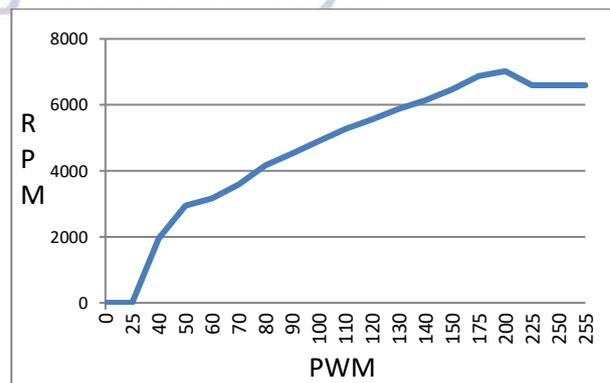
Perancangan software disini adalah merancang sebuah program yang dimasukkan dalam mikrokontroler Arduino Uno. Pemrograman dibuat menggunakan bahasa khusus oleh Arduino dengan program Arduino IDE.

Alur jalannya program pada sistem ini adalah dengan melakukan pengukuran pada larutan nutrisi hidroponik, hasil pengukuran akan digunakan sebagai masukan pada mikrokontroler untuk menghidupkan pompa asam atau basa dan mengatur kecepatan putarannya. Sistem akan berlangsung secara terus menerus sampai nilai pH larutan sesuai dengan *setpoint* yang ditentukan.

Diagram blok dan *flowchart* program sistem kontrol pH nutrisi hidroponik ditunjukkan pada Gambar 8 dan Gambar 9.

### Pemodelan Karakteristik Sistem

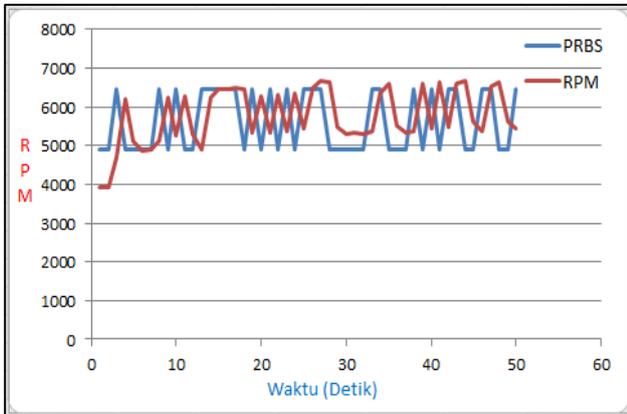
Model matematis sistem pada penelitian ini didapatkan dengan memodelkan karakteristik kecepatan motor DC terhadap PWM (*Pulse Width Modulation*) menggunakan rangkaian *optocoupler*. Karakteristik motor DC pada perancangan ini didapatkan dengan cara memberi masukan berupa PWM dan mengamati kecepatan motor dengan satuan RPM (*Rotation per-Minutes*). Hasil respon kecepatan motor terhadap PWM ditunjukkan dalam Gambar 10.



Gambar 10. Grafik Karakteristik Motor DC  
(Sumber : Data Penelitian, 2018)

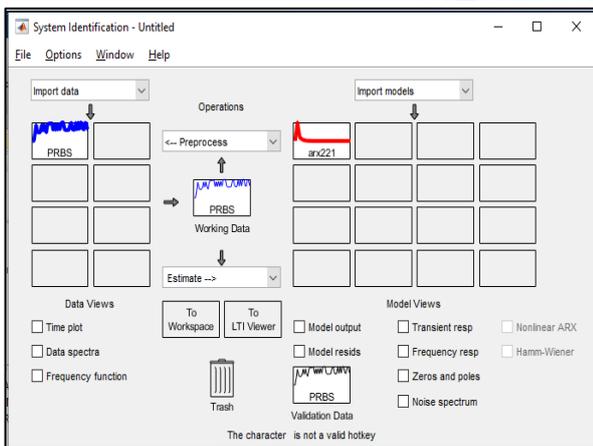
Fungsi alih motor DC didapatkan melalui pemodelan dengan cara membangkitkan sinyal PRBS (*Pseudo Random Binary Sequence*) dari Arduino Uno dan dikirimkan ke aktuator berupa pompa motor DC. Pada penelitian ini ketika sinyal PRBS bernilai *high* nilai PWM yang dikirimkan Arduino adalah 150 dan apabila sinyal PRBS bernilai *low* nilai PWM yang dikirimkan adalah 125.

Hasil dari keluaran motor terhadap sinyal PRBS yang telah dibangkitkan ditunjukkan pada Gambar 11.

