

SISTEM KONTROL DAN MONITORING NUTRISI PADA HIDROPONIK DUTCH BUCKET SYSTEM (DBS) TANAMAN CABAI MENGGUNAKAN METODE KONTROL PI

Muhammad Hari Ramadhan¹, Budi Setiyono², dan Aghus Sofwan²

¹Mahasiswa dan ²Dosen Departemen Teknik Elektro

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

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

Abstrak

Hidroponik *Dutch Bucket System* (DBS) merupakan metode tanam dengan aliran air dan *bucket* sebagai media tanamnya. Salah satu faktor penting dalam hidroponik adalah pengontrolan kualitas air berupa tingkat nutrisi. Nilai nutrisi ini dapat dikendalikan dengan memompa cairan nutrisi atau air sumur ke dalam media tanam hidroponik. Proses ini dikendalikan dengan kontrol PI untuk mengatur kecepatan pompa menginjeksikan cairan. Kecepatan pompa ini tergantung dari hasil pembacaan sensor Gravity TDS meter dalam membaca nilai TDS air. Berdasarkan pengujian dengan kondisi yang berbeda, didapatkan hasil respons sistem tanpa *overshoot* pada kondisi awal nilai TDS di bawah dan di atas nilai *set-point*. Sedangkan pada percobaan diberikan gangguan cairan nutrisi dan air sumur, masing-masing didapatkan *overshoot* sebesar 4,39% dan 2,53%. Monitoring nilai TDS dapat berhasil dilakukan secara jarak jauh yang dipantau melalui *cloud-web server*.

Kata kunci: hidroponik *Dutch Bucket System* (DBS), kontrol PI, monitoring, Thingspeak.

Abstract

Dutch Bucket System (DBS) hydroponics is method of growing plant using water flow and bucket as the medium. One of important factor in hydroponics is control the nutrient levels. This nutrient levels can be controlled by pumping nutrient liquid or well water into the hydroponics media. This process controlled by PI control to regulate the speed of the water pump injecting the liquid. Speed of the pump depends on Gravity TDS meter sensor readings. Based on the test with various conditions, system could response without overshoot at initial conditions below and above the set-point. While system given disturbance with nutrition fluid and well water, respectively, the overshoot was 4,39% and 2,53%. Monitoring the TDS value could be successfully carried out remotely using cloud-web server.

Keywords: hydroponics *Dutch Bucket System* (DBS), PI control, monitoring, Thingspeak.

1. Pendahuluan

Hidroponik adalah jenis penumbuhan tanaman dengan memanfaatkan air yang diberikan larutan nutrisi sebagai media tanamnya, alih-alih dengan menggunakan tanah [1]. Hidroponik menjawab permasalahan dalam pembudidayaan tanaman, yaitu dapat diaplikasikan pada lahan yang terbatas [2]. Pada budidaya hidroponik sendiri, faktor kunci dalam keberhasilannya terletak pada pengontrolan kualitas air sebagai media tanamnya [3].

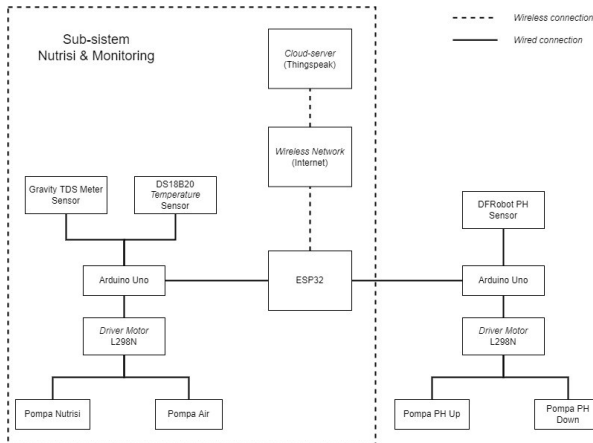
Pada budidaya cabai ini, digunakan sistem hidroponik jenis *Dutch Bucket System* (DBS). Sistem ini cocok untuk tanaman yang memiliki pertumbuhan batang tinggi serta perambatan akar lebat [4].

Sedangkan untuk metode kontrolnya, digunakan kontrol PI yang mengatur seberapa cepat pompa air bekerja untuk mengalirkan nutrisi ke bak penampungan air hidroponik. Metode kontrol PI memiliki keuntungan, antara lain lebih fleksibel dalam menanggapi kondisi yang terjadi pada sistem, serta mudah dan murah untuk diaplikasikan [5].

Pemantauan kualitas air pada sistem hidroponik dapat dilakukan melalui web server [6]. Pada tugas akhir ini, data kualitas air pada sistem, diunggah melalui kontroler yang nantinya ditempatkan pada peladen awan. Data ini dapat disajikan pada perangkat apa saja asalkan memiliki akses ke internet.

