

# Pengendalian Kadar Keasaman (pH) Pada Sistem Hidroponik Stroberi Menggunakan Kontroler PID Berbasis Arduino Uno

Ika Kustanti, Pembimbing 1: M. Aziz Muslim, Pembimbing 2 : Erni Yudaningtyas.

**Abstrak**— *Pengendalian kadar keasaman pada stroberi hidroponik sangat diperlukan karena kadar keasaman air hidroponik pada umumnya cenderung basa, keadaan ini tidak memenuhi syarat kadar keasaman ideal stroberi yaitu 5,8 – 6,5. Pengendalian dirancang agar kadar keasaman air hidroponik sesuai dengan setpoint yaitu pH 6 dengan mengendalikan putaran pompa yang berisi cairan asam dan basa.*

*Pada skripsi ini Arduino UNO yaitu sebuah board mikrokontroler yang didasarkan pada ATmega328 diaplikasikan sebagai perangkat pengendali kadar keasaman air hidroponik.*

*Proses perancangan kontroler PID menggunakan metode root locus dan didapatkan bahwa semua akar berada disebelah kiri bidang  $s$ , sehingga respon yang didapat dari semua pole stabil. Hasil perhitungan parameter PID dengan pole  $s = -3.53$  didapatkan nilai parameter PID terbaik yaitu  $K_p = 4.8065$ ,  $K_i = 5$  dan  $K_d = 0.6808$ .*

**Kata Kunci**—pH, stroberi, PID, Arduino UNO.

## I. PENDAHULUAN

Stroberi merupakan salah satu buah bernilai jual tinggi, namun pembudidayaan stroberi konvensional sangat bergantung pada cuaca, dan keadaan tanah. Hidroponik merupakan salah satu solusi pembudidayaan stroberi yang tidak bergantung pada cuaca maupun keadaan tanah, karena media tanam hidroponik berupa air dan ditempatkan pada rumah kaca (*green house*). Namun hidroponik konvensional tidak dilengkapi pengendalian kadar keasaman yang dapat menjaga pH media tanam stroberi yang ideal yaitu 5,8 – 6,5 [1].

Salah satu jenis kontroler yang banyak digunakan saat ini adalah kontroler PID (Proportional Integral Derivative). PID adalah kontroler yang merupakan gabungan dari kontroler proposional, kontroler integral dan kontroler differensial. Gabungan dari ketiga kontroler ini diharapkan agar mendapat keluaran sistem dengan nilai error sekecil mungkin. Keuntungan dari kontroler PID adalah merupakan sebuah sistem yang sederhana sehingga lebih cepat dalam mengambil sebuah keputusan. Diharapkan dengan menggunakan kontroler PID kadar keasaman bisa dikendalikan.

Berdasarkan permasalahan tersebut maka dalam skripsi ini dirancang sebuah perangkat yang mampu mengendalikan kadar keasaman pada sistem hidroponik stroberi dengan cara mengendalikan kecepatan putaran

pompa yang berisi cairan asam dan basa. Komponen pengendalian yang digunakan berbasis Arduino Uno.

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah terbuatnya perangkat yang mampu mengendalikan kadar keasaman pada sistem hidroponik stroberi berbasis Arduino Uno.

## II. IDENTIFIKASI SISTEM

### A. Hidroponik Stroberi

Hidroponik adalah suatu sistem bercocok tanam dengan menggunakan air sebagai media tanamnya. Air yang digunakan hendaknya memenuhi syarat-syarat tertentu, misalnya pH, kekeruhan, ukuran partikel, unsur-unsur kimia, dan proporsi [2]. Seperti yang telah dijelaskan di atas, air yang digunakan dalam sistem hidroponik hendaknya diatur kadar pH-nya. Stroberi memiliki rentang pH ideal 5,8-6,5 untuk media tanamnya agar dapat tumbuh optimal. Kadar pH yang berlebihan dapat mengganggu pertumbuhan stroberi antara lain kerusakan membran akar, selain itu daun maupun buah menjadi berwarna lebih kuning sehingga jika buah dapat tumbuh akan menghasilkan buah yang kurang manis. Kadar pH yang kurang juga dapat mempengaruhi pertumbuhan stroberi yaitu stroberi menjadi tidak mampu menyerap nutrisi yang dibutuhkan [3].

### B. Motor DC

Motor yang digunakan dalam penelitian kali ini merupakan motor DC magnet permanen. Untuk melakukan perubahan kecepatan dari motor ini adalah dengan mengatur tegangan yang masuk ke dalam motor. Berikut Gambar 1 adalah bentuk fisik motor DC.



Gambar 1. Motor DC

### C. Sensor pH

Sensor pH merupakan elektroda gelas yang terdiri dari gelembung gelas yang sensitif pH pada ujungnya, berisi larutan klorida yang diketahui pHnya dan elektroda

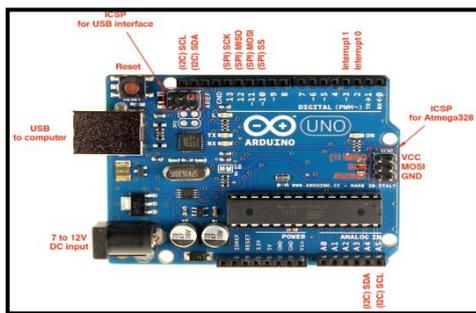
referensi. Berikut Gambar 2 adalah bentuk fisik sensor pH.



Gambar 2. Sensor pH

**D. Arduino UNO**

Arduino UNO adalah sebuah board mikrokontroler yang didasarkan pada ATmega328. Arduino UNO mempunyai 14 pin digital input dan output, 6 di antaranya dapat digunakan sebagai output PWM. 6 input analog, sebuah osilator Kristal 16 MHz, sebuah koneksi USB, sebuah power jack, sebuah ICSP header, dan sebuah tombol reset. Arduino UNO memuat semua yang dibutuhkan untuk menunjang mikrokontroler, mudah menghubungkannya ke sebuah komputer dengan sebuah kabel USB atau mensuplainya dengan sebuah adaptor AC ke DC atau menggunakan baterai untuk memulainya. Gambar 3 menampilkan Arduino Uno secara fisik.



Gambar 3. Arduino UNO

**E. 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 *Pseudo Random Binary Sequences* (PRBS). [4].

*Pseudo Random Binary Sequence* (PRBS) adalah sinyal kotak yang termodulasi pada lebarnya dan berlangsung secara sekuensial. Sinyal ini biasanya dibangkitkan menggunakan *Linear Feedback Shift Register* (LFSR). 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:

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

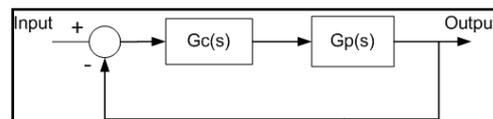
Dimana n adalah panjang dari register LFSR (jumlah bit). Panjang maksimum dari PRBS disebut *M-sequence*.

Tabel 1. Variasi Panjang Sekuensial PRBS

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

**F. Perancangan PID dengan Root locus**

Rancangan sistem kendali loop tertutup dengan metode *root locus* dimungkinkan untuk mengatur sekurang-kurangnya beberapa letak *pole* sistem loop tertutup sehingga dapat diatur tanggapan transient pada tingkat tertentu dan pengaruhnya terhadap tanggapan keadaan mantap [5]. Prosedur analitis perancangan kontroler PID menggunakan metode *root locus* dapat dilihat dalam Gambar 4.



Gambar 4. Sistem Kendali

Untuk sistem tersebut, Persamaan karakteristik diberikan oleh:

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

Misalkan diinginkan lokus akar melalui  $s = s_1$ , maka  $Gc(s_1)Gp(s_1) = -1 \quad \dots\dots\dots(3)$

$$Gc(s_1)|Gp(s_1)|e^{j\psi} = 1e^{j\Pi} \quad \dots\dots\dots(4)$$

Fungsi alih kontroler PID setelah ditransformasi laplace dinyatakan oleh

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

Sehingga dari persamaan diatas didapatkan

$$Gc(s_1) = \frac{1}{|Gp(s_1)|} e^{j(\Pi-\psi)} \quad \dots\dots\dots(6)$$

atau

$$Kd s_1^2 + Kp s_1 + Ki = \frac{e^{j(\Pi-\psi)}}{|Gp(s_1)|} \quad \dots\dots\dots(7)$$

Dengan

$$s_1 = |s_1|e^{j\beta} \quad \dots\dots\dots(8)$$

Maka

$$Kd |s_1|^2 (\cos 2\beta + j \sin 2\beta) + Kp |s_1| (\cos \beta + j \sin \beta) + Ki = \frac{|s_1|}{|Gp(s_1)|} [\cos(\beta + \Pi - \psi) + j \sin(\beta + \Pi - \psi)] \quad \dots\dots(9)$$

Menyamakan real dengan real dan imajiner dengan imajiner, didapat

$$\begin{bmatrix} |s_1|^2 & |s_1| \cos \beta \\ |s_1|^2 & |s_1| \sin \beta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Kd \\ Kp \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{|s_1|}{Gp(s_1)} \cos(\beta + \Pi + \psi) - Ki \\ \frac{|s_1|}{Gp(s_1)} \sin(\beta + \Pi + \psi) \end{bmatrix} \quad .. (10)$$

$$\begin{bmatrix} |s_1|^2 & |s_1| \cos \beta \\ |s_1|^2 & |s_1| \sin \beta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Kd \\ Kp \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{|s_1|}{Gp(s_1)} \cos(\psi - \beta) - Ki \\ \frac{|s_1|}{Gp(s_1)} \sin(\psi - \beta) \end{bmatrix} \quad \dots\dots(11)$$

Dari persamaan di atas dapat dilihat bahwa untuk perancangan kontroler PID, satu dari tiga penguatan Kp, Ki, Kd, harus ditentukan dahulu. Sedangkan untuk perancangan PI atau PD, penguatan yang sesuai pada persamaan di atas dibuat sama dengan nol.

Untuk kasus  $s_1$  adalah imajiner, persamaan di atas akan menghasilkan dua persamaan dalam Kp dan Kd serta besar Ki harus ditentukan terlebih dahulu.

### III. PERANCANGAN MODUL

Perancangan ini meliputi pembuatan perangkat keras dan perangkat lunak, perangkat keras meliputi perancangan hidroponik dan perancangan rangkaian Arduino *shield* yang terdiri atas rangkaian pengondisi sinyal dan *regulator* tegangan, untuk perangkat lunak meliputi pembuatan program pada Arduino UNO 1.0.5 untuk keperluan analisis sistem yaitu dengan membangkitkan sinyal PRBS dan program kontrol PWM motor pompa.

#### A. Perancangan Hidroponik Stroberi

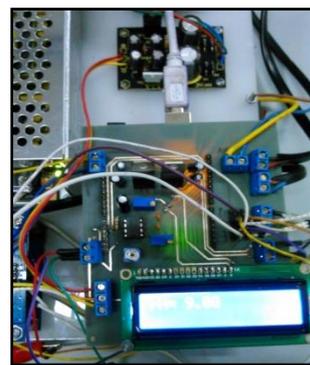
Konstruksi hidroponik stroberi dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Skema Konstruksi Hidroponik Stroberi

#### B. Perancangan Arduino *Shield*

*Shield* adalah istilah untuk modul tambahan pada Arduino, karena cara menggunakan modul tambahan pada Arduino adalah dengan cara menumpuk di bagian atas Arduino, maka diberi istilah *shield* (tameng/perisai). Arduino *shield* yang digunakan pada penelitian ini berisi rangkaian pengondisi sinyal, regulator tegangan, dan LCD.



Gambar 6. Arduino *Shield*

#### C. Perancangan Perangkat Lunak

Pada penelitian ini pemrograman keseluruhan sistem menggunakan bahasa pemrograman C++ dengan *software* Arduino 1.0.5

### IV. PENGUJIAN DAN ANALISIS DATA

Pengujian ini meliputi pengujian perangkat keras dalam hal ini pengujian sensor pH, pengujian rangkaian pengondisi sinyal, pengujian driver dan hubungan PWM dengan kecepatan motor diteruskan dengan pengambilan data input-output dengan penggunaan sinyal PRBS, kemudian data tersebut dianalisa dengan MATLAB 7 dengan fasilitas ident yang tersedia. Pengujian di atas dilakukan dengan tujuan memperoleh karakteristik dari tiap alat. Setelah didapatkan karakteristiknya, kemudian dapat dilakukan penyesuaian pada sistem.

#### A. Pengujian Sensor pH

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui besar tegangan keluaran sensor pH. Pengujian dilakukan dengan larutan pH buffer 1-10.

Tabel 2. Hasil Nilai Tegangan Keluaran Sensor pH

Larutan pH Buffer	Vout Sensor (mV)
1	222.50
2	195.16
4	164.80
5	102.88
6	36.96
7	-4.19
8	-37.85
9	-45.51
10	-156.98

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor pH mampu mendeteksi perbedaan pH pada tiap larutan.

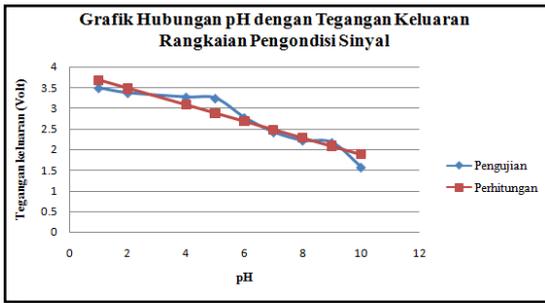
#### B. Pengujian Rangkaian Pengondisi Sinyal (RPS)

Pengujian ini bertujuan untuk memperoleh resolusi pH yang diinginkan bisa ditanggapi oleh ADC mikrokontroler yang digunakan yaitu pada kisaran 0 - 5 Volt.

Tabel 3. Hasil Nilai Tegangan Keluaran RPS Sensor pH

pH	Pengujian	Perhitungan
1	3.49	3.68
2	3.37	3.48
4	3.27	3.08
5	3.24	2.88
6	2.77	2.68
7	2.42	2.48
8	2.22	2.28
9	2.17	2.08
10	1.57	1.88

Hasil pengujian RPS dapat dilihat dalam Gambar 7.



Gambar 7. Grafik Pengujian Rangkaian Pengondisi Sinyal

**C. Pengujian Driver Motor**

Pengujian ini dilakukan untuk membandingkan nilai masukan *duty cycle* yang diberikan dengan respon *duty cycle* pada *driver* EMS H-Bridge 30 A.

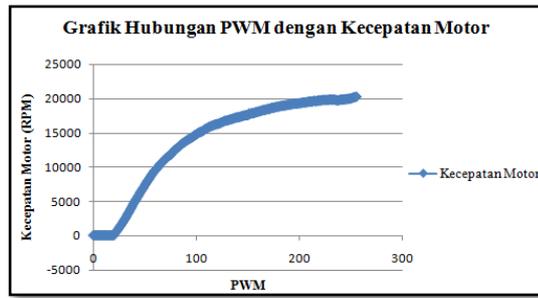
Tabel 4. Hasil Nilai Pengujian Driver EMS H-Bridge 30 A

Duty Cycle Input (PWM Arduino)	Duty Cycle Output Driver	Error
10.2	10.5	0.3
19.9	20.2	0.3
29.7	30.1	0.4
39.5	39.7	0.2
49.2	49.5	0.3
59	59.3	0.3
68.8	69	0.2
78.5	78.8	0.3
98.1	98.4	0.3
Error rata-rata		0.26

Berdasarkan tabel 4 ditunjukkan bahwa terdapat rata-rata error sebesar 0.26, sehingga dapat disimpulkan *driver* dapat bekerja dengan baik.

**D. Pengujian Kecepatan Motor**

Pengujian kecepatan motor dilakukan dengan memberikan nilai PWM sebesar 0 – 255, kemudian diperoleh respon kecepatan motor seperti Gambar 8:

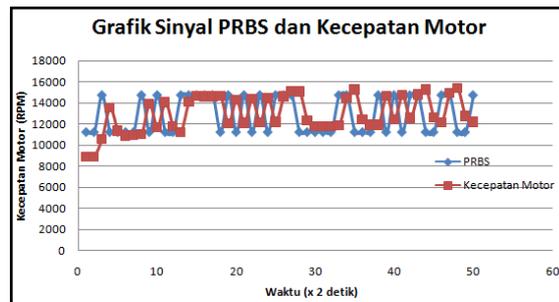


Gambar 8. Grafik Hubungan PWM dengan Kecepatan Motor

Dari gambar 8 dapat dilihat motor mulai berputar di kisaran PWM 20 - 25, kecepatan motor mengalami perubahan yang besar dalam kisaran PWM 25 – 100 sedangkan pada PWM 100 - 255 perubahan kecepatan tidak begitu besar.

**E. Pengambilan data Input-Output**

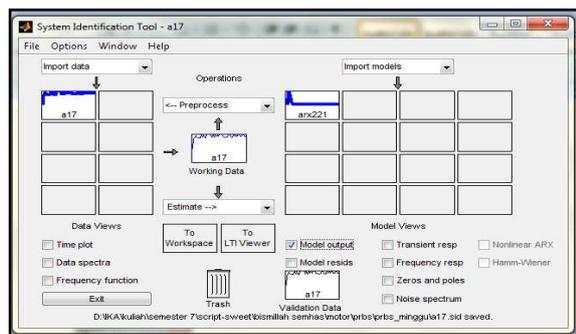
Pengambilan data input-output dengan cara dijalankannya program yang membangkitkan sinyal PRBS dari Arduino UNO. Grafik sinyal PRBS dan kecepatan motor dapat dilihat dalam Gambar 9.



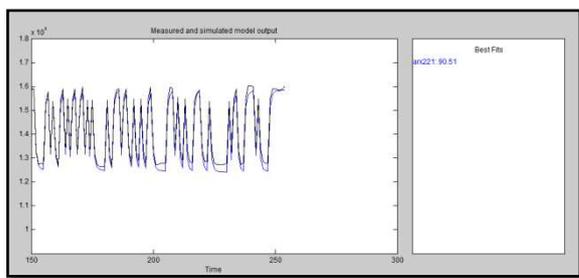
Gambar 9. Grafik Sinyal PRBS dan Kecepatan Motor

**F. Identifikasi Menggunakan MATLAB 7**

Identifikasi sistem bertujuan didapatkannya fungsi alih dari keseluruhan sistem, pengujian dilakukan menggunakan software MATLAB 7 dengan fasilitas ident yang dimilikinya. Data identifikasi yang digunakan, PRBS sebagai input sedangkan kecepatan motor sebagai output. Struktur model yang digunakan adalah *Auto Regresive with Exogenous input* (ARX) dengan estimasi parameter 2 2 1. Identifikasi menggunakan Ident MATLAB dapat dilihat dalam Gambar 10.



Gambar 10. Identifikasi Menggunakan Ident MATLAB



Gambar 11. Best Fit Karakteristik Motor

Dari Gambar 11 didapatkan *best fit* terbaik yaitu 90.51 % dengan fungsi alih diskrit:

$$A(q) = 1 - 1.152 (+0.01782) q^{-1} + 0.1849 (+0.005618) q^{-2} \dots\dots\dots(12)$$

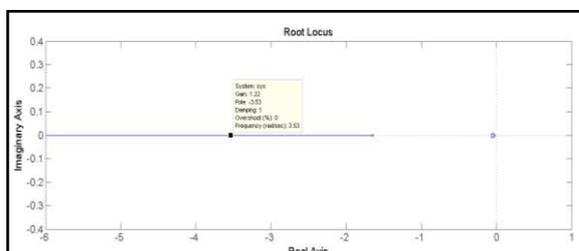
$$B(q) = 0.7648 (+0.002769) q^{-1} - 0.7294 (+0.01405) q^{-2} \dots\dots\dots(13)$$

Dari data diatas bisa didapatakan fungsi alih dalam bentuk s nya:

$$F(s) = \frac{1.554s+0.07371}{s^2+1.688s+0.0685} \dots\dots\dots(14)$$

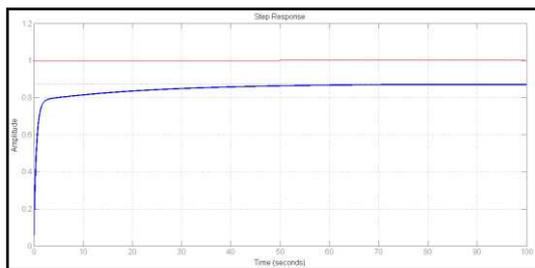
**G. Penentuan Parameter PID**

Untuk mendapatkan parameter PID yang diinginkan terlebih dahulu ditentukan *pole* yang diinginkan berdasarkan grafik *root locus* dari sistem. Dari grafik *root locus* dapat dilihat bahwa semua akar berada pada sisi kiri bidang s, dapat disimpulkan bahwa sistem stabil dalam nilai manapun, dalam penelitian ini dipilih *pole*  $s = -3.53$ . *Root locus* fungsi alih sistem dan pemilihan *pole* dapat dilihat dalam Gambar 12.

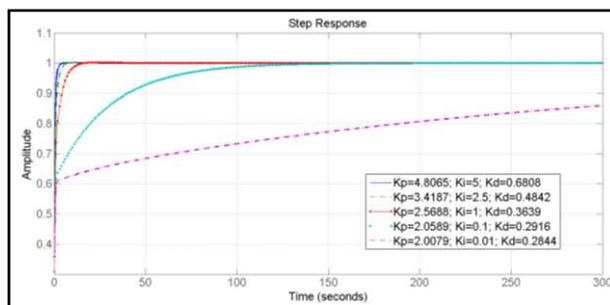


Gambar 12. Root Locus Fungsi Alih sistem dan Pemilihan Pole

Selanjutnya dilakukan perhitungan untuk menentukan parameter PID sesuai dengan kriteria yang diinginkan dalam hal ini menggunakan metode *root locus* yang diimplementasikan dalam program MATLAB. Sesuai dengan Persamaan 4. Grafik respon sistem tanpa PID dapat dilihat dalam Gambar 13 dan respon sistem menggunakan PID dapat dilihat dalam Gambar 14.



Gambar 13. Grafik Respon Sistem Tanpa PID



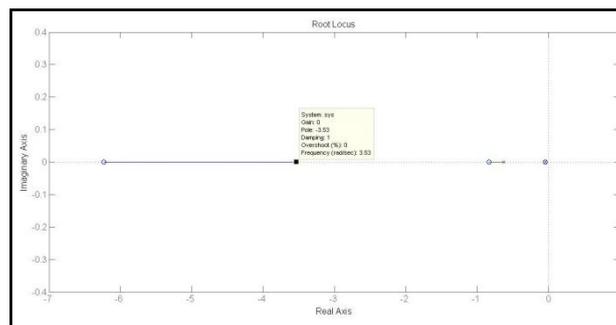
Gambar 14. Grafik Respon Sistem dengan PID

Dari Gambar 13 dapat diketahui bahwa respon sistem tanpa menggunakan PID tidak dapat mencapai setpoint yang diinginkan. Dengan digunakannya parameter PID hasil tuning didapatkan respon yang lebih cepat dari pada respond tanpa menggunakan PID, serta dapat mencapai setpoint yang diinginkan seperti tertera pada Gambar 14.

Dari 4 jenis parameter PID yang didapat dipilih nilai PID yang memiliki respon terbaik yaitu :

$$Kp = 4.8065, Ki = 5 \text{ dan } Kd = 0.6808$$

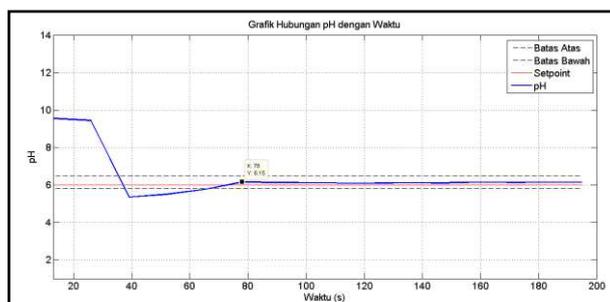
Gambar *root locus* dari fungsi alih plant ditambah PID dapat dilihat dalam Gambar 15.



Gambar 15. Root locus Sistem Keseluruhan

**H. Pengujian Sistem keseluruhan**

Pengujian sistem secara keseluruhan ini dilakukan untuk mengetahui kinerja perangkat keras dan perangkat lunak serta mengetahui respon keseluruhan sistem dengan PID. Implementasi nilai parameter PID yang telah dihitung yaitu  $Kp = 4.8065, Ki = 5$  dan  $Kd = 0.6808$  ke dalam rangkaian keseluruhan sistem dengan setpoint pH 6. Dari proses implentasi tersebut dihasilkan respon seperti pada Gambar 15.



Gambar 16. Grafik Respon Sistem Keseluruhan

## V. KESIMPULAN DAN PROSPEK

Hasil pengujian keakurasian menggunakan sinyal uji PRBS sebesar 90.51 %, sedangkan perancangan parameter PID menggunakan metode *root locus* dengan nilai *pole s* = -3.53 didapatkan nilai  $K_p = 4.8065$ ,  $K_i = 5$  dan  $K_d = 0.6808$ . *Setpoint* pH 6 didapatkan *time settling*=78s, *error steady state*=2.63%.

Hasil ini menunjukkan bahwa dengan blok kontroler PID, Arduino UNO dapat mengendalikan kadar keasaman hidroponik stroberi, namun kemampuan sensor pH untuk menerima data cukup lambat disebabkan perubahan pH dalam air membutuhkan waktu pencampuran.

Penelitian ini dapat diaplikasikan pada tempat pembudidayaan stroberi.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Budiman, S. 2005. *Berkebun Stroberi Secara Komersial*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- [2] Karsono, S. 2002. *Hidroponik Skala Rumah Tangga*. Jakarta : Agro Media Pustaka
- [3] Perry, L. 2012. *Ph for The Garden*. Florida: Soil Conservation Service. U.S. Department of Agriculture Handbook
- [4] Landau, Ioan dan Gianluca Zito. 2006. *Digital Control Systems Design, Identification and Implementation*. Germany: Springer-Verlag London Limited
- [5] Philip, C. L. & Harbor, R. D. 1996. *Feedback Control System*. Prentice Hall. New Jersey.