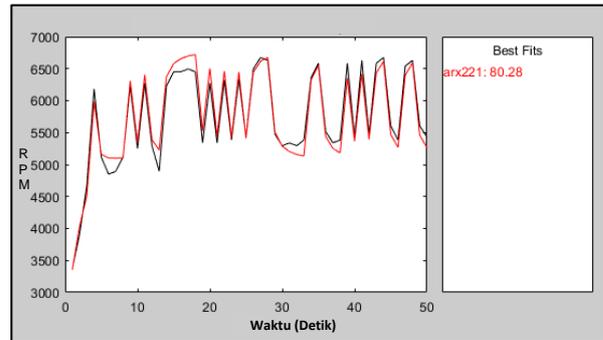


Gambar 11. Grafik Kecepatan Motor DC dan Sinyal PRBS  
(Sumber : Data Penelitian, 2018)

Setelah didapatkan data respon motor terhadap sinyal PRBS, data ini kemudian di-import pada software Matlab 2014a dan dengan bantuan *system identification tool system model*, kita dapat memodelkan suatu sistem. Data identifikasi yang digunakan adalah PRBS sebagai *input* sedangkan kecepatan motor sebagai *output*. Struktur model identifikasi yang digunakan adalah metode ARX (*Auto Regressive with Exogenous input*) dengan estimasi parameter 2 2 1. Identifikasi menggunakan Ident Matlab dapat dilihat dalam Gambar 12.



Gambar 12. System Identification Tool  
(Sumber : Data Penelitian, 2018)



Gambar 13. Best Fit Karakteristik Motor  
(Sumber : Data Penelitian, 2018)

Pada Gambar 13, adalah gambar respon model *output* sistem dari identifikasi model ARX dengan *best fit* 80.28%. Fungsi alih diskrit motor dalam bentuk transformasi z yang didapatkan adalah :

$$A(z) = 1 - 0.6278 z^{-1} + 0.04402 z^{-2} \quad (12)$$

$$B(z) = 0.7657 z^{-1} - 0.3315 z^{-2} \quad (13)$$

Keterangan :

A(z) = Polinomial A

B(z) = Polinomial B

Dari data diatas maka fungsi alih dalam bentuk s-nya adalah :

$$F(s) = \frac{1.834 s + 1.584}{s^2 + 3.123 s + 1.519}$$

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pengujian Sensor pH

Pengujian blok sensor pH dilakukan dengan membandingkan keluaran sensor pH dengan pH meter digital ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan *Output* Sensor pH dan pH Meter  
(Sumber : Data Penelitian, 2018)

Larutan Buffer (pH)	Output Sensor (pH)	Output PH Meter (pH)	Error (%)
4.00	4.43	4.0	10.75
7.00	6.95	7.0	0.71
9.18	8.83	9.1	2.96
Error rata-rata			4.80

Sesuai pada Tabel 2. dapat dilihat bahwa *error* rata-rata pembacaan pH pada sensor pH dengan pH meter adalah 4.8 %. Jadi dapat disimpulkan bahwa sensor pH ini dapat mendeteksi perubahan pH dan bekerja dengan baik.

### Pengujian Rangkaian Pengondisi Sinyal

Pengukuran dari tegangan keluaran RPS (Rangkaian Pengondisi Sinyal) ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengukuran RPS  
(Sumber : Data Penelitian, 2018)

PH	Pengukuran (V)	Perhitungan (V)	Error (%)
4	1.16	1.14	1.75
5	1.49	1.43	5.24
6	1.80	1.71	5.26
7	2.02	2.00	1
8	2.26	2.28	0.87
9	2.55	2.57	0.77
10	2.83	2.86	1.04
Error rata-rata			2.27

Berdasarkan hasil pengujian dalam Tabel 3. dapat diketahui bahwa keluaran tegangan modul RPS dan tegangan pada pin A0 Arduino mempunyai error rata-rata 2.27 %, Jadi dapat disimpulkan bahwa modul RPS bekerja dengan baik.

#### Pengujian Driver Motor L298N

Pengujian ini dilakukan dengan menguji sinyal respon dari driver motor terhadap sinyal masukan PWM yang diberikan oleh Arduino Uno. Pengujian dilakukan dengan mengukur tegangan pada *driver* dalam keadaan tanpa motor dan dengan motor.