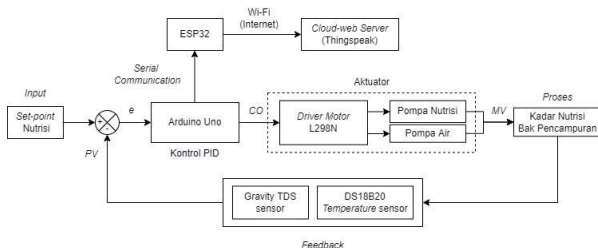
2. Perancangan Sistem

Secara umum, mekanisme kerja antar-perangkat dalam pengerjaan proyek tugas akhir ini dapat ditunjukkan pada Gambar 1.



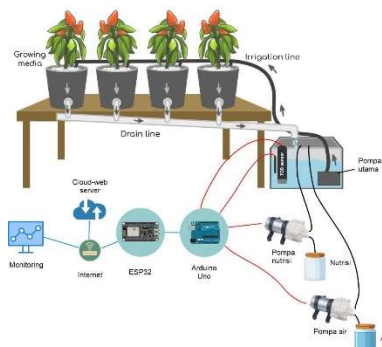
Gambar 1. Diagram blok sistem keseluruhan

Pembagian kerja secara spesifiknya, penulis berfokus pada sub-sistem untuk pengontrolan dan monitoring variabel nutrisi pada hidroponik. Proses pada sub-sistem ini dapat direpresentasikan dalam bentuk diagram alir seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram alir proses di sub-sistem nutrisi dan monitoring

Apabila digambarkan sesuai dengan sistem nyatanya, akan tampak seperti pada Gambar 3.



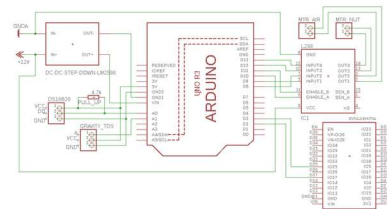
Gambar 3. Sistem hidroponik DBS

2.1. Perancangan Perangkat Keras (Hardware)

Perangkat keras yang digunakan pada proyek ini ialah:

1. Arduino UNO,
2. ESP32,
3. Sensor Gravity TDS Meter,
4. Sensor Temperatur DS18B20,
5. Pompa 12 volt DC,
6. Power adapter 12 volt DC, dan
7. DC-DC Buck Converter LM2596.

Komponen-komponen tersebut lalu dirangkai menjadi kesatuan sistem seperti yang digambarkan pada diagram blok pada Gambar 4.



Gambar 4. Schematic diagram perangkat keras

Perangkat-perangkat tersebut dihubungkan ke Arduino Uno melalui pin-pin yang dimilikinya. Penempatan pin-pin tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Penempatan pin-pin I/O yang terhubung ke papan Arduino UNO

I/O	Sinyal	Jenis	Pin
Input	Sensor Gravity TDS Meter	Analog	A1
Input	Sensor DS18B20	Analog	A0
Output	PWM Pompa Nutrisi	Digital	10
Output	PWM Pompa Air Sumur	Digital	11
Output	Komunikasi RX ESP32	Digital	2
Output	Komunikasi TX ESP32	Digital	3

2.2. Perancangan Pengontrolan Sistem

Sistem terlebih dahulu diidentifikasi karakteristiknya. Pada proyek ini, model sistem diidentifikasi melalui pendekatan IPDT. IPDT dipakai karena sistem ini tergolong ke jenis *non-self regulating process*. Sistem ini dimaknai dengan model yang prosesnya bersifat tidak stabil [7]. Sebagai aspek pengontrolannya, penalaan yang digunakan ialah perhitungan kontrol PI Ziegler-Nichols untuk IPDT.

2.2.1. Eksperimen *Bump-test* Pemberian Nutrisi

Berdasarkan hasil eksperimen *bump-test*, dihasilkan parameter sebagai berikut.

1. Keterlambatan transportasi proses (L)
 $L = 31$ (1)

2. Gain integratif proses (K)
 $K^* = \frac{\Delta slope}{\Delta CO} = \frac{(888-731)}{\frac{55-43}{100-0}} = 0,13083$ (2)

Persamaan matematis:
 $H(s) = \frac{0,13083}{s} e^{-31s}$ (3)

2.2.2. Eksperimen Bump-test Pemberian Air Sumur

Berdasarkan hasil eksperimen *bump-test*, dihasilkan parameter sebagai berikut.

