PENGONTROLAN NUTRISI PADA SISTEM TOMAT HIDROPONIK MENGGUNAKAN KONTROLER PID

Faizal Beni Akbar[1], M. Aziz Muslim[2], Purwanto[3]
[1]Mahasiswa Teknik Elektro Universitas Brawijaya, [2,3]Dosen Teknik Elektro Universitas Brawijaya
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia
E-mail: faizalbeniakbar@gmail.com

ABSTRAK

Sistem hidroponik merupakan sebuah metode bercocok tanam modern tanpa menggunakan media tanah melainkan air dengan menekankan pemenuhan kebutuhan nutrisi pada tanaman. Sistem *Nutrient Film Technique* (NFT) merupakan sistem yang mendukung dimana aliran air sangat dangkal mengandung semua nutrisi terlarut. Pengontrolan nutrisi pada sistem tomat hidroponik diperlukan, karena pertumbuhan tanaman bergantung pada pemberian nutrisi yang ideal. Pemberian nutrisi dapat dilihat dari kadar keasaman (pH) air tomat hidroponik yang idealnya berkisar antara 5.5 hingga 6.5. Sedangkan, air hidroponik biasanya bersifat basa. Dengan menggunakan kontroler PID, sistem akan menghasilkan *error steady state* yang kecil dan akan mendapatkan *settling time* yang cepat. Proses perancangan kontroler PID dengan menggunakan metode *Ziegler-Nichols* didapatkan parameter PID dengan nilai parameter Kp = 4.26, Ki = 0.1065, dan Kd = 42.6. Dari hasil pengujian kontroler PID didapatkan settling time sebesar 520 detik dan recovery time sebesar 118 detik.

Kata Kunci: hidroponik, NFT, tomat, PID, *Ziegler-Nichols*.

ABSTRACT

Hydroponic's system is one of the modern farming method without using soils as a media but waters by emphasizing the fullfillment of the nutrients to the plant. Nutrient Film Technique's system is a system that support where the flow of water is very shallow and contains all of the dissolved nutrients. Controlling nutrients in the tomatoes hydroponic's system is necessary, because for plants growth depends on the ideal nutrition. Nutrition can be seen from the tomato hydroponic's water acidity (pH) which ideally ranges between 5.5 to 6.5. Meanwhile, the water of hydroponic is usually too alkaline. With using the PID's controller, the system will gain small error steady state and get the fastest settling time. Design process that using the PID's controller with Ziegler-Nichols method obtained the PID's parameter such Kp = 4.26, Ki = 0.1065, and Kd = 42.6. According to the result of the PID's controller experiments, 520 seconds are the settling time and 118 seconds are the recovery time.

Keywords: hydroponic, NFT, tomato, PID, Ziegler-Nichols.

I. PENDAHULUAN

Hidroponik merupakan sebuah metode bercocok tanam modern tanpa menggunakan media tanah melainkan air dengan menekankan pemenuhan kebutuhan nutrisi pada tanaman. Salah satu metode yang sering digunakan adalah metode *Nutrient Film Technique* (NFT)[1]. Tanaman tomat merupakan salah satu dari tanaman yang memiliki banyak manfaat bagi kehidupan manusi karena dapat dijadikan bahan makanan, obat-obatan, dan sebagainya. Sistem hidroponik tomat sangat bergantung pada pemberian nutrisinya. Salah satu indikator untuk mengetahui idealnya pemberian nutrisi tanaman dapat dilihat dari kadar keasaman (pH) larutan tersebut[1]. Pada sistem hidroponik tomat kadar keasaman (pH) ideal yang dimiliki berkisar antara 5.5 hingga 6.5. Namun, nutrisi akan dapat diserap maksimal pada pH 6[2]. Apabila pH pada *plant* kurang dari kisaran pH tersebut akan berdampak pada pertumbuhan tanaman yang tidak sesuai dan apabila pH pada *plant* lebih dari kisaran pH tersebut akan berdampak pada matinya tanaman akibat keracunan nutrisi itu sendiri[3].

Pada sistem hidroponik tomat ini masih menggunakan media air yang berasal dari Perusahaan daerah Air Minum (PDAM) yang mempunyai kisaran pH 7.5 hingga 8. Dilihat dari indikator kadar keasaman (pH) tersebut, maka dengan media air itu tidak sesuai dengan kisaran pH ideal yang dibutuhkan oleh sistem hidroponik tomat. Sehingga pertumbuhan tanaman nantinya tidak akan maksimal. Oleh karena itu, dibutuhkan alat untuk mengontrol nutrisi tanaman tomat hidroponik dengan kadar keasaman (pH) media tanam sebagai indikator untuk mendapatkan pengontrolan nutrisi yang ideal.

Pengontrolan pH tanaman hidroponik tomat

dapat dilakukan dengan menggunakan kontroler *Proporsional*, *Integral*, dan *Differensial* (PID). Dengan menggunakan kontroler PID dapat meminimalkan error steady state dan mempercepat respon untuk mencapai keadaan mantap. Selain itu, untuk memaksimalkan pemanfaatan nutrisi parameter lain yang harus diperhatikan adalah pengontrolan volume larutan nutrisi sisa.

Agar pemanfaatan larutan nutrisi tidak langsung terbuang sia-sia maka dibutuhkan juga pengontrolan volume larutan nutrisi sisa agar dapat digunakan. Larutan nutrisi sisa agar dapat digunakan dalam beberapa hari kemudian, sehingga akan menghemat biaya pembelian nutrisi tanaman hidroponik.

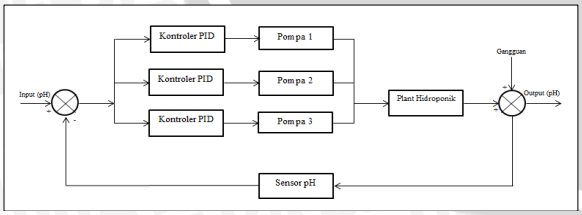
Karakteristik sebuah sistem yang diinginkan tidak akan keluar apabila dalam sistem tersebut tidak ditambahkan sebuah kontroler. Ada beberapa contoh metode kontroler yaitu kontroler PID dan on off. Di dalam pengujian ini menggunakan dua buah kontroler di masing-masing tangki. Pada pengontrolan pH digunakan kontroler PID. Kontroler PID merupakan gabungan dari kontroler *Proporsional*, *Integral*, dan *Differensial*[4]. Sedangkan, volume larutan nutrisi sisa menggunakan kontroler *on off*. Kontroler *on off* adalah kontroler dua posisi[5].

Dua kontroler tersebut digunakan dalam pengujian ini bertujuan agar output pH dan volume larutan nutrisi sisa sesuai dengan parameter nilai yang diinginkan dengan *error* sekecil mungkin. Selain itu, juga bertujuan untuk mendapatkan *settling time* yang cepat.

II. METODE PENELITIAN

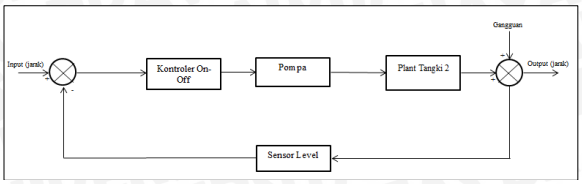
A. Pembuatan Diagram Blok

Pada perancangan alat yang diperlukan perancangan diagram blok sistem agar dapat menjelaskan secara garis besar dan diharapkan alat dapat bekerja sesuai dengan parameter yang diinginkan. Dalam Gambar 1 menunjukkan diagram blok sistem pada tangki I.



Gambar 1. Blok Diagram Sistem Tangki (I)

Sedangkan, dalam Gambar 2 menunjukkan diagram blok sistem pada tangki II.



Gambar 2. Blok Diagram Sistem Tangki (II)

B. Spesifikasi Desain

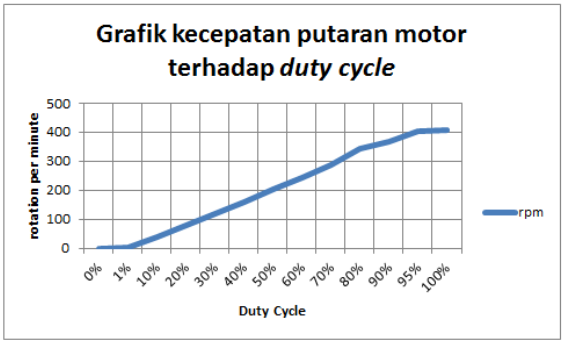
Desain yang diinginkan pada perancangan pengontrolan nutrisi sistem tomat hidroponik yaitu:

1. Sistem hidroponik yang digunakan adalah dengan metode NFT dimana menggunakan dua buah tangki masing-masing untuk tangki 1 adalah 40x30x10 cm dan untuk tangki 2 adalah 40x30x25 cm dengan ketebalan 0.3 cm. Ukuran ini digunakan karena dapat menampung air maksimal hingga 12 liter untuk tangki 1 dan 30 liter untuk tangki 2.
2. Pipa yang digunakan adalah pipa paralon berdiameter 4 inchi (10.16 cm) dengan panjang cm. Penggunaan pipa agar dapat menampung pot hidroponik dan akar tanaman dapat menyentuh dasar pipa tempat air mengalir.
3. Motor pompa yang digunakan untuk pengontrolan nutrisi adalah motor DC *peristaltic pump* dengan catu daya sebesar 12V. Motor DC ini digunakan karena catu daya yang digunakan adalah sebesar 12V DC.
4. Motor pompa yang digunakan untuk mengalirkan air ke *plant* hidroponik adalah motor pompa dengan catu daya sebesar 12V dengan debit maksimal. Motor DC ini digunakan karena catu daya yang digunakan adalah 12V DC.
5. Sensor pH yang digunakan adalah sensor pH SKU SEN0161. Sensor ini digunakan karena dapat mengukur pH dari nilai 0 hingga 14.
6. Sensor jarak yang digunakan adalah sensor ultrasonik SRF05 untuk mengendalikan volume larutan nutrisi di tangki pembuangan agar dapat disalurkan kembali ke tangki pencampuran (tangki I). Sensor ini digunakan karena mampu mengukur jarak dari 0 hingga 100 cm.
7. Nutrisi dikontrol dengan menggunakan pH sebagai indikator. Sedangkan, pH sistem yang dikontrol pada nilai 6. Nilai ini digunakan karena pH ideal pada sistem hidroponik tomat adalah 5.5-6.5
8. Jarak yang diukur sebagai batas tangki pembuangan larutan nutrisi adalah sebesar 10 cm dimana pompa akan menyala dan 2 cm dimana pompa akan mati. Hal ini dilakukan karena sifat pompa yang hanya bekerja di dalam air.
9. Volume air yang digunakan sebanyak 15 liter. Volume ini digunakan agar masing-masing tangki mampu menahan beban air yang diberikan sehingga tidak pecah.
10. *Error steady state* $\leq$ 5%. Jika nilai akhir sudah mencapai $\leq$ 5% dari *setpoint* maka sistem sudah termasuk *steady state*.

C. Pengujian Motor DC *Peristaltic Pump* 12V

Karakterisasi motor DC *Peristaltic Pump* 12V dilakukan untuk mengetahui karakter atau *gain* motor tersebut (lihat Gambar 3). Hal tersebut diperoleh dengan mengamati kecepatan putaran

motor DC terhadap perubahan *duty cycle* input motor DC *peristaltic pump* 12V.

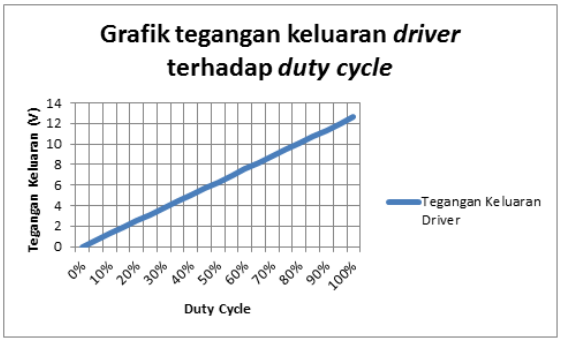


Gambar 3. Grafik Hasil Pengujian Motor DC *Peristaltic Pump* 12V

Dari Gambar 3, dapat diketahui bahwa semakin besar *duty cycle* yang diberikan, semakin besar pula *rotation per minute* (rpm).

D. Pengujian *Driver Motor*

Karakterisasi *driver motor* (*High Current* 30 A DC *Motor Driver*) dilakukan untuk mengetahui karakter atau *gain* dari *driver motor* tersebut (lihat Gambar 4). Hal tersebut diperoleh dengan mengamati tegangan keluaran *driver motor* terhadap perubahan *duty cycle input driver motor*.

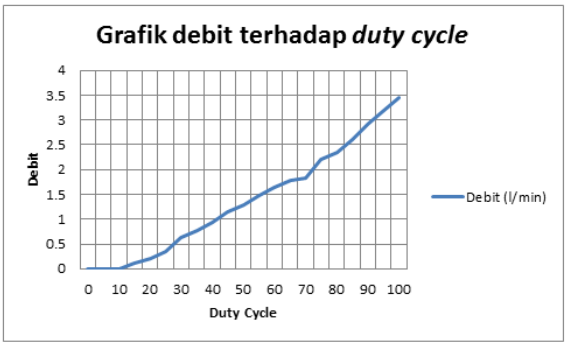


Gambar 4. Grafik Hasil Pengujian *Driver Motor* (*High Current* 30A DC *Motor Driver*)

Dari Gambar 4 dapat diketahui bahwa semakin besar *duty cycle* yang diberikan, semakin besar pula tegangan keluaran *driver motor*.

E. Pengujian Motor Pompa Mini DC 12V

Karakterisasi motor pompa mini DC 12V dilakukan untuk mengetahui karakter atau *gain* motor pompa tersebut (lihat Gambar 5). Hal tersebut diperoleh dengan mengamati debit keluaran motor pompa terhadap perubahan *duty cycle input* motor pompa mini DC 12V.

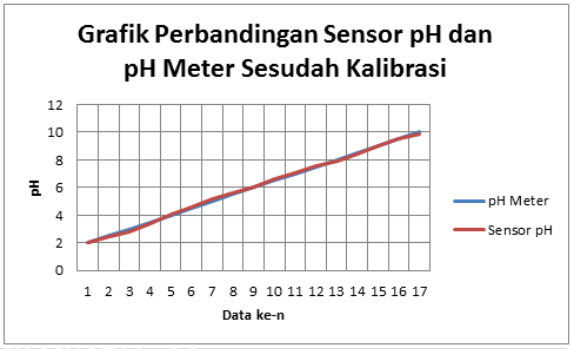


Gambar 5. Grafik Hasil Pengujian Motor Pompa Mini DC 12V

Dari Gambar 5, dapat diketahui bahwa semakin besar *duty cycle* yang diberikan, semakin besar pula debit yang dikeluarkan.

F. Pengujian Sensor pH SKU SEN0161

Karakterisasi sensor pH SKU SEN0161 dilakukan untuk mengetahui karakter sensor tersebut (lihat Gambar 6). Hal tersebut diperoleh dengan mengamati pH keluaran sensor pH SKU SEN0161 terhadap pH yang berasal dari pembacaan pH meter.

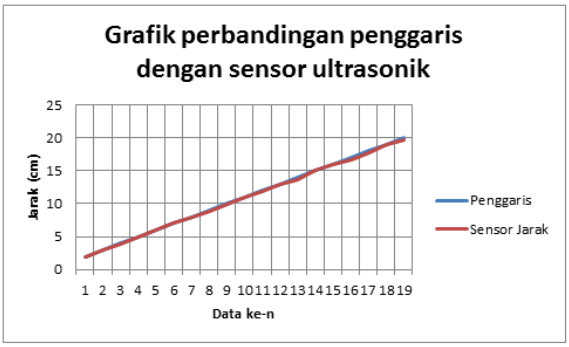


Gambar 6. Grafik Hasil Pengujian Sensor pH SKU SEN0161

Dari Gambar 6, dapat diketahui bahwa data pH hasil pembacaan dari sensor pH SKU SEN0161 dan pH Meter adalah hampir sama.

G. Pengujian Sensor Ultrasonik SRF05

Karakterisasi sensor ultrasonik SRF05 dilakukan untuk mengetahui karakter sensor tersebut (lihat Gambar 7). Hal tersebut diperoleh dengan mengamati jarak keluaran sensor ultrasonik SRF05 terhadap jarak yang berasal dari pembacaan penggaris.



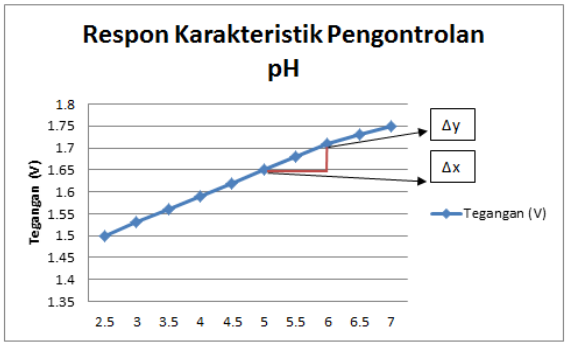
Gambar 7. Grafik Hasil Pengujian Sensor Ultrasonik SRF 05

Dari Gambar 7, dapat diketahui bahwa hasil pembacaan dari sensor ultrasonik dan pembacaan penggaris adalah hampir sama.

H. Penentuan Karakteristik Pengontrolan pH

Dalam pengontrolan pH pada sistem hidroponik tomat dibutuhkan kontroler yang dapat mengontrol motor pompa. Kontroler yang digunakan adalah kontrol *proporsional integral* dan *differensial* (PID) dengan menggunakan metode *ziegler-nichols*.

Langkah pertama adalah dengan menemukan karakteristik pengontrolan pH agar mendapatkan fungsi alih sistem. Agar mendapatkan karakteristik *statis gain* keadaan mantap (K) yakni dengan cara memberikan unit step masukan pH hingga mencapai *setpoint* yang diinginkan.



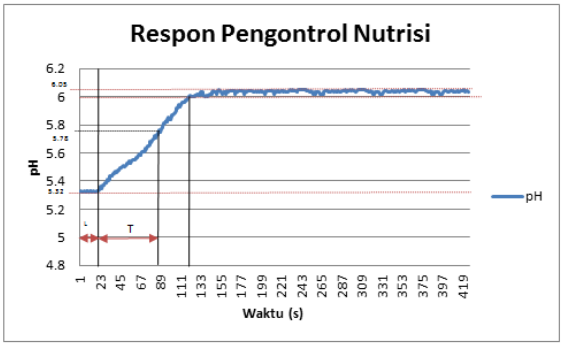
Gambar 8. Respon Karakteristik Pengontrolan pH

$$k = \frac{\Delta y}{\Delta u} = \frac{1.71-1.65}{6-5} = 0.06$$

I. Parameter Kontroler PID dengan Metode *Ziegler-Nichols*

Dalam memenuhi tujuan performansi loop yang diinginkan, maka perlu ditambahkan sebuah kontroler di dalam sistem. Sedangkan, di dalam pengujian ini digunakan kontroler *proporsional*, *integral*, dan *differensial* (PID). Kontroler ini dibutuhkan dikarenakan karena karakteristik plant membutuhkan kontroler yang cepat.

Langkah awal tuning parameter dengan metode *Ziegler-Nichols* orde 1 adalah dengan menarik garis *tangent* pada titik infeksi grafik karakteristik plant. Kemudian mencari perpotongan garis *tangent* dengan garis nilai akhir, sehingga diperoleh nilai L dan T. Nilai L dan T tersebut nantinya akan digunakan untuk mencari parameter Kp, Ki, dan Kd.



Gambar 9. Penentuan Parameter PID menggunakan Metode *Ziegler-Nichols*

Dari Gambar 9, dapat dicari nilai parameter L dan juga T. Nilai keterlambatan/*delay time* (L) respon sistem tersebut sebesar 20 detik dan *gain statis* proses (T) sebesar 71 detik.

Untuk melakukan tuning parameter dari kontroler PID menggunakan rumus yang ada pada Tabel 1.

Tabel 1. Aturan Penalaan Metode *Ziegler-Nichols* Berdasarkan Respon *Unit Step* dari *Plant*

Tipe Kontroler	K_p	T_i	Td
P	$\frac{T}{L}$	∞	0
PI	$0{,}9\frac{T}{L}$	$\frac{L}{0{,}3}$	0
PID	$1{,}2\frac{T}{L}$	$2L$	$0{,}5L$

Sehingga dapat diperoleh persamaan matematis fungsi alih sistem adalah sebagai berikut:

$$Y(s) = \frac{ke^{-Ls}}{Ts+1} = \frac{0.06e^{-20s}}{71s+1}$$

Setelah mendapatkan persamaan matematis fungsi alih sistem, kemudian dengan menggunakan rumus yang ada pada Tabel 1, maka akan didapatkan nilai parameter Kp, Ki, dan Kd adalah sebagai berikut:

$$Kp = 1.2\frac{T}{L} = 1.2 \times \frac{71}{20} = 4.26$$

$$Ti = 2L = 2 \times 20 = 40$$

$$Td = 0.5L = 0.5 \times 20 = 10$$

$$Kp = Ki \times Ti \rightarrow Ki = \frac{Kp}{Ti} = \frac{4.26}{40} = 0.1065$$

$$Kp = \frac{Kd}{Td} \rightarrow Kd = Kp \times Td = 4.26 \times 10 = 42.6$$

Dari perhitungan diatas, didapatkan nilai parameter kontroler PID yaitu Kp = 4.26, Ki = 0.1065, dan Kd = 42.6. Sehingga, akan mendapatkan persamaan transformasi *Laplace* berdasarkan dengan nilai Kp, Ki, dan Kd adalah sebagai berikut:

$$M(s) = [Kp + \frac{Ki}{s} + Kds]\ E(s)$$

J. Diskritisasi

Persamaan diatas belum dapat dimasukkan ke dalam mikrokontroler oleh karena itu persamaan kontinyu tersebut harus diubah ke dalam bentuk diskrit melalui Transformasi Z. Dalam transformasi Z dibutuhkan waktu sampling (Ts). Pada sistem ini digunakan metode *Backward Difference*. Metode *Backward Difference*, yaitu dengan mengganti s dalam persamaan analog bentuk s persamaan. Persamaan s tersebut setara dengan bentuk *Laplace*:

$$s = \frac{1-z^{-1}}{Ts}$$

Kemudian persamaan tersebut dimasukkan ke dalam persamaan transformasi *Laplace*, sebagai berikut:

$$M(z) = [Kp + \frac{Ki}{\frac{1-z^{-1}}{Ts}} + Kd(\frac{1-z^{-1}}{Ts})]E(z)$$

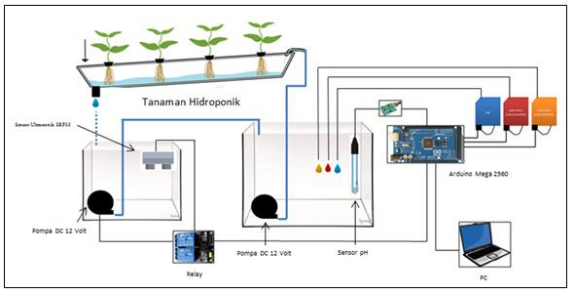
$$= [Kp + \frac{Ki.Ts}{1-z^{-1}} + \frac{Kd}{Ts}(1\text{-}z^{-1})]E(z)$$

Persamaan tersebut dirubah hingga akhirnya dapat dimasukkan ke dalam program mikrokontroler adalah sebagai berikut, dimana (k-1) adalah kondisi sebelumnya:

$$M(k) = Kp.E(k) + (Ci(k\text{-}1) + Ki.Ts\ E(k)) + (\frac{Kd}{Ts}(E(k) - E(k\text{-}1))$$

K. Pembuatan Perangkat Keras

Desain alat ditunjukkan dalam Gambar 10 berikut:



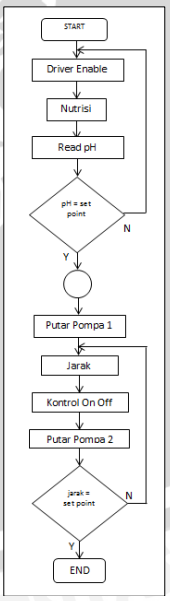
Gambar 10. Desain Plant Pengontrolan Nutrisi

Prinsip kerja alat dalam Gambar 10 adalah sebagai berikut:

1. Sistem diberi dengan catu daya 12V untuk digunakan mencatu motor *peristaltic pump* 12V DC dan motor pompa mini DC 12V. Sedangkan, catu daya 5V untuk digunakan mencatu rangkaian sensor pH, rangkaian sensor ultrasonik, *relay*, dan rangkaian *driver motor*.
2. Catu daya Arduino Mega 2560 didapat dari laptop/komputer dengan menghubungkan port komunikasi antara Arduino dengan komputer mengunakan kabel USB dengan kecepatan transfer data sebesar 9600 *bit per second* (bps).
3. Kadar larutan nutrisi menggunakan kadar keasaman (pH) yang diukur dengan menggunakan sensor pH.
4. Volume larutan nutrisi sisa diukur dengan menggunakan sensor ultrasonik.
5. Sensor pH dihubungkan dengan modul rangkaian penguat karena tegangan keluaran sensor sangat kecil sehingga harus diperkuat agar dapat dibaca oleh Arduino dengan rentang 0 hingga 5V.
6. Sinyal keluaran dari modul rangkaian penguat ini digunakan sebagai masukan Arduino yang kemudian diproses menggunakan kontroler PID.
7. Keluaran Arduino berupa sinyal *pulse width modulation* (PWM) diberikan kepada rangkaian *driver motor*. Rangkaian ini memiliki fungsi untuk menguatkan sinyal PWM Arduino dengan tegangan sebesar 0 hingga 5V menjadi 0 hingga 12V.
8. Terdapat 3 pompa untuk mengatur kondisi larutan nutrisi sesuai dengan yang diinginkan. Dimana 2 pompa berjalan dalam satu kondisi dan 1 pompa dengan kondisi lainnya.
9. Pompa makro dan mikro akan mengalirkan larutan makro dan larutan mikro dengan konsentrasi yang sama jika kadar keasaman (pH) larutan nutrisi hidroponik terlalu basa atau pH>6.
10. Pompa air akan mengalirkan larutan air jika kadar keasaman (pH) larutan nutrisi hidroponik terlalu asam atau pH<6.
11. Jika pH sudah sesuai dengan parameter yang diinginkan maka pompa mini DC 12V Tangki I akan menyala dan mengalirkan larutan nutrisi ke dalam plant media hidroponik.
12. Larutan nutrisi akan jatuh ke dalam Tangki II.
13. Pompa mini DC 12V Tangki II akan menyala apabila volume larutan sisa nutrisi sudah mencapai batas yang telah ditentukan dan mengalirkan larutan nutrisi Tangki II kembali ke dalam Tangki I.

L. *Flowchart* Program

Flowchart Program merupakan gambaran alur proses program yang dilakukan oleh kontroler pada saat implementasi. *Flowchart* program dalam pengujian ini dapat dilihat dalam Gambar 11 sebagai berikut:



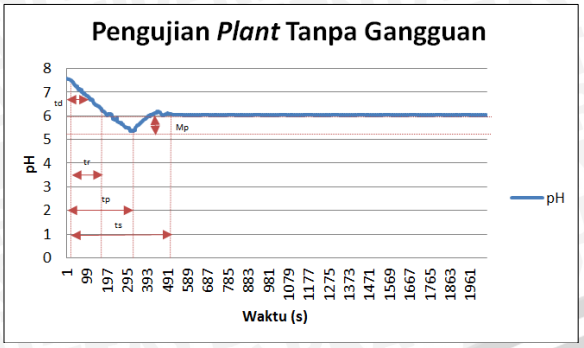
Gambar 11. *Flowchart* Program Keseluruhan Sistem

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian pH Larutan Nutrisi Tanpa Gangguan

Pengujian pengontrolan pH larutan nutrisi menggunakan kontroler PID Kp = 4.26, Ki = 0.1065, dan Kd = 42.6 didapatkan hasil *output* yang

ditunjukkan pada Gambar 12 sebagai berikut:



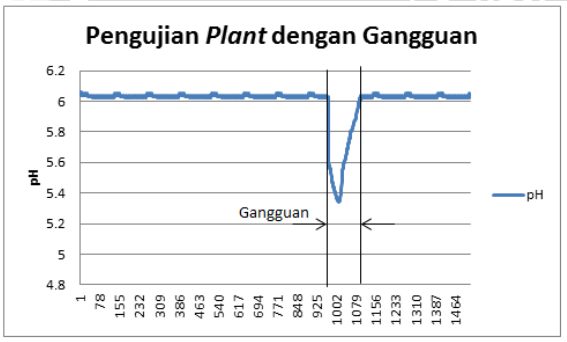
Gambar 12. Pengujian *Plant* Tanpa Gangguan

Dari *output* hasil pengujian *plant* tanpa gangguan dengan menggunakan parameter kontroler PID tersebut diperoleh:

- *Settling time* (ts) = 520 detik
- *Peak time* (tp) = 312 detik
- *Rise time* (tr) = 157 detik
- *Delay time* (td) = 107 detik
- *Maximum overshoot* (Mp) = 10.67%
- *error steady state* = 5%

B. Pengujian pH Larutan Nutrisi dengan Gangguan

Pengujian pengontrolan pH larutan nutrisi dengan gangguan larutan asam 100 mL dengan pH 4 menggunakan kontroler PID Kp = 4.26, Ki = 0.1065, dan Kd = 42.6 didapatkan hasil *output* yang ditunjukkan pada Gambar 13 sebagai berikut:



Gambar 13. Pengujian *Plant* dengan Gangguan

Untuk Gambar 13 respon PID dengan gangguan larutan asam 100 mL dengan pH 4, gangguan terjadi pada detik ke 972 hingga detik ke 1090 dengan nilai penurunan pH sebesar 0.66, namun setelah detik ke 1091 nilai pH kembali mengikuti setting point dengan *error steady state* sebesar 5% dan *recovery time* sebesar 118 detik.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan pada perancangan alat dan hasil pengujian dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Hasil pengujian dari respon sistem PID pada pengontrolan nutrisi dengan pH sebagai indikator, *plant* pengendali nutrisi didapatkan nilai L = 20 detik, T = 71 detik, dan K = 0.06.
2. Respon sistem PID pada *setting point* tetap 6 dari keadaan awal 5.36; respon sistem telah menuju ke titik kestabilan untuk nilai parameter PID Kp = 4.26, Ti = 40, dan Td = 10 dengan *error steady state* masing-masing sebesar 1.2% dan waktu naik (*rise time*) 185 detik.
3. Pada pengujian pengontrolan nutrisi dengan pH sebagai indikator tanpa gangguan diperoleh *settling time* sebesar 520 detik dan *error steady state* sebesar 5%.
4. Pada pengujian pengontrolan nutrisi dengan pH sebagai indikator dengan gangguan larutan asam bernilai 4 sudah dapat mencapai kestabilan dengan *error steady state* sebesar 5% dan *recovery time* sebesar 118 detik.

B. Saran

Didalam perancangan dan pembuatan alat dalam pengujian ini masih banyak terdapat kelemahan dan kekurangan. Oleh karena itu, terdapat beberapa hal yang dapat dijadikan saran untuk kesempurnaan alat lebih lanjut, sebagai berikut:

1. Untuk mempercepat pencampuran larutan nutrisi pada tangki I dapat ditambahkan kontroler *on off* motor pengaduk agar sistem berjalan lebih cepat.
2. Untuk mengoptimalkan larutan dalam proses penyerapan nutrisi ke dalam tanaman sebelum plant dapat ditambahkan sensor pengendali aliran air supaya oksigen dapat terdifusi ke dalam air sehingga akan membuat pertumbuhan tanaman semakin meningkat.
3. Untuk pengembangan lebih lanjut dapat dibandingkan dengan pertumbuhan tanaman tidak menggunakan media sistem hidroponik.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Suryani, Reno. 2015. *Hidroponik, Budi Daya Tanaman Tanpa Tanah*. Yogyakarta: ARCITRA.

[2] Supriati, Yati. 2015. *Bertanam Tomat*. Jakarta: Penebar Swadaya.

[3] Kustanti, I. 2014. *Pengendalian Kadar Keasaman (pH) pada Sistem Hidroponik Stroberi Menggunakan Kontroler PID Berbasis Arduino Uno*. Skripsi, Teknik Elektro. Universitas Brawijaya, Malang.

[4] Ogata, K. 2010. *Modern Control Engineering*, Pearson Education, Inc,, publishing as Prentice Hall, One Lake Street, Upper Saddle River, New Jersey 07458. Fifth edition.

[5] Bolton, W. 2004. *Sistem Instrumentasi dan Sistem Kontrol*. Jakarta: Penerbit Erlangga

repository.ub.ac.id

UNIVERSITAS BRAWIJAYA