Tabel 4. Hasil Pengujian *Driver* L298N  
(Sumber : Data Penelitian, 2018)

Duty Cycle Input (%)	PWM	Output Tanpa Motor (V)	Output dengan Motor (V)
0	0	0.05	0.00
9.8	25	5.35	0.15
19.6	50	6.23	1.52
29.4	75	6.54	3.65
39.2	100	7.24	4.89
49	125	7.80	5.56
58.8	150	8.28	6.11
68.6	175	8.62	6.53
78.4	200	8.87	6.97
88.2	225	9.01	7.62
100	255	9.05	8.54

Pada penelitian kali ini pompa DC yang digunakan sebagai aktuator mempunyai tegangan kerja efektif 6 VDC. Sesuai Tabel 4, tegangan *driver* motor dalam kondisi pompa terpasang yang memenuhi tegangan kerja pompa adalah pada rentang *duty cycle* 29.4 sampai 68.6% atau pada PWM 75 sampai 175.

#### Pengujian Pompa Motor DC

Pengujian pada pompa dilakukan dengan melakukan pengukuran kecepatan putaran motor dan debit air per-menitnya.

Tabel 5. Pengukuran Kecepatan dan Debit Pompa DC  
(Sumber : Data Penelitian, 2018)

PWM	Kecepatan Motor (RPM)	Debit Pompa (ml/min)
0	0	0
25	0	0
50	2941	600
75	3612	750
100	4898	825
125	5672	975
150	6468	1100
175	6872	1300
200	7021	1450
225	6594	1300
255	6426	1300

#### Hasil Pengamatan Respon Pertumbuhan Selada

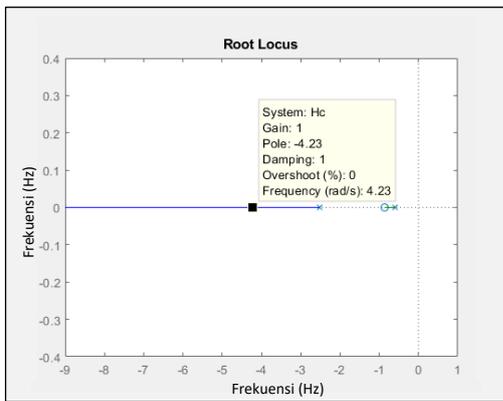
Pada penelitian ini respon selada yang diamati adalah jumlah daun selada. Pengamatan ini dilakukan setiap 3 hari sekali. Selada yang digunakan adalah selada dengan umur 21 hari, dan akan diamati sampai umur 48 hari. Respon pertumbuhan selada dengan sistem kontrol pH dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Respon Pertumbuhan Selada dengan Sistem Kontrol pH  
(Sumber : Data Penelitian, 2018)

Waktu	Umur Selada	Jumlah Daun (Helai)					
		T1	T2	T3	T4	T5	T6
21 Okt 2018	21	6	4	6	5	5	4
24 Okt 2018	24	6	6	7	6	6	5
27 Okt 2018	27	7	6	7	6	6	6
30 Okt 2018	30	7	6	7	6	7	6
02 Nov 2018	33	9	8	10	8	7	8
05 Nov 2018	36	9	8	10	8	7	9
08 Nov 2018	39	10	10	12	10	9	9
11 Nov 2018	42	12	10	12	10	9	10
14 Nov 2018	45	12	12	14	10	11	10
17 Nov 2018	48	13	12	14	12	11	12

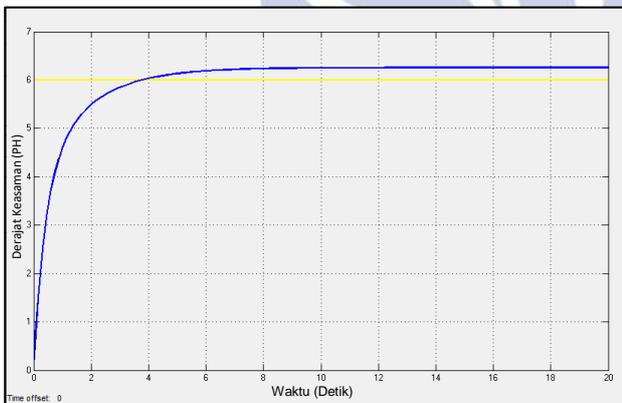
#### Konfigurasi Kontrol PID

Untuk mendapatkan parameter PID yang diinginkan terlebih dahulu ditentukan *pole* yang diinginkan berdasarkan grafik *root locus* dari sistem. Pada penelitian ini digunakan  $si = -4.23$ . Penentuan letak pole pada diagram *root locus* ditunjukkan pada Gambar 14.



Gambar 14. Letak Pole pada Diagram Root Locus  
(Sumber : Data Penelitian, 2018)

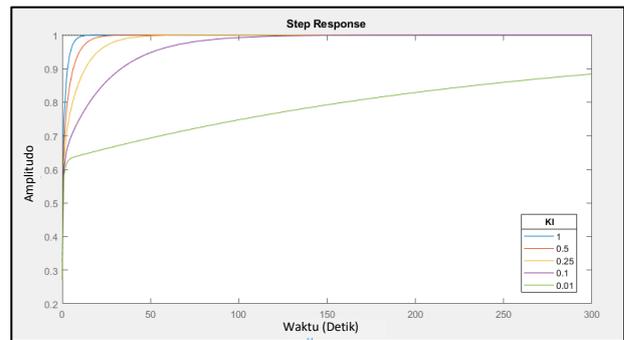
Selanjutnya dilakukan perhitungan untuk menentukan parameter PID sesuai dengan kriteria yang diinginkan. Perhitungan dilakukan dengan melakukan perhitungan pada Persamaan 11, dibantu dengan software Matlab. Hasil perhitungan Parameter PID ditunjukkan pada Tabel 7. Grafik respon sistem tanpa PID dapat dilihat dalam Gambar 15 dan respon sistem menggunakan PID dapat dilihat dalam Gambar 16.



Gambar 15. Grafik Respon Sistem Tanpa Kontroler  
(Sumber : Data Penelitian, 2018)

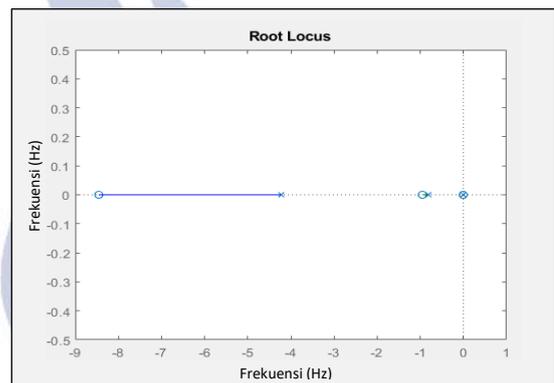
Tabel 7. Hasil Perhitungan Parameter PID  
(Sumber : Data Penelitian, 2018)

Kp	Ki	Kd	Pole 1	Pole 2	Pole 3
1.61	0.01	0.190	-4.23	-0.818	-0.004
1.657	0.1	0.195	-4.23	-0.814	-0.039
1.728	0.25	0.204	-4.23	-0.806	-0.969
1.846	0.5	0.218	-4.23	-0.791	-0.194
2.082	1	0.246	-4.23	-0.738	-0.399



Gambar 16. Grafik Respon Sistem dengan PID  
(Sumber : Data Penelitian, 2018)

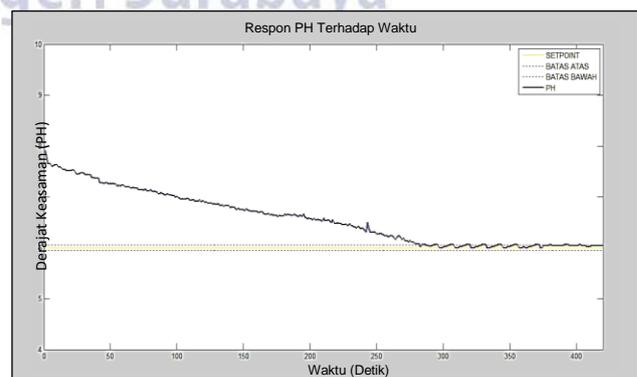
Berdasarkan Gambar 17 respon sistem dengan  $K_p=2.0826$ ,  $K_i=1$ ,  $K_d=0.2462$  memiliki error terkecil dengan rise time tercepat yaitu *settling time*  $\tau_s = 9.8$  s.



Gambar 17. Diagram Root Locus dengan Kontroler  
(Sumber : Data Penelitian, 2018)

### Pengujian Kontroler PID

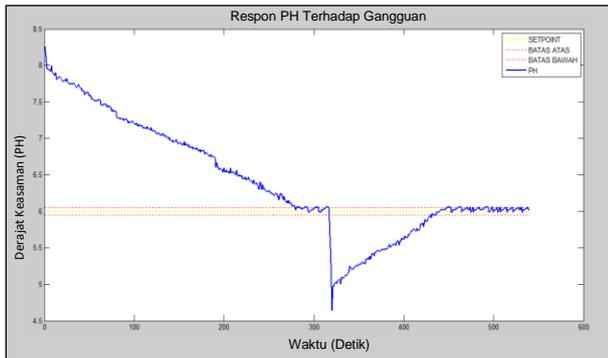
Pengujian kontrol PID dilakukan untuk mengetahui kinerja sistem dengan kontroler PID dan mengetahui respon keseluruhan sistem. Implementasi sistem dengan nilai parameter PID  $K_p=2.0826$ ,  $K_i=1$ ,  $K_d=0.2462$  ke dalam sistem dengan setpoint pH 6.0. Dari proses implementasi tersebut dihasilkan respon seperti pada Gambar 18.



Gambar 18. Grafik Respon Sistem terhadap Waktu  
(Sumber : Data Penelitian, 2018)

Dari Gambar 18 dapat diketahui bahwa respon sistem kontrol pH terhadap waktu dengan sinyal uji PRBS sebesar 80.28% adalah *rise time* 297 detik, *delay time* 142 detik, *settling time* 283 detik, *maximum overshoot* 5% dan *error steady state* 0.67%.

Pengujian selanjutnya adalah pengujian dengan memberikan gangguan pada sistem dengan cara menuangkan larutan asam kuat yaitu Kalium Hidroksida (KOH) sebanyak 100ml. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui respon sistem dalam mempertahankan pH pada *setpoint*.



Gambar 19. Grafik Respon Sistem dengan Gangguan (Sumber : Data Penelitian, 2018)

Dari Gambar 19 dapat disimpulkan bahwa sistem ini dapat mempertahankan pH dengan *settling time* 280 detik dan dapat menstabilkan pH setelah diberi gangguan adalah 133 detik.

## PENUTUP

### Simpulan

Penelitian ini berhasil merealisasikan rancangan sistem kontrol pH nutrisi hidroponik secara otomatis menggunakan kontroler PID dengan actuator berupa dua buah pompa motor DC dan sensor analog pH SKU:SEN0161 sebagai inputnya. Sistem ini dapat mempertahankan nilai pH pada *setpoint* yang ditentukan.

Pada Gambar 13 dapat dilihat *best fit* hasil pengujian keakurasian menggunakan sinyal uji PRBS dengan metode ARX adalah sebesar 80.28%. Dan pada Gambar 18, perancangan parameter PID menggunakan metode *root locus* dengan nilai pole  $s = -4.23$ . didapatkan nilai  $K_p = 2.0826$ ,  $K_i = 1$ ,  $K_d = 0.2462$ , dan hasil pengujian dengan *setpoint* pH 6.0 didapatkan *time settling* 283 detik dan *error steady state* = 0.67 %

### Saran

Berdasarkan simpulan diatas ada beberapa saran yang dapat dilakukan untuk pengembangan sistem kontrol pH agar hasil lebih maksimal yaitu menggunakan sensor yang lebih akurat dan presisi seperti tipe "Meter Pro Kit pH

Sensor", menerapkan sistem pengontrolan suhu air pada *plant.*, menerapkan penggunaan UPS sebagai *backup* daya listrik apabila listrik PLN padam, *plant* pengontrolan pH masih dapat dikembangkan dengan mengubah kontrolernya dan bila ingin mempercepat respon bias dilakukan dengan menambahkan konsentrasi larutan asam dan basa.

## DAFTAR PUSTAKA

- Kustanti, Ika, dkk. 2014. *Pengendalian Kadar Keasaman (pH) Pada Sistem Hidroponik Stroberi Menggunakan Kontroler PID Berbasis Arduino Uno*. Malang. Jurnal Teknik Elektro, Universitas Brawijaya.
- Pancawati, Dian dan Yulianto, Andik. 2016. *Implementasi Fuzzy Logic Controller untuk Mengatur pH Nutrisi pada Sistem Hidroponik Nutrient Film Technique (NFT)*. Batam. Jurnal Teknik Elektro, Universitas Internasional Batam.
- Philip, C. L. & Harbor, R. D. 1996 . *Feedback Control System*. Prentice Hall. New Jersey.
- Suprijadi, dkk. 2009. *Sistem Kontrol Nutrisi Hidroponik dengan menggunakan Logika Fuzzy*. Bandung. Jurnal Teknik Elektro, Institut Teknologi Bandung.
- Sutiyoso, Y. 2003. *Meramu Pupuk Hidroponik*. Jakarta. Penebar Swadaya.
- Wardana, I Nyoman Kusuma. 2015. *Teknik Antarmuka Matlab dan Arduino*. Denpasar: Vaikutha Internasional Publication.
- Web.<https://www.arduino.cc/en/main/ArduinoBoardUno>. Diakses 23 Januari 2019.
- Web.<https://www.dfrobot.com/product-1025.html>. Diakses 23 Januari 2019.
- Web.<https://www.mechatro.co.id/jual-water-pump-dc-6v-murah.html>. Diakses 23 Januari 2019.