1. Keterlambatan transportasi proses (L)
 $L = 127$ (4)

2. Gain integratif proses (K)
 $K^* = \frac{\Delta slope}{\Delta CO} = \frac{(898-1052)}{\frac{940}{100-0}} = -0,0016$ (5)

Persamaan matematis:
 $H(s) = \frac{-0,0016}{s} e^{-127s}$ (6)

2.2.3. Parameter Kontrol PI Pemberian Nutrisi

Kontrol PI dilihat dari perangkat penyusunnya, dapat dibedakan menjadi kontrol PI analog dan PI digital. PI analog dilakukan oleh perangkat keras berupa rangkaian elektronika, dan PI digital dilakukan oleh kontroler [8]. Pengujian ini menggunakan kontrol PI jenis digital. Parameter-parameter K^* dan L yang didapatkan pada eksperimen *bump-test* sebelumnya dimasukkan ke dalam formula sesuai pada Tabel 2 agar mendapatkan parameter PI.

Tabel 2. Formula Tuning PI Metode Ziegler-Nichols

Kontrol	Kp	Ti	Td
P	$\frac{0,78}{L \cdot K^*}$	-	-
PI	$\frac{0,9}{L \cdot K^*}$	3,3L	-

Parameter kontrol yang akan dipakai berdasarkan hasil perhitungan adalah sebagai berikut.

$K_p = \frac{0,9}{0,13083 \cdot 41} = 0,167784297$ (7)

$K_i = \frac{K_p}{T_i} = \frac{0,167784297}{3,3 \cdot 31} = 0,00164$ (8)

2.2.4. Parameter Kontrol PI Pemberian Air Sumur

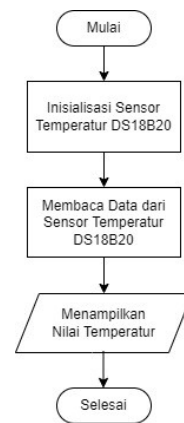
Dari formula yang digunakan pada penalaan sebelumnya, dapat dihitung parameter kontrol yang akan dipakai pada eksperimen pemberian air sumur sebagai berikut.

$K_p = \frac{0,9}{-0,0016 \cdot 127} = -4,4291$ (reverse) (9)

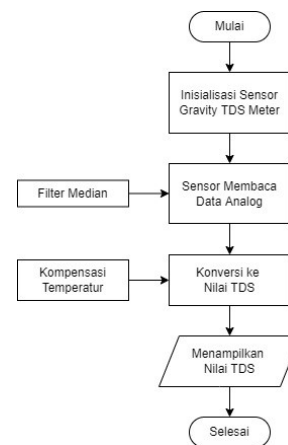
$K_i = \frac{K_p}{T_i} = \frac{-4,4291}{3,3 \cdot 127} = -0,0106$ (reverse) (10)

2.3. Perancangan Akuisisi dan Monitoring Data

Perancangan sistem akuisisi dan monitoring data ini mencakup proses pembacaan data oleh sensor serta pengiriman ke web server. Akuisisi data pada sensor dapat ditunjukkan pada Gambar 5 dan Gambar 6.



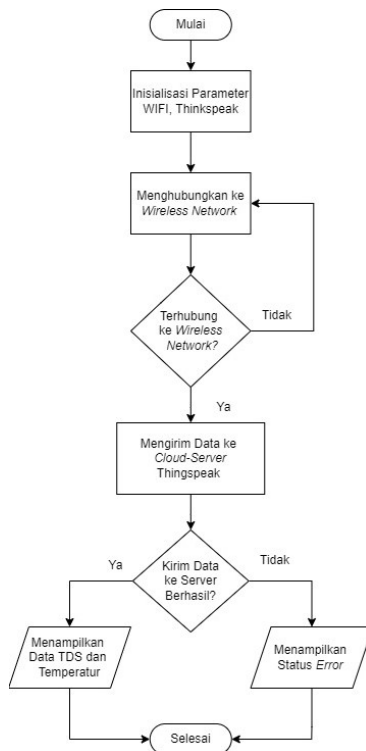
Gambar 5. Diagram alir akuisisi data pada sensor temperatur DS18B20



Gambar 6. Diagram alir akuisisi data pada sensor Gravity TDS meter

Median filter dipakai pada pengujian ini karena pada kasus data *outliers*, keluaran median filter lebih mendekati nilai aslinya daripada menggunakan filter *mean* atau sejenis [9]. Data yang telah diterima oleh ESP32 kemudian akan diteruskan ke *cloud-web* server. Pengiriman data ini menggunakan komunikasi protokol HTTP sehingga ESP32 sebelumnya harus terhubung ke *wireless network* yang terkoneksi dengan internet. Setelah terhubung, ESP32 membuat perintah untuk mengirim *packet* berupa data

pembacaan variabel TDS dan temperatur ke *cloud-web* server Thingspeak.



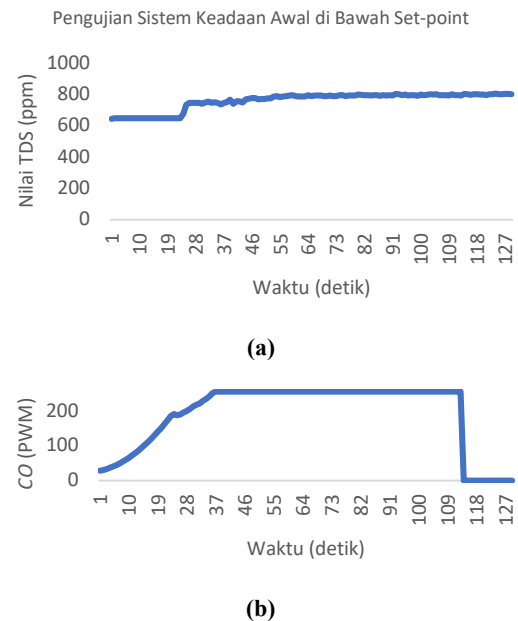
Gambar 7. Diagram alir pengiriman data pada komunikasi serial

Pengiriman ini terjadi berkat adanya API yang disediakan oleh Thingspeak. Diagram alir proses pengiriman data ditunjukkan pada Gambar 7.

3. Pengujian dan Analisis

3.1. Pengujian Sistem Keadaan Awal di Bawah *Set-point*

Pengujian diawali dengan mempersiapkan sistem berupa air pada bak pencampuran. Air ini diatur agar memiliki nilai TDS di bawah nilai optimalnya (*set-point*) senilai 800 ppm. Nilai optimal ini bergantung dengan usia dan jenis tanaman [10]. Pemberian kadar nutrisi yang terlalu tinggi pada tanaman cabai yang baru tumbuh, menyebabkan terjadinya kistut akibat tekanan osmotik [11]. Pada pengujian ini digunakan tanaman cabai dengan masa tumbuh 2 minggu setelah tanam. Pengujian ini, dimulai dari kondisi sistem awal berada di angka 644 ppm. Kondisi awal ini dipertahankan untuk stabil, lalu sesaat kemudian sistem kontrol dibiarkan merespons. Hasil respons sistem menggunakan parameter PID, dengan nilai $K_p = 0,167784297$ dan nilai $K_i = 0,00164$ dapat ditampilkan dengan grafik pada Gambar 8.

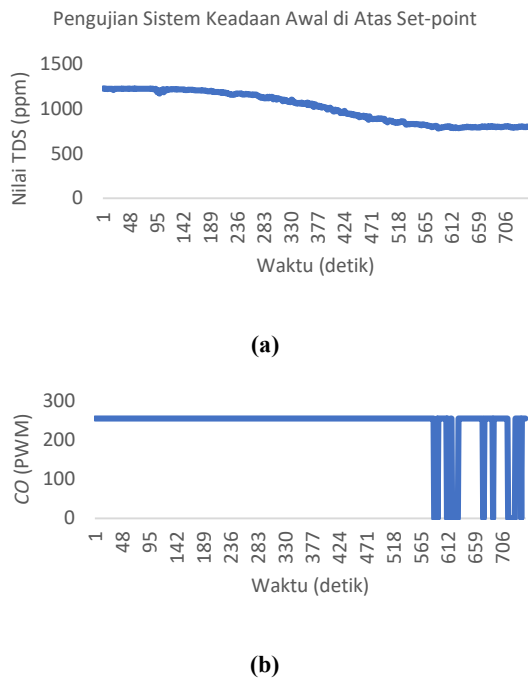


Gambar 8. Grafik pengujian sistem dengan kondisi awal TDS di bawah nilai *set-point*
 (a) Nilai TDS terhadap waktu
 (b) Nilai CO pompa nutrisi terhadap waktu

Hasil pengujian dapat diamati lalu dilakukan analisis *transient*-nya. Sistem dari hasil pengujian menunjukkan, untuk mencapai perubahan sebesar 50% dari nilai awalnya, atau yang bisa disebut *delay time* (t_d), membutuhkan waktu sebesar 25 detik. Waktu untuk mencapai perubahan 10% hingga 90% dari nilai awalnya, atau yang bisa disebut *rise time* (t_r), sebesar 32 detik, dengan $t_{10\%} = 24$ detik dan $t_{90\%} = 56$ detik. Nilai *settling time* (t_s) sendiri didapatkan saat sistem sudah mencapai $\pm 2\%$ dari *final value*-nya. Dari pengujian didapatkan t_s sebesar 105 detik. Pada sistem ini tidak terjadi *overshoot*, sehingga tidak ada nilai *peak time* (t_p) yang dihitung saat sistem mengalami *overshoot*. Respons sistem ini memiliki karakteristik lambat, namun memiliki *overshoot* yang kecil. Karakteristik ini sudah sesuai dengan kebutuhan sistem yang tidak memerlukan tanggapan cepat. Kebutuhan yang utama adalah hasil akhir yang sesuai dengan minim *overshoot*.

3.2. Pengujian Sistem Keadaan Awal di Atas *Set-point*

Pada uji ini, sistem mulanya disesuaikan kondisinya agar berada di atas nilai *set-point*. Kondisi awal dijaga pada nilai 1225 ppm dengan *set-point* 800 ppm. Kondisi awal ini dipertahankan untuk stabil, lalu sesaat kemudian sistem kontrol dibiarkan merespons. Hasil respons sistem menggunakan parameter PID, dengan nilai $K_p = 4,4291$ dan nilai $K_i = 0,0106$ dapat ditampilkan dengan grafik pada Gambar 9.



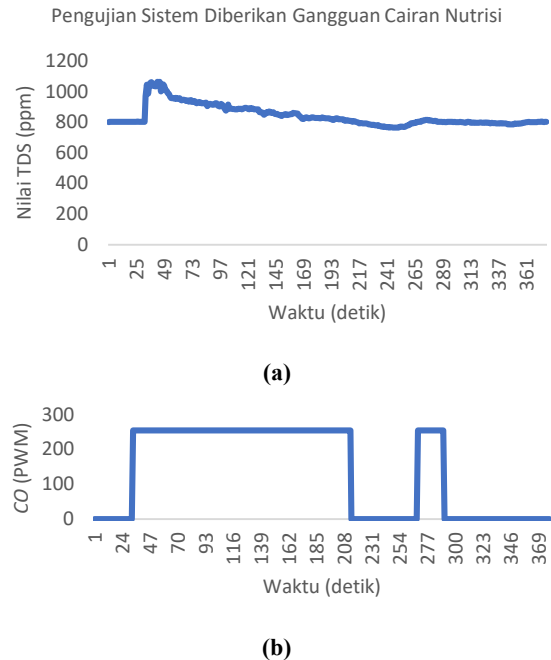
Gambar 9. Grafik pengujian sistem dengan kondisi awal TDS di atas nilai *set-point*
 (a) Nilai TDS terhadap waktu
 (b) Nilai CO pompa air terhadap waktu

Analisis *transient* dari hasil uji menunjukkan, t_d sebesar 384 detik, t_r sebesar 311 detik, dengan $t_{10\%} = 204$ detik dan $t_{90\%} = 515$ detik. Nilai t_s didapatkan pada detik ke-574. Pada sistem ini tidak terjadi *overshoot*, sehingga tidak ada nilai t_p yang dihitung saat sistem mengalami *overshoot*. Respons sistem yang didapat terbilang cukup lama daripada pengujian sistem di bawah *set-point*. Hal ini disebabkan oleh jarak antara keadaan awal sistem dengan nilai *set-point* yang berbeda. Pada pengujian kali ini, jarak yang ditempuh lebih besar. Selain itu, keadaan air sumur yang tidak lebih pekat daripada cairan yang ada pada bak pencampuran membuat proses penurunan nilai TDS berjalan perlahan.

3.3. Pengujian Sistem Diberi Gangguan Cairan Nutrisi

Pada uji ketiga ini dipersiapkan sistem yang sedang berada pada keadaan stabilnya, yaitu berada di nilai *set-point* 800 ppm. Sistem secara tiba-tiba diberikan gangguan berupa cairan nutrisi sebesar 60 ml dengan konsentrasi 10.000 ppm. Cairan nutrisi ini masuk ke bak pencampuran yang berkapasitas 30 liter, sehingga sistem menjadi tidak stabil akibat naiknya nilai TDS. Sistem dengan menggunakan pengontrolan PID, akan menyalakan pompa untuk menginjeksikan air sumur dengan nilai $K_p = 4,4291$ dan nilai $K_i = 0,0106$. Pengontrolan ini diaktifkan guna menurunkan nilai TDS pada sistem dan kondisi kembali stabil di *set-point* 800 ppm. Hasil respons sistem ketika

diberikan gangguan berupa cairan nutrisi dapat diamati pada Gambar 10.



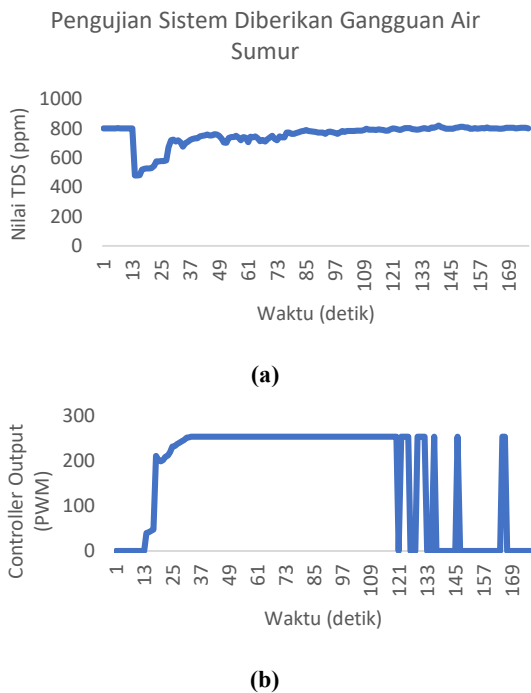
Gambar 10. Grafik pengujian sistem saat diberikan gangguan berupa cairan nutrisi
 (a) Nilai TDS terhadap waktu
 (b) Nilai CO pompa air terhadap waktu

Analisis *transient* dari hasil uji menunjukkan, nilai t_d berada di detik ke-73 setelah sistem dikenai gangguan. Nilai t_r setelah dikenai gangguan adalah 147 detik, dengan $t_{10\%} = 41$ detik dan $t_{90\%} = 188$ detik. Lalu nilai t_s terjadi pada detik ke-212. Pada sistem ini terjadi *overshoot* sebesar 4,39% dengan t_p pada detik ke-246. Penambahan gangguan berupa cairan nutrisi ini dapat direspons dengan cepat oleh sistem. Cepatnya sistem dalam menanggapi gangguan ini disebabkan oleh volume cairan nutrisi yang ditambahkan terbilang besar. Terlebih, cairan nutrisi ini lebih pekat daripada cairan yang ada dalam bak pencampuran. Sehingga, waktu pencampuran relatif lebih cepat dan sistem akan dengan cepat mendeteksi perubahan nilai TDS.

3.4. Pengujian Sistem Diberi Gangguan Air Sumur

Sistem dikondisikan *set-point* 800 ppm. Pada saat stabil, sistem secara tiba-tiba diberi penambahan air sumur. Air sumur ini memiliki konsentrasi kurang lebih 70-85 ppm. Besaran air sumur yang ditambahkan sebesar 10 liter air. Penambahan ini membuat nilai TDS pada bak pencampuran menurun, sehingga sistem menjadi tidak stabil. Sistem dengan menggunakan pengontrolan PID, akan menyalakan pompa untuk menginjeksikan cairan nutrisi dengan nilai $K_p = 0,167784297$ dan nilai $K_i = 0,00164$. Pengontrolan

ini diaktifkan guna menaikkan nilai TDS pada sistem dan kondisi kembali stabil di *set-point* 800 ppm. Hasil respons sistem ketika diberikan gangguan penambahan air sumur dapat diamati pada Gambar 11.



Gambar 11. Grafik pengujian sistem saat diberikan gangguan berupa penambahan air sumur
 (a) Grafik nilai TDS terhadap waktu
 (b) Grafik nilai CO terhadap waktu

Analisis *transient* dari hasil uji menunjukkan, t_d berada di detik ke-28. Nilai t_r adalah 64 detik, dengan $t_{10\%} = 28$ detik dan $t_{90\%} = 81$ detik. Lalu nilai t_s pada detik ke-120. Pada sistem ini terjadi *overshoot* sebesar 2,53% dengan t_p pada detik ke-140. Perubahan yang terjadi direspons oleh sistem dengan cepat. Hal ini diakibatkan volume penambahan air sumur ke dalam bak pencampuran, terbilang besar. Volume bak pencampuran sendiri berisi 30 liter cairan, lalu diberikan gangguan berupa penambahan 10 liter air sumur. Penambahan yang besar ini dipilih, mengingat air sumur itu sendiri tidak lebih pekat daripada cairan yang ada dalam bak pencampuran. Nilai *overshoot* yang didapatkan, terjadi akibat cairan nutrisi yang keluar dari pompa, tepat mengenai batang sensor sebelum tercampur rata dengan air pada bak pencampuran.

3.5. Pengujian Komunikasi Serial

Pengujian ini dilakukan bersamaan dengan uji pengontrolan. Pengiriman data oleh Arduino Uno dilakukan setiap saat, ketika data pembacaan sensor sudah terbaca (1 kali eksekusi program). Namun, pada ESP32 hanya memperlihatkan satu data saja dari data yang

diterima untuk ditampilkan pada Serial Monitor dengan jeda 30 detik sekali. Proses penampilan data ini dibantu dengan *add-on* ArduSpreadsheet dari Arduino IDE yang dapat memvisualisasikan data dengan format CSV ke bentuk tabel dengan tambahan *timestamp*. Data yang dikirim antara Arduino Uno ke ESP32 dapat disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Analisis durasi waktu pengiriman antara Arduino Uno dengan ESP32

Data ke-	Timestamp Arduino Uno	Timestamp ESP32	Delay (ms)
127	2021-12-17 05:36:47.142	2021-12-17 05:36:46.481	661
324	2021-12-17 05:41:17.274	2021-12-17 05:41:16.605	669
393	2021-12-17 05:42:56.948	2021-12-17 05:42:56.270	678
516	2021-12-17 05:45:54.631	2021-12-17 05:45:53.963	668
623	2021-12-17 05:48:29.196	2021-12-17 05:48:28.531	665
708	2021-12-17 05:50:31.984	2021-12-17 05:50:31.310	674
815	2021-12-17 05:53:06.551	2021-12-17 05:53:05.882	669
880	2021-12-17 05:54:40.445	2021-12-17 05:54:39.778	667
944	2021-12-17 05:56:12.903	2021-12-17 05:56:12.243	660
1030	2021-12-17 05:58:17.197	2021-12-17 05:58:16.537	660
Rata-rata			667,1

Dari pengujian didapatkan *delay* rata-rata pada pembacaan adalah 667,1 ms. *Delay* terlama didapatkan pada data ke-393 dengan *delay* 678 ms. *Delay* tercepat didapatkan pada data ke-944 dan data ke-1030, yaitu 660 ms. *Delay* waktu ini terbilang cepat karena masih menggunakan kabel sebagai media pengirimannya yang tentu lebih cepat daripada tanpa memakai kabel.

3.6. Pengujian Pengiriman Data ke Cloud-server Thingspeak

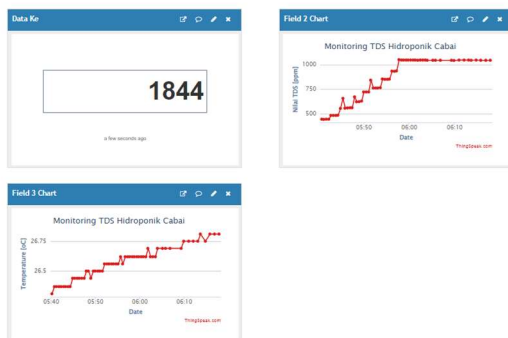
Pengujian ini dilakukan berbarengan dengan pengujian komunikasi serial sebelumnya. Pengiriman data ke *cloud-server* dilakukan oleh ESP32 yang sudah terhubung ke internet sebelumnya. Internet yang dipakai berasal dari MNC Play yang digunakan di indkos dengan waktu pengujian pada 17 Desember pukul 05.00 WIB. *Publish* data pada platform Thingspeak dilakukan setiap 30 detik sekali. Data yang akan dibandingkan adalah data yang tampil pada Serial milik ESP32 dengan data yang diunduh dari *cloud-server* milik Thingspeak.

Proses penampilan data ini dibantu dengan *add-on* ArduSpreadsheet dari Arduino IDE yang dapat memvisualisasikan data dengan format CSV ke bentuk tabel dengan tambahan *timestamp*. Tampilan ArduSpreadsheet ketika disambungkan dengan ESP32 serta *dashboard* pada *cloud-web* server Thingspeak dapat dilihat pada Gambar 12 dan Gambar 13.



Gambar 12. Tampilan ArduSpreadsheet pada ESP32

Monitoring TDS Hidroponik Cabai



Gambar 13. Tampilan dashboard pada cloud-web server Thingspeak

Dari Gambar 17 dan Gambar 18, dapat dilihat bahwa data yang dikirimkan dapat ditampilkan dengan baik di server Thingspeak. Pengujian dilakukan dengan mencuplik sebagian data guna melakukan analisis durasi waktu pengiriman. Pengujian ini dapat disajikan pada Tabel 7.

Tabel 4. Analisis durasi waktu pengiriman antara ESP32 dengan cloud-server Thingspeak

Data ke-	Timestamp ESP32	Timestamp Thingspeak	Delay (s)
279	2021-12-17 05:40:13.542	2021-12-17T05:40:13	<1
323	2021-12-17 05:41:16.222	2021-12-17T05:41:16	<1
408	2021-12-17 05:43:19.913	2021-12-17T05:43:19	<1
516	2021-12-17 05:45:55.350	2021-12-17T05:45:55	<1
623	2021-12-17 05:48:29.775	2021-12-17T05:48:29	<1
708	2021-12-17 05:50:33.477	2021-12-17T05:50:33	<1
815	2021-12-17 05:53:08.095	2021-12-17T05:53:08	<1
880	2021-12-17 05:54:40.866	2021-12-17T05:54:40	<1
944	2021-12-17 05:56:13.637	2021-12-17T05:56:13	<1
1030	2021-12-17 05:58:17.356	2021-12-17T05:58:17	<1
	Rata-rata		<1

Dari pengujian didapatkan delay rata-rata pada pembacaan adalah kurang dari 1 detik. Sayangnya pada data yang diunduh dari cloud-server Thingspeak, hanya menunjukkan timestamp hingga level detik saja, sedangkan dari ESP32 dapat hingga level milisecond. Delay waktu ini dipengaruhi oleh kualitas internet yang digunakan untuk pengiriman data pada ESP32 dan bisa berbeda-beda tergantung dengan penyedia dan laju lalu-lintas data internet.

4. Penutup

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan pengontrolan nilai nutrisi pada hidroponik DBS tanaman cabai berjalan dengan baik. Kontrol yang digunakan berupa kontrol PI baik pada pompa nutrisi maupun pompa air sumur. Pada 4 kali pengujian dengan kondisi berbeda, didapatkan hasil tanpa overshoot pada percobaan kondisi di bawah dan di atas set-point, dan nilai overshoot di bawah ambang batas yang diharapkan yaitu <5%. Sedangkan pengujian pengiriman data dari ESP32 ke server Thingspeak, didapatkan delay pengiriman kurang dari 1 detik dengan status data dapat dipantau dengan baik. Delay waktu ini dapat dipengaruhi oleh kualitas penyedia layanan internet dan aktivitas lalu-lintas data.

4.1 Saran

Untuk pengembangan sistem lebih lanjut, maka diberikan saran-saran sebagai berikut:

1. Pada pengontrolan sistem akan lebih baik jika dapat melakukan self-tuning apabila akan mengganti set-point yang akan dipakai.
2. Pada bak pencampuran idealnya digunakan mixer atau pengaduk agar campuran nutrisi yang dituangkan segera tercampur merata.
3. Perlu adanya penelitian lebih lanjut tentang kemampuan sensor dalam mendeteksi partikel tertentu agar data pembacaan tidak misleading.
4. Perlu adanya peningkatan pada tampilan dashboard monitoring agar tampilan yang dihasilkan lebih menarik dan informatif.

Referensi

- [1]. T. Asao, *Hydroponics - A Standard Methodology for Plant Biological Researches*, First ed. Rijeka, Croatia: InTech, 2012.
- [2]. F. Iskandar, "Analisis Risiko Produksi Usahatani Cabai di Desa Tanjung Qencana Kecamatan Way Bungur Kabupaten Lampung Timur," STIPER Dharmawacana Metro, 2018.
- [3]. K. Roberto, *How-to hydroponics : a how-to guide to soilfree gardening*, 3rd ed. New York, USA: FutureGarden, Inc., 2000.
- [4]. T. Yang, J. E. Altland, and U. Samarakoon, "Evaluation of organic substrates as an alternative to perlite for cucumber production in the Dutch bucket hydroponic system," *Acta Hort.*, vol. II, no. 1317, pp. 319–326, Aug. 2021.
- [5]. N. Allu and S. Salu, "Aplikasi Penalaan Dengan Metode Ziegler Nichols di Perancangan Pengendali PID pada Putaran Motor DC," *Pros. Semin. Nas. Sinergitas Multidisiplin Ilmu Pengetah. dan Teknol.*, vol. 1, no. April, pp. 9–10, 2018.

- [6]. C. J. G. Aliac and E. Maravillas, "IOT hydroponics management system," *2018 IEEE 10th Int. Conf. Humanoid, Nanotechnology, Inf. Technol. Commun. Control. Environ. Manag. HNICEM 2018*, pp. 1–5, 2019.
- [7]. I. Setiawan, *Kontrol PID Untuk Proses Industri*, 1st ed., no. 3. Jakarta: Elex Media Komputindo, 2008.
- [8]. W. Budiharto and D. Suhartono, *Artificial Intelligence*, 1st ed. Yogyakarta: Andi Offset, 2014.
- [9]. Y. Shi *et al.*, "Design of a Hybrid Indoor Location System Based on Multi-Sensor Fusion for Robot Navigation," *Sensors*, vol. 18, no. 10, 2018.
- [10]. C. Hidayat, M. R. Pahlevi, B. F. Taufiqqurahman, and M. A. Ramdhani, "Growth and Yield of Chili in Nutrient Film Technique at Different Electrical Conductivity," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 288, no. 4, p. 012034, Jan. 2018.
- [11]. L. Masse, