

PERANCANGAN SISTEM *MONITORING* DAN PENGENDALIAN NUTRISI PADA TANAMAN HIDROPONIK SISTEM *NUTRIENT FILM TECHNIQUE* (NFT) MENGGUNAKAN KONTROL PID

Ariel Ramanda Sipayung^{*)}, Trias Andromeda dan Hadha Afrisal

Program Studi Sarjana Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)}E-mail: sipayungariel7@gmail.com

Abstrak

Kehidupan era modern perkembangan teknologi sangat cepat. Perkembangan pada dunia teknologi berpengaruh kepada dunia industri, termasuk juga bidang pertanian. Pada Tugas Akhir merancang sistem monitoring dan pengendalian pemberian nutrisi tanaman hidroponik dengan menggunakan kontrol PID. Sensor yang digunakan pada penelitian ini adalah sensor Total Dissolved Solids (TDS). Sensor TDS akan membaca nilai nutrisi yang terlarut ke dalam air. Prinsip kerja sistem adalah sensor TDS akan membaca nilai nutrisi dan hasil pembacaan akan ditampilkan di LCD agar dapat dilakukan monitoring. Setelah didapatkan hasil pembacaan nilai larutan nutrisi dalam satuan PPM (Part Per Million) sistem akan mengidentifikasi hasil pembacaan sensor sudah mencapai setpoint yang diinginkan. Jika pembacaan sensor belum mencapai keadaan setpoint maka pompa motor DC akan menginjeksikan larutan nutrisi ataupun air suling. Hasil penelitian diberikan nilai $K_p = 0.866$, $K_i = 7.51 \times 10^{-3}$, dan $K_d = 24.95$ pada plant larutan nutrisi didapatkan analisis respon sistem rise time 165.33 detik, settling time 210.5 detik, peak time sebesar 205 detik, maximum overshoot 1.9%, dan error steady state 0.3%, ketika diberikan nilai $K_p = 2.7672$, $K_i = 0.6496$, dan $K_d = 2.946$ pada plant air suling didapatkan analisis respon sistem rise time 203.6 detik, settling time 285.7 detik, peak time sebesar 205 detik, maximum overshoot 1.78% dan error steady state 0.3%.

Kata kunci: Hidroponik, Total Dissolved Solids (TDS), Kontrol PID

Abstract

The final project is to design monitoring system and control of hydroponic plant nutrition with PID control. The sensor used is the Total Dissolved Solids (TDS) sensor. The TDS sensor reads the value of the nutrients dissolved in the water. The working principle of the system is that the TDS sensor will read the nutritional value and the reading will be displayed on the LCD. After getting the reading of the nutrient solution value, the system will identify the sensor readings that have reached the desired setpoint. If the sensor has not reached the setpoint the DC pump will inject a nutrient solution or distilled water. The results showed that $K_p = 0.866$, $K_i = 7.51 \times 10^{-3}$, and $K_d = 24.95$ in the nutrient solution plant, the system response analysis was 165.33 seconds rise, settling time 210.5 seconds, peak time of 205 seconds, the maximum overshoot is 1.9%, and the value of $K_p = 2.7672$, $K_i = 0.6496$, and $K_d = 2.946$ in the distilled water plant, the response analysis for the rise time system is 203.6 seconds, settling time is 285.7 seconds, peak time is 205 seconds, maximum overshoot is 1.78%

Keywords: Hydroponics, Total Dissolved Solids (TDS), PID Control

1. Pendahuluan

Pertanian merupakan salah satu faktor yang penting bagi kehidupan masyarakat Indonesia.

Teknologi dalam bidang pertanian berkembang dengan sangat cepat serta terciptanya inovasi-inovasi baru yang dapat meningkatkan produktivitas kualitas hasil pertanian. Saat ini perkembangan pertanian bukan hanya di sektor tanaman pangan berbasis karbohidrat seperti padi, jagung,

gandum serta tanaman sereal lainnya, namun perkembangan juga terjadi pada sektor sayuran dan buah-buahan [1]. Selada atau tanaman yang memiliki nama latin *Lactuca sativa* merupakan sayuran yang biasa ditanam pada daerah beriklim tropika maupun sedang. Banyaknya digunakan pada sayur pada makanan atau juga pada salad.

Permasalahan usaha tani selada adalah produksi masih sangat rendah dibandingkan dengan potensi produksinya. Ada faktor yang dapat mengurangi daya produksi selada menurun yakni pemberian pupuk yang masih belum

optimal serta wadah media tanam yang juga masih belum tepat. Sehingga perlu adanya upaya untuk mengurangi kendala tersebut dengan cara merubah atau memperbaiki teknik budidaya selada. Sehingga sangat diperlukan sebuah sistem dimana sistem tersebut dapat mengontrol kadar larutan nutrisi air secara otomatis [2]. Keunggulan budidaya tanaman secara hidroponik antara lain keberhasilan tanaman untuk tumbuh dan berproduksi lebih terjamin, produksi tanaman lebih tinggi, hasil panen kontinyu, serangan hama dan penyakit berkurang, serta terbebas dari banjir [3].

Pada Penelitian Perancangan sistem monitoring dan pengendalian pemberian nutrisi pada tanaman hidroponik Nutrient Film Technique (NFT) dengan metode kontrol PID bertujuan untuk memantau dan mengendalikan pemberian nutrisi secara otomatis.

Hidroponik NFT termasuk dalam hidroponik sistem tertutup [4]. Kultur hidroponik terdiri dari beragam sistem antara lain sistem substrat, *Nutrient Film Technique* (NFT), *Floating Raft ydroponic* atau Hidroponik Rakit Apung [5], Akar tanaman akan tumbuh tumbuh diatas larutan nutrisi dan sebagian terendam didalam. Sistem NFT dapat menghasilkan lebih tanaman dengan sedikit ruang, air, dan sedikit nutrisi [6]. Teknik ini diperkenalkan oleh Allen Cooper tahun 1976 [7].

2. Metode

2.1 Rockwool

Rockwool merupakan salah satu media tanam hidroponik. *Rockwool* yang ada diakar dapat menyimpan air sehingga dapat meningkatkan kesegaran tanaman pada saat pengiriman maupun pada saat dipajang di toko swalayan [8].

2.1.1. Tanaman Hidroponik Sayur Selada

Kandungan gizi dalam 100 g selada antara lain kalori 15,00 kal, protein 1,20 g, lemak 0,2 g, karbohidrat 2,9 g, Ca 22,00 mg, P 25 mg, Fe 0,5 mg, Vitamin A 540 SI, Vitamin B 0,04 mg dan air 94,80 g [9].

2.1.2 Pompa Air 12V DC

Pompa adalah alat yang digunakan untuk menindahkan cairan (fluida) dari suatu tempat ke tempat yang lain, melalui media pipa (saluran) dengan cara menambahkan energi pada cairan yang dipindahkan dan berlangsung terus menerus. Pompa beroperasi dengan prinsip membuat perbedaan tekanan antara bagian hisap (suction) dan bagian tekan (discharge) [10].

2.2. Total Dissolved Solid (TDS)

Jumlah total padatan yang terkandung dalam air atau cairan. Setiap cairan mengandung partikel yang terlarut yang tidak kelihatan secara langsung.

Perubahan nilai konduktivitas terhadap nilai temperature air didapatkan dengan persamaan [11]

$$\sigma_T = \sigma_{25} [1 + \alpha(T - 25)] \quad [12]$$

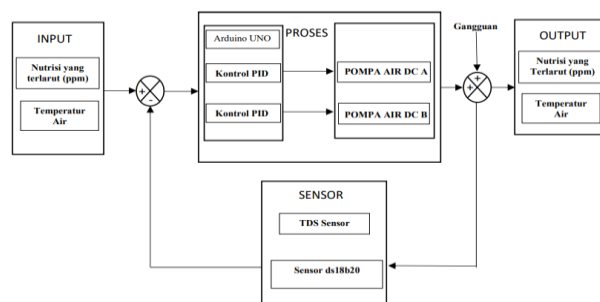
Dimana : σ_T = Konduktivitas pada saat temperature T ($\mu S/cm$)

σ_{25} = Konduktivitas pada saat 25 °C ($\mu S/cm$)

α = Koefisien Temperatur

T = Temperatur (°C)

2.3. Rancang Blok Diagram



Gambar 1. Blok Diagram Sistem Pengendalian Kadar Nutrisi Hidroponik

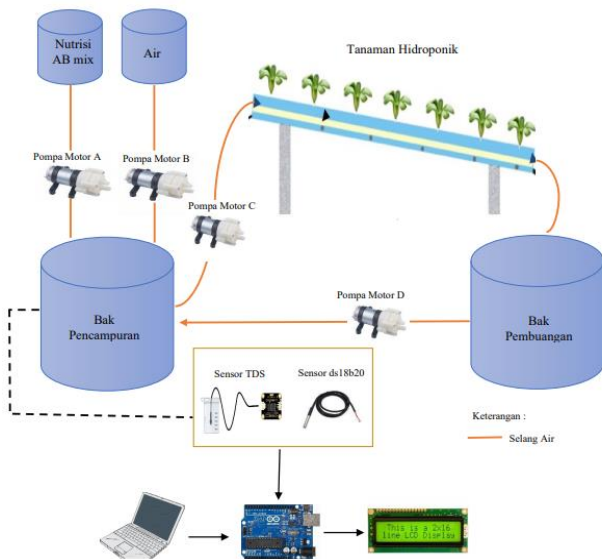
Keterangan Gambar 1 diatas, yaitu:

- Bagian *Input* Pada sistem pengendalian pemberian nutrisi tanaman hidroponik diberikan input dari pembacaan sensor TDS dan sensor ds18b20 yaitu nilai kadar nutrisi yang terlarut ke dalam air dan nilai dari temperature air.
- Bagian *Proses* Arduino UNO berfungsi sebagai mikrokontroler yang akan mengolah data input yang sudah didapatkan. Pada bagian ini sistem akan mengendalikan kondisi air pada tangki hidroponik dengan mendeteksi tingkat kepekatan nutrisi. Menggunakan LCD untuk menampilkan data ketinggian air dan data kadar nutrisi air.
- Bagian *Output* Pada bagaian ini LCD 16x2 berfungsi untuk menampilkan output digital data mikrokontroler dari hasil pembacaan data sensor sensor suhu DS18B20, TDS yang sudah dikendalikan hingga mencapai nilai yang diinginkan.

2.4. Perancangan Perangkat Keras

Perancangan perangkat keras dari sistem *monitoring* hidroponik NFT menggunakan beberapa sensor DS18B20 dan TDS sensor dengan aktuator berupa pompa motor DC. Selain itu dibutuhkan juga wadah pencampuran untuk tanaman hidroponik. Wadah pencampuran ini digunakan untuk menampung air nutrisi tanaman hidroponik. Pada wadah pencampuran ini terdapat selang yang memiliki fungsi sebagi pengisian air dan pengisian larutan nutrisi tanaman hidroponik, pada masing – masing selang terdapat pompa air yang berfungsi sebagai kontrol air masuk dan keluar, lalu didalam wadah pencampuran juga terdapat

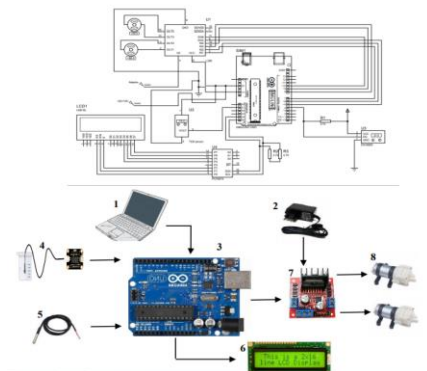
sensor DS18B20 dan sensor TDS (Total Dissolve Solids) untuk memastikan ukuran nutrisi yang tepat untuk tanaman. Berikut ini adalah rancangan alat seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Desain Hardware Sistem Pengendalian Hidroponik

2.5. Perancangan Mikrokontroler Arduino UNO

Mikrokontroler berfungsi sebagai pengendali utama pada perangkat prototipe alat yang digunakan pada penelitian ini. Mikrokontroler yang digunakan adalah mikrokontroler Arduino UNO. Pada perancangan alat ini membutuhkan beberapa rangkaian yang digunakan yaitu: pemberian nutrisi ini menggunakan sensor TDS yang dihubungkan pada PORTA pada pin A0. Pemantauan temperature air digunakan dengan sensor ds18b20 yang dihubungkan pada PORTD pada pin 4. Kontrol aktuator meliputi kontrol pompa motor DC dan kontrol *driver* motor DC disambung pada PORTD pada pin 5,6,7,8,9, dan 10. Konfigurasi dari rangkaian *hardware* mikrokontroler terlihat seperti pada Gambar 3.

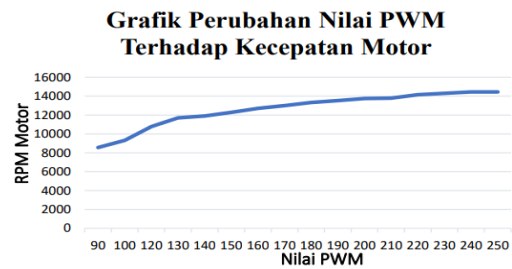


Gambar 3. Rangkaian Sensor TDS dan Sensor DS18B20

Penjelasan pada Gambar 3 dari bagian-bagian yang terdapat pada modul mikrokontroler adalah sebagai berikut: 1. Laptop/PC sebagai master untuk membantu proses komputasi pada data yang berada dalam mikrokontroler. 2. Adaptor 12V DC. 3. Arduino UNO sebagai mikrokontroler pusat pengendali. 4. Sensor TDS berfungsi sebagai alat untuk mendeteksi kadar larutan nutrisi (ppm). 5. Sensor ds18b20 berfungsi sebagai alat untuk mendeteksi nilai temperature air. 6. LCD 16x2 Berfungsi sebagai tampilan layar yang menampilkan hasil [13]. 7. *Driver* Motor L298N untuk mengendalikan PWM pada motor 8. Pompa Motor DC untuk mengalirkan larutan nutrisi dan air [14]

2.6. Karakteristik Motor Pompa DC 12V

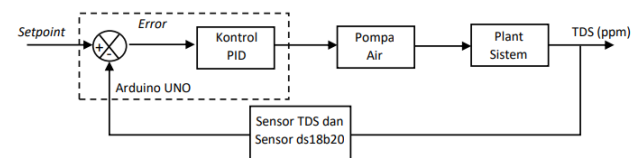
Karakterisasi motor pompa mini 12V DC dilakukan untuk mengetahui karakter atau gain motor pompa tersebut Hal tersebut diperoleh dengan mengamati kecepatan motor DC (rotasi per menit) terhadap perubahan PWM input motor pompa DC 12V [15]. Grafik Karakteristik motor pompa dapat diperhatikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik Hasil Pengujian Pompa Air Motor DC

2.7. Perancangan Kontroller PID

Seluruh proses perancangan kendali logika PID dilakukan dengan menggunakan mikrokontroler ATmega328. Blok diagram aplikasi pengontrolan secara umum dapat dilihat pada Gambar 5.

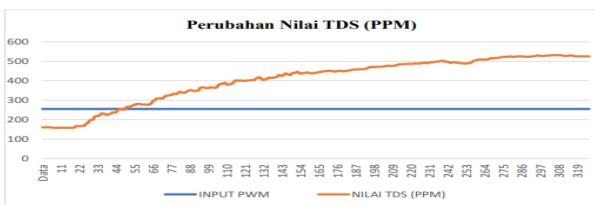


Gambar 5. Diagram blok pengontrolan model sistem

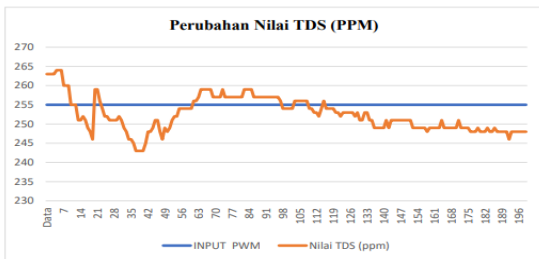
Pada program pengendali logika PID ini input berupa sinyal error yang diperoleh dari hasil perbandingan antara setpoint dengan nilai terukur pada saat plant berjalan. Error akan diolah oleh algoritma kontrol PID dan PID akan berjalan untuk menghasilkan sinyal kontrol yang diumpungkan ke pompa air melalui pengontrol tegangan DC.

2.7.1. Perancangan Kontroller PID

Tangki larutan nutrisi diisi dengan larutan AB mix sebanyak 500 ml dan air sebanyak 7 liter, begitu juga pada tangki air diisi dengan air sebanyak 7 liter. Pada tangki utama diletakkan sensor TDS dan sensor DS18B20 dengan tujuan untuk mengetahui perubahan nilai TDS (ppm) setiap waktu. Hasil perubahan nilai TDS ini di plot ke dalam grafik dengan bantuan perangkat lunak komputasi. Jadi komunikasi antara sensor TDS dan sensor DS18B20 dengan PC menggunakan kabel serial to usb, sehingga pada PC dapat dilihat perubahan TDS menggunakan Arduino IDE [16]. Dari hasil percobaan ini didapatkan hasil kenaikan nilai TDS dari 160 ppm sampai 526 ppm, dan penurunan nilai TDS dari 263 ppm – 248 ppm. Kurva perubahan nilai TDS saat diberikan larutan nutrisi dan air suling dapat diperhatikan pada Gambar 6 dan Gambar 7.



Gambar 6. Kurva Perubahan Nilai TDS Saat Diberi Larutan Nutrisi

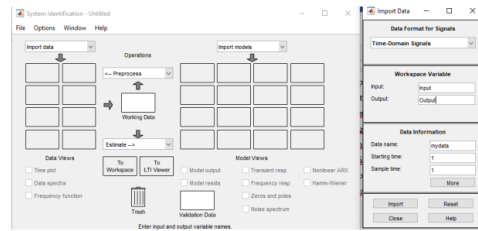


Gambar 7. Kurva Perubahan Nilai TDS Saat Diberi Air Suling

2.7.2. Pemodelan Sistem Plant

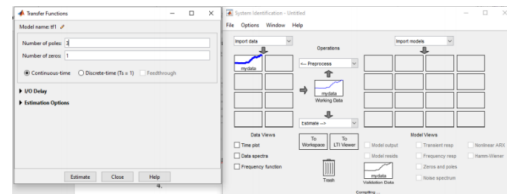
Setelah mendapatkan data *input* dan *output* dari perubahan nilai TDS saat diberi larutan nutrisi dan data *input* dan *output* perubahan nilai TDS saat diberi air suling langkah selanjutnya adalah menentukan fungsi alih dari *plant* sistemnya. Penentuan fungsi alih pada penelitian ini menggunakan fungsi yang telah disediakan oleh Matlab. Langkah – langkah penentuan fungsi alihnya adalah sebagai berikut:

1. Memasukkan data *input* - *output* ke dalam bar *workspace* yang ada di Matlab.
2. Memproses data *input* - *output* tersebut dengan menggunakan aplikasi Matlab *system identification*, dapat diperhatikan pada Gambar 8.



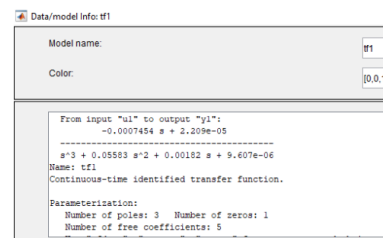
Gambar 8. Proses Data Input-Output Yang Sedang Di Import

3. Setelah itu lakukan import data yang sudah dimasukkan dalam bentuk *time* domain data.
4. Selanjutnya proses data yang sudah diimport dan pilih menu *estimate to transfer function* model, kemudian pilih *pole* dan *zero* yang diinginkan dalam hal ini untuk fungsi alih pertama penulis memberikan jumlah *pole* 3 dan jumlah *zero* 1. Proses estimasi untuk mendapatkan fungsi alih dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Proses Estimasi Untuk Mendapatkan Fungsi Alih

5. Setelah kita melakukan estimasi untuk mendapatkan fungsi alihnya maka Matlab akan memroses dan didapatkan fungsi alih dari data yang sudah dimasukkan dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Data Fungsi Alih Yang Sudah Didapatkan Dengan Matlab

Fungsi alih perubahan nilai TDS saat diberikan larutan nutrisi

$$Y(s) = \frac{-0.0007454 s + 2.209 \times 10^{-5}}{s^3 + 0.05583 s^2 + 0.00182 s + 9.607 \times 10^{-6}}$$

Fungsi alih perubahan nilai TDS saat diberikan air suling

$$Y(s) = \frac{-7.5 \times 10^{-5} s + 0.00669}{s^3 + 0.01726 s^2 + 0.3484 s + 0.002591}$$

2.7.3. Pemodelan Sistem Plant

A. Penentuan parameter Kp, Ki, dan Kd dengan metode ZieglerNichols pada fungsi alih saat larutan diberikan larutan nutrisi.

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{-0.0007454 s + 2.209 \times 10^{-5}}{s^3 + 0.05583 s^2 + 0.00182 s + 9.607 \times 10^{-6}}$$

temukan ω_{cr} yang responsnya tidak bersosilasi (*undamped*), kita bisa mendapatkan respon yang tidak bersosilasi ketika nilai akar dari pole pada fungsi alih bernilai imajiner.

$$1 + K_p \frac{-0.0007454 s + 2.209 \times 10^{-5}}{s^3 + 0.05583 s^2 + 0.00182 s + 9.607 \times 10^{-6}} = 0$$

$$s^3 + 0.05583 s^2 + 0.00182 s + 9.607 \times 10^{-6} + K_p(-0.0007454 s + 2.209 \times 10^{-5}) = 0 \quad (1)$$

Dengan menggunakan *Routh-Criterion*, maka kita mendapatkan nilai *Kcritical*.

s^3	1		
s^2		0.00182 - $K_p(0.0007454)$	
s^1	0.05583	$9.607 \times 10^{-6} + K_p(2.209 \times 10^{-5})$	
s^0	$\frac{9.20036 \times 10^{-5} - K_p(6.3705682 \times 10^{-5})}{0.05583}$	0	
	$9.607 \times 10^{-6} + K_p(2.209 \times 10^{-5})$	0	

Dari persamaan *Routh-Criterion* diatas maka kita mendapatkan

$$\frac{9.20036 \times 10^{-5} - K_p(6.3705682 \times 10^{-5})}{0.05583} > 0$$

$$K_p = 1.444197709$$

Jadi, kita mendapatkan nilai $K_{cr} = K_p = 1.444197709$, maka selanjutnya kita substitusikan nilai Kp ke persamaan (1)

$$s^3 + 0.05583 s^2 + 0.00182 s + 9.607 \times 10^{-6} + K_p(-0.0007454 s + 2.209 \times 10^{-5}) = 0$$

$$S1 = -0.05582$$

$$S2 = -3.95 \times 10^{-8} + 0.02726i$$

$$S3 = -3.95 \times 10^{-8} - 0.02726i$$

Jadi nilai $\omega_{cr} = 0.02726$

Setelah mendapatkan nilai ω_{cr} maka kita harus mencari nilai periode isolasinya (P_{cr})

$$P_{cr} = \frac{2\pi}{\omega_{cr}} = 230.5$$

Setelah mendapatkan nilai ω_{cr} dan P_{cr} maka kita dapat menentukan parameter kontrolnya

Maka didapatkan nilai Kp, Ki, dan Kd
 $K_p = 0.6 \quad K_{cr} = 0.6 * 1.444197709 = 0.866$

$$K_i = \frac{K_p}{T_i} = \frac{0.866}{0.5 P_{cr}} = 7.51 \times 10^{-3}$$

$$K_d = K_p * T_d = K_p(0.125 P_{cr}) = 24.95$$

B. Penentuan parameter Kp, Ki, dan Kd dengan metode Ziegler-Nichols pada fungsi alih saat larutan diberikan air suling

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{0.2895 s + 0.09676}{s^2 + 0.1477 s + 0.09793}$$

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{-7.5 \times 10^{-5} s + 0.00669}{s^3 + 0.01726 s^2 + 0.3484 s + 0.002591}$$

temukan ω_{cr} yang responsnya tidak bersosilasi (*undamped*), kita bisa mendapatkan respon yang tidak bersosilasi ketika nilai akar dari pole pada fungsi alih bernilai imajiner

$$1 + K_p \frac{-0.0007454 s + 2.209 \times 10^{-5}}{s^3 + 0.05583 s^2 + 0.00182 s + 9.607 \times 10^{-6}} = 0$$

$$s^3 + 0.05583 s^2 + 0.00182 s + 9.607 \times 10^{-6} + K_p(-0.0007454 s + 2.209 \times 10^{-5}) = 0 \quad (1)$$

Dengan menggunakan *Routh-Criterion*, maka kita mendapatkan nilai *Kcritical*

s^3	1	$0.3484 - K_p(-7.5 \times 10^{-5})$	
s^2		$0.002591 + K_p(0.00669)$	
s^1	0.05583		
s^0	$\frac{3.419 \times 10^{-3} - K_p(6.819 \times 10^{-3})}{0.01726}$	0	
	$0.002591 + K_p(0.00669)$	0	

Dari persamaan *Routh-Criterion* diatas maka kita mendapatkan

$$\frac{3.419 \times 10^{-3} - K_p(6.819 \times 10^{-3})}{0.01726} > 0$$

$$K_p = 0.501$$

Jadi, kita mendapatkan nilai $K_{cr} = K_p = 0.501$, maka selanjutnya kita substitusikan nilai Kp ke persamaan (1)

$$s^3 + 0.05583 s^2 + 0.00182 s + 9.607 \times 10^{-6} + K_p(-0.0007454 s + 2.209 \times 10^{-5}) = 0$$

$$S1 = -0.017$$

$$S2 = -9.9 \times 10^{-5} + 0.59i$$

$$S3 = -9.9 \times 10^{-5} - 0.59i$$

Jadi nilai $\omega_{cr} = 0.59$

Setelah mendapatkan nilai ω_{cr} maka kita harus mencari nilai periode isolasinya (P_{cr})

$$P_{cr} = \frac{2\pi}{\omega_{cr}} = 10.6$$

Setelah mendapatkan nilai ω_{cr} dan P_{cr} maka kita dapat menentukan parameter kontrolnya

Maka didapatkan nilai Kp, Ki, dan Kd
 $K_p = 0.6 \quad K_{cr} = 0.6 * 1.444197709 = 0.3006$

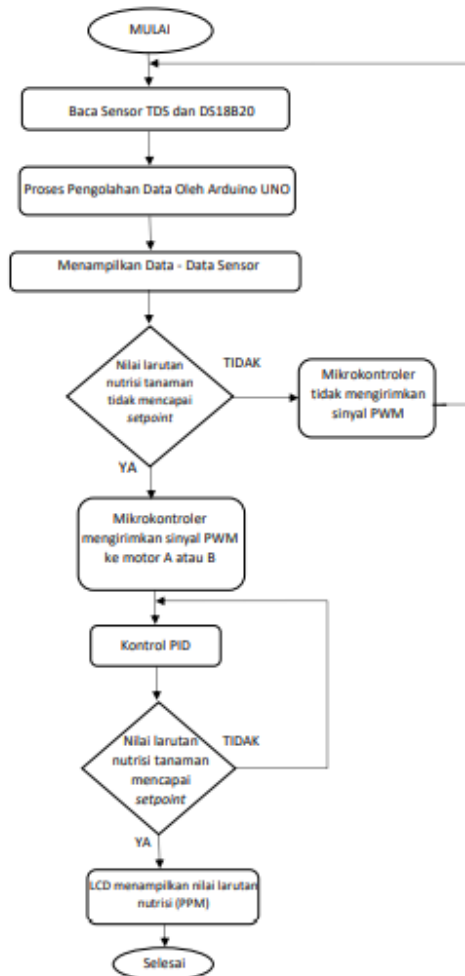
$$K_i = \frac{K_p}{T_i} = \frac{0.866}{0.5 P_{cr}} = 0.056$$

$$K_d = K_p * T_d = K_p(0.125 P_{cr}) = 0.398$$

2.8. Diagram Alir Sistem Kerja Alat

Proses pada *flowchart* Gambar 11 menjelaskan alur kerja sistem yang diawali dengan pembacaan sensor yang terhubung dengan Arduino. Sensor akan membaca nilai larutan nutrisi tanaman yang terlarut). Pembacaan nilai larutan nutrisi sensor TDS akan mengambil data temperature air yang diterima dari sensor Ds18b20 dikarenakan nilai TDS juga dipengaruhi oleh perubahan temperatur air, setelah sensor membaca data kemudian akan dikirimkan ke mikrokontroler arduino UNO, setelah itu Arduino UNO akan dikirimkan dalam bentuk lebar pulsa (PWM) ke driver motor l298n, *driver* motor akan mengonversi sinyal PWM menjadi tegangan yang akan menggerakkan pompa air. Cara kerja sistem ini adalah

ketika sensor TDS sudah membaca nilai larutan nutrisi (ppm) dan didapatkan nilai dari larutan nutrisi masih dibawah nilai *setpoint* yang sudah ditentukan maka pompa air A akan menginjeksikan larutan nutrisi ke bak pencampuran sampai nilai larutan nutrisi mencapai *setpoint*, begitu juga sebaliknya ketika sensor TDS sudah membaca nilai larutan nutrisi (ppm) dan didapatkan nilai dari larutan nutrisi berada di atas nilai *setpoint* maka pompa air B akan menginjeksikan air untuk menurunkan nilai larutan pada bak pencampuran. LCD akan menampilkan hasil pembacaan sensor TDS dan sensor ds18b20 agar dapat dimonitoring.



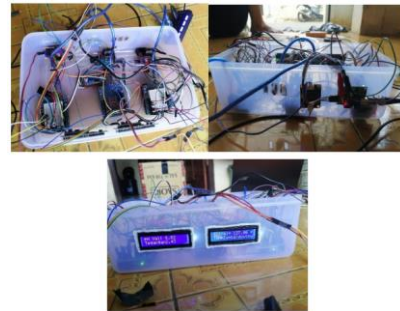
Gambar 11. Flowchart Sistem Pengendalian Nutrisi Hidroponik

2.9. Pembuatan Mekanik

a. Kotak Mikrokontroler (Remote Terminal Unit)

Desain kotak RTU memiliki ukuran 30cm x 20cm x 10cm. Kotak RTU digunakan sebagai tempat peletakan seluruh komponen elektronik yang bertujuan agar dapat melindungi komponen elektronik pada penelitian Tugas

Akhir ini. Kotak RTU dapat diperhatikan pada Gambar 3.12.



Gambar 12. Kotak elektronik sistem monitoring hidroponik

b. Implementasi Sistem

Pada perangkat keras terdapat sensor TDS yang digunakan untuk membaca nilai larutan yang terlarut kedalam air. Pada pembacaan kadar larutan dengan perubahan nilai tegangan sensor sebagai nilai masukan untuk sistem dan kemudian dikonversi menjadi nilai TDS (ppm). Pada sistem ini juga menggunakan sensor DS18B20 untuk mengukur nilai temperature air, selain itu sistem ini juga memiliki driver motor L298N yang digunakan untuk mengendalikan pompa motor DC. Gambar 13 akan menunjukkan implementasi perangkat keras pada alat pengendalian nutrisi tanaman hidroponik.



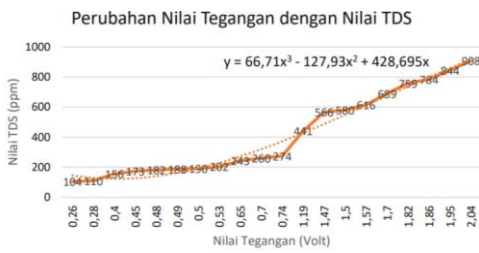
Gambar 13. Implementasi perangkat keras pada alat monitoring dan pengendalian nutrisi hidroponik

3. Hasil dan Pembahasan

Pada bab ini akan dijelaskan dari hasil perancangan implementasi sistem secara hardware dan software. Proses pengujian sistem untuk mencapai setpoint dan analisa respon juga akan dijelaskan pada bab ini.

3.1. Pengujian Sensor TDS

Pada perancangan sensor TDS ini dengan menggunakan prinsip konduktivitas yang terdiri dari dua probe yang diletakkan dalam suatu larutan diberi beda potensial listrik (normalnya berbentuk sinusoidal).



Gambar 14. Grafik Perubahan nilai Tegangan dengan Nilai TDS

Pada Gambar 14 dapat dianalisis data perubahan nilai tegangan tersebut maka kita dapat melakukan kalibrasi pembacaan dengan sensor TDS dengan persamaan : $y = (133.42x^3 - 255.86x^2 + 857.39x) * 0.5$ dimana nilai y adalah nilai TDS dan nilai x adalah nilai tegangan analog sensor. Pengujian blok sensor TDS dilakukan dengan membandingkan keluaran sensor TDS dengan TDS meter digital ditunjukkan pada Tabel 1

Tabel 1. Perbandingan Output Sensor TDS dan TDS Meter

Output Sensor (PPM)	Output TDS Meter (PPM)	Error (%)
111	110	0.9
104	104	0
161	164	1.8
167	165	1.2
169	168	0.59
173	173	0
183	182	0.54
440	447	1.5
432	437	1.14
406	400	1.5
Error rata - rata (%)		0.917

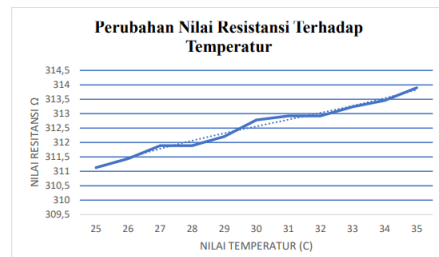
Hasil percobaan pada sensor dapat didapatkan perhitungan persentase error dan rata - rata error dari pengukuran lux menggunakan sensor LDR adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \%Error &= \frac{Nilai\ Sensor - Nilai\ Acuan}{Nilai\ Acuan} \times 100\% \\ &= \frac{111 - 110}{110} \times 100\% \\ &= 0.9\% \end{aligned}$$

Error rata - rata pembacaan nilai TDS pada sensor TDS dengan TDS meter adalah 0.917 %.

3.2. Pengujian Sensor DSb1820

Perancangan sensor DSb1820 ini dilakukan pengujian validasi dengan menguji perubahan nilai resistensi sensor. Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 17.



Gambar 15. Grafik Perubahan Nilai Resistansi Terhadap Nilai Temperatur

Pada Gambar 15 dapat dilakukan analisa bahwa perubahan nilai resistansi akan berbanding lurus dengan perubahan nilai temperatur. Hasil pengukuran ditunjukkan pada Tabel 2

Tabel 2. Perbandingan Output Sensor TDS dan TDS Meter

Output Sensor (° C)	Output TDS Meter (° C)	Error (%)
25	24.76	0.9
26	26.62	2.3
27	27.12	0.4
28	28.62	1.8
29	28.82	2.1
30	30.25	0.8
31	30.73	0.8
32	31.74	0.8
33	33.00	0
34	33.79	0.6
35	35.00	0
Error rata - rata (%)		0.95

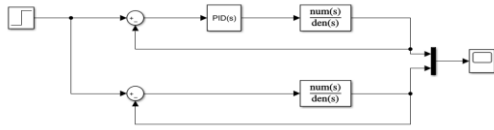
Data Tabel 2 merupakan hasil pengujian sensor Ds18b20 pada proyek akhir ini. Adapun perhitungan persentase error dan rata - rata error dari pengukuran temperature

$$\begin{aligned} \%Error &= \frac{Nilai\ Sensor - Nilai\ Acuan}{Nilai\ Acuan} \times 100\% \\ &= \frac{25 - 24.76}{24.76} \times 100\% \\ &= 0.9\% \end{aligned}$$

dapat dilihat bahwa error rata-rata pembacaan nilai temperatur pada sensor Ds18b20 dengan TDS meter adalah 0.95 %.

3.3 Pengujian Sistem dengan Simulasi MATLAB

Pengujian dilakukan dengan metode simulasi yang dilakukan untuk menguji tingkat keandalan sistem. Pengujian dilakukan dengan menggunakan software Matlab Simulink untuk mengidentifikasi respon sistem saat sudah diberikan pengontrolan PID, Diagram Blok Perbandingan Pengujian Sistem Antara Tidak Dikontrol Dengan Kontrol PID dapat dilihat pada Gambar 16.

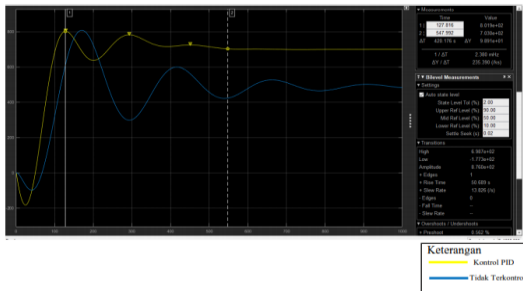


Gambar 16. Perbandingan Pengujian Sistem Antara Tidak Dikontrol Dengan Kontrol PID

3.3.1. Pengujian Dengan Menggunakan Fungsi Alih Saat Diberikan Larutan Nutrisi AB Mix Pada Setpoint 700

Pada pengujian ini dilakukan perbandingan antara sistem yang tidak dikontrol dan sistem yang sudah dikontrol dengan kontrol PID dengan memberikan nilai *setpoint* bernilai 700 ppm. Dilakukan pengujian simulasi dengan melakukan perbandingan antara sistem yang sudah dikontrol dengan yang tidak dikontrol dengan nilai *setpoint* yang diberikan adalah sebesar 700 ppm

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{-0.0007454 s + 2.209 \times 10^{-5}}{s^3 + 0.05583 s^2 + 0.00182 s + 9.607 \times 10^{-6}}$$



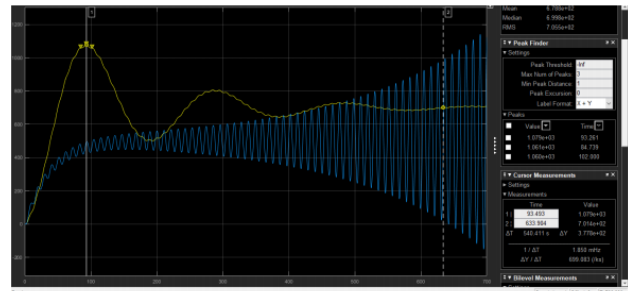
Gambar 17. Grafik Simulasi Perbandingan Pengujian Sistem saat diberikan larutan AB Mix

Pada Gambar 17 dapat dianalisis bahwa pada saat sistem tidak diberikan pengontrolan maka sistem tidak akan bisa mencapai nilai *setpoint* yang diinginkan. Sedangkan saat diberikan pengontrolan PID dengan nilai $K_p = 0.86652$, $K_i = 6.62 \times 10^{-3}$, dan $K_d = 28.357$ didapatkan data bahwa persentase overshoot adalah 11.78 % dengan nilai mencapai 819, waktu untuk mencapai *setpoint* (*settling time*) sebesar 547 s, dan *rise time* sebesar 50.689 s.

3.3.2. Pengujian Dengan Menggunakan Fungsi Alih Saat Diberikan Air Suling Pada Setpoint 700

Pada pengujian ini dilakukan perbandingan antara sistem yang tidak dikontrol dan sistem yang sudah dikontrol dengan kontrol PID dengan memberikan nilai *setpoint* bernilai 700 ppm. Dilakukan pengujian simulasi dengan melakukan perbandingan antara sistem yang sudah dikontrol dengan yang tidak dikontrol dengan nilai *setpoint* yang diberikan adalah sebesar 700 ppm.

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{-7.5 \times 10^{-5} s + 0.00669}{s^3 + 0.01726 s^2 + 0.3484 s + 0.002591}$$



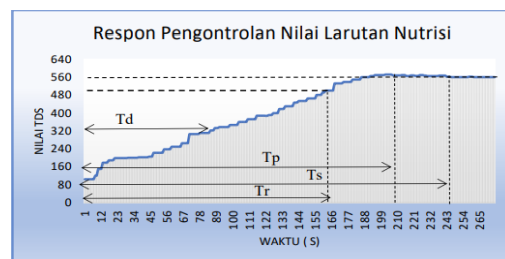
Gambar 18. Grafik Simulasi Perbandingan Pengujian Sistem saat diberikan air suling

Pada Gambar 18 dapat dianalisis bahwa pada saat sistem tidak diberikan pengontrolan maka sistem tidak akan bisa mencapai nilai *setpoint* yang diinginkan dan akan beresilasi secara terus menerus. Sedangkan saat diberikan pengontrolan PID dengan nilai $K_p = 0.3006$, $K_i = 0.056$, dan $K_d = 0.398$ didapatkan data bahwa persentase overshoot adalah 53 % dengan nilai mencapai 1079, waktu untuk mencapai *setpoint* sebesar 633.9 s, dan *rise time* sebesar 35.921 s. Namun pada sistem yang sudah dikontrol tidak mendapatkan nilai error steady state sebesar 3.7%.

3.4. Pengujian Kontrol PID Pada Sistem Hardware

3.4.1. Pengujian Kontrol PID Dengan Setpoint 560 PPM

Pada pengujian ini sensor TDS membaca data awal larutan nutrisi (PPM) adalah sebesar 104.82 ppm dengan *setpoint* yang ingin dicapai adalah 560 PPM maka dari itu terdapat perbedaan error sebanyak 455.18 PPM maka nilai *error* akan diolah oleh kontrol PID. Maka dari hasil pengujian didapatkan data yang dapat dilihat pada Gambar 19.



Gambar 19. Respon Pengontrolan Larutan Nutrisi Dengan Setpoint 560 PPM

Pada Gambar 19 dapat dilakukan analisis bahwa respon sistem kontrol TDS dengan persamaan:

$$\begin{aligned} \%Mp &= \frac{c(t_p) - c(\infty)}{c(\infty)} \times 100\% \\ &= \frac{571 - 560}{560} \times 100\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 1.9\% \\
 Mp &= e^{-\left(\frac{\sigma}{\omega_d}\right)\pi} \\
 0.019 &= e^{-\left(\frac{\sigma}{\omega_d}\right)\pi} \\
 e^{-3.99} &= e^{-\left(\frac{\sigma}{\omega_d}\right)\pi} \\
 -3.99 &= -\left(\frac{\sigma}{\omega_d}\right)\pi \\
 \frac{\sigma}{\omega_d} &= 1.27 \iff \omega_d = \frac{\sigma}{1.27}
 \end{aligned}$$

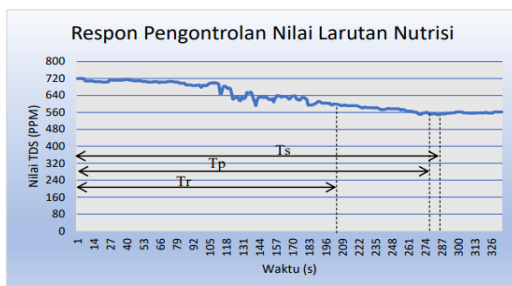
Pada grafik respon sistem dapat diketahui nilai $t_p = 205$ s maka dapat ditentukan

$$\begin{aligned}
 t_p &= \frac{\pi}{\omega_d} \\
 205 &= \frac{3.14}{\frac{\sigma}{1.27}} \\
 205 &= \frac{3.14 \times 1.27}{\sigma} \\
 \sigma &= 0.019, \omega_d = \frac{\sigma}{1.27} \\
 \omega_d &= 0.015 \\
 \beta &= \tan^{-1}\left(\frac{\omega_d}{\sigma}\right) \\
 \beta &= 0.66 \quad t_r = \frac{\pi - \beta}{\omega_d} \\
 t_r &= 165.33 \text{ s} \\
 t_s(\pm 2\%) &= \frac{4}{\sigma} = 210.5 \text{ s}
 \end{aligned}$$

Hasil dari analisis respon sistem pada Gambar 21 didapatkan nilai *maximum overshoot* 1.9%, *peak time* 205 s, *rise time* = 165.33s, dengan nilai final value 560, *error steady state* 0.07%, *settling time* ($\pm 2\%$) 210.5 s.

3.4.2. Pengujian Kontrol PID Dengan Setpoint 560 PPM

Pada pengujian ini sensor TDS membaca data awal larutan nutrisi (PPM) adalah sebesar 720 ppm dengan *setpoint* yang ingin dicapai adalah 560 PPM maka dari itu terdapat perbedaan error sebanyak 160 PPM maka nilai *error* akan diolah oleh kontrol PID. Maka dari hasil pengujian didapatkan data yang dapat dilihat pada Gambar 20.



Gambar 20. Respon Pengontrolan Larutan Nutrisi Dengan Setpoint 560 PPM

Pada Gambar 20 dapat dilakukan analisis bahwa respon sistem kontrol TDS dengan persamaan:

$$\%Mp = \frac{c(t_p) - c(\infty)}{c(\infty)} \times 100\%$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{550 - 560}{560} \times 100\% \\
 &= 1.78\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Mp &= e^{-\left(\frac{\sigma}{\omega_d}\right)\pi} \\
 0.0178 &= e^{-\left(\frac{\sigma}{\omega_d}\right)\pi} \\
 e^{-4.05} &= e^{-\left(\frac{\sigma}{\omega_d}\right)\pi} \\
 -4.05 &= -\left(\frac{\sigma}{\omega_d}\right)\pi \\
 \frac{\sigma}{\omega_d} &= 1.3 \iff \omega_d = \frac{\sigma}{1.3}
 \end{aligned}$$

Pada grafik respon sistem dapat diketahui nilai $t_p = 283$ s maka dapat ditentukan

$$\begin{aligned}
 t_p &= \frac{\pi}{\omega_d} \\
 283 &= \frac{3.14}{\frac{\sigma}{1.3}} \\
 283 &= \frac{3.14 \times 1.3}{\sigma} \\
 \sigma &= 0.014, \omega_d = \frac{\sigma}{1.3} \\
 \omega_d &= 0.011 \\
 \beta &= \tan^{-1}\left(\frac{\omega_d}{\sigma}\right) \\
 \beta &= 0.9 \quad t_r = \frac{\pi - \beta}{\omega_d} \\
 t_r &= 203.6 \text{ s} \\
 t_s(\pm 2\%) &= \frac{4}{\sigma} = 285.7 \text{ s}
 \end{aligned}$$

Hasil dari analisis respon sistem pada Gambar 22 didapatkan nilai *maximum overshoot* 1.78%, *peak time* 283 s, *rise time* = 203.6 s, dengan nilai final value 560, *error steady state* 0.3%, *settling time* ($\pm 2\%$) 285.7 s.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang telah diamati, maka dapat diambil beberapa kesimpulan, antara lain pengujian sensor TDS memiliki tingkat akurasi pembacaan ppm dengan rerata *error* sebesar 0.91%.

Pengujian sensor Ds18b20 memiliki tingkat akurasi pembacaan jarak dengan rerata *error* sebesar 0.95%.

Pengujian pompa motor DC memiliki rentang kinerja yang optimal pada rentang 90 – 240 PWM dengan kecepatan putaran motor sebesar 8560 – 1444.

Penentuan parameter kontrol PID dengan fungsi alih

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{-0.0007454 s + 2.209 \times 10^{-5}}{s^3 + 0.05583 s^2 + 0.00182 s + 9.607 \times 10^{-6}}$$

Didapatkan dengan menggunakan metode Ziegler-Nichols yaitu $K_p = 0.86652$, $K_i = 6.62 \times 10^{-3}$, dan $K_d = 28.35$.

Pengujian perbandingan antara sistem yang tidak terkontrol dengan sistem yang dikontrol dengan kontrol PID yang dilakukan dengan simulasi *software* Matlab mendapatkan hasil bahwa sistem yang tidak terkontrol mengalami osilasi secara terus menerus sehingga tidak dapat mencapai *setpoint* yang diinginkan sedangkan untuk sistem yang dikontrol dengan PID mendapatkan hasil

persentase overshoot sebesar 11.78 % dengan nilai mencapai 819, waktu untuk mencapai *setpoint* (*settling time*) sebesar 547 s, dan *rise time* sebesar 50.689 s.

Penentuan parameter kontrol PID dengan fungsi alih

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{0.2895 s + 0.09676}{s^2 + 0.1477 s + 0.09793}$$

Didapatkan dengan menggunakan metode Ziegler-Nichols yaitu $K_p = 2.7672$, $K_i = 0.6496$, dan $K_d = 2.946$.

Pengujian perbandingan antara sistem yang tidak terkontrol dengan sistem yang dikontrol dengan kontrol PID yang dilakukan dengan simulasi *software* Matlab mendapatkan hasil bahwa sistem yang tidak terkontrol mengalami osilasi secara terus menerus sehingga tidak dapat mencapai *setpoint* yang diinginkan sedangkan untuk sistem yang dikontrol dengan PID mendapatkan hasil persentase overshoot adalah -6.07 % dengan nilai mencapai 642, waktu untuk mencapai *setpoint* (*settling time*) sebesar 60 s, dan *rise time* sebesar 2.33s.

Pengujian Kontrol PID pada *hardware* sistem secara *real time* dengan pembacaan sensor 104.82 ppm dan nilai *set point* 560 PPM didapatkan analisis respon sistem *rise time* 165.33 detik, *settling time* 210.5 detik, *peak time* sebesar 205 detik, *maximum overshoot* 1.9%, dan *error steady state* 0.3%.

Pengujian Kontrol PID pada *hardware* sistem secara *real time* dengan pembacaan sensor 104.82 ppm dan nilai *set point* 560 PPM didapatkan analisis respon sistem *rise time* 203.6 detik, *settling time* 285.7 detik, *peak time* sebesar 205 detik, *maximum overshoot* 1.78% dan *error steady state* 0.3%.

Referensi

- [1] Riko Masda Putra, "Budidaya Tanaman Hidroponik DFT Pada Tiga Kondisi Nutrisi Yang Berbeda," Universitas Lampung, Bandar Lampung. 2018.
- [2] Miftah Farid, "Rancang Bangun Sistem Pengendalian Nutrisi Air Hidroponik Untuk Tanaman Selada Dengan Metode Logika Fuzzy," Universitas Jember, Jember, 2017.
- [3] Aulia, N.M., Triyono, S., Tusi, A. "Pengaruh Naungan Terhadap Pertumbuhan Sawi (*Brassica Juncea L.*) Pada Sistem Hidroponik DFT (*Deep Flow Technique*)," Jurnal Teknik Pertanian Lampung, Vol.3, No. 2: 103-110, 2014.
- [4] Ahmad Nur Fuad "Rancang Bangun Sistem Monitoring Dan Pengontrolan PH Nutrisi Pada Hidroponik Sitem Nutrient Film Technique (NFT) Menggunakan Pengendali PID Berbasis Arduino Uno," Universitas Negeri Surabaya, Surabaya, 2019
- [5] Sutiyo, Y, Hidroponik ala Yos, Jakarta: Penebar Swadaya, 2004.
- [6] Taufanapri Maha Putra Dyka, "Pengendalian PH Dan EC Pada Larutan Nutrisi Hidroponik Tomat Ceri". Institut Bisnis Dan Informatika Stikom Surabaya. July, 2018.
- [7] D. Z. Vidiyanto, S. Fatimah, and C. Wasonowati, "Penerapan Panjang Talang Dan Jarak Tanam Dengan Sistem Hidroponik NFT (Nutrient Film Technique) Pada Tanaman Kailan (*Brassica oleracea var. alboglabra*)," Agrogivor, vol. 6, no. 2, pp. 128-135, 2006.
- [8] Qurrohman, Budi F. S. T, "Bertanam Selada Hidroponik Konsep Dan Aplikasi," Bandung: Pusat Penelitian dan Penerbitan UIN SGD Bandung, 2019.
- [9] Ronaldi Zamora, Harmadi, Wildian, "Perancangan Alat Ukur TDS (Total Dissolved Solid) Air Dengan Sensor Konduktivitas Secara Real Time," Universitas Andalas, Padang, 2015
- [10] Jureni Siregar, Sugeng Triyono, Diding Suhandy, "Pengujian Beberapa Nutrisi Hidroponik Pada Selada (*Lactuca Sativa L.*) Dengan Teknologi Hidroponik Sistem Terapung (THST) Termodifikasi," Jurnal Teknik Pertanian Lampung, Vol. 4, no. 1: 65-72, Maret 2015.
- [11] Inesti Rudangta Brahmana, "Rancang Bangun Pemberian Nutrisi Tanaman Hidroponik Secara Otomatis Berbasis Visual Basic," Universitas Sumatera Utara, Medan, 2018
- [12] Maylita Martani, Endarko, "Perancangan dan Pembuatan Sensor TDS Pada Proses Pengendapan $CaCO_3$ Dalam Air Dengan Metode Pelucutan Elektron dan Medan Magnet", Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2014.
- [13] Vishay, "Display LCD 16x2", In pp. 31-33, 2012, [Online]. Tersedia: [https://www.engineersgarage.com/site/s/default/files/LCD 16x2.pdf](https://www.engineersgarage.com/site/s/default/files/LCD%2016x2.pdf) [Diakses: 14 Juli 2020].
- [14] Inesti Rudangta Brahmana, "Rancang Bangun Pemberian Nutrisi Tanaman Hidroponik Secara Otomatis Berbasis Visual Basic," Universitas Sumatera Utara, Medan, 2018
- [15] Iqtimal.Z, Sara I.D, Syahrizal, "Aplikasi Sistem Tenaga Surya Sebagai Sumber Tenaga Listrik Pompa Air", Universitas Syiah Kuala, vol.3, no. 1, pp.1-8, 2018..
- [16] Nicolaus Allu1, Salma Salu, "Aplikasi Penalaan Dengan Metode Ziegler Nichols Di Perancangan Pengendali PID Pada Putaran Motor DC" Universitas Kristen Indonesia Paulus, Makassar, 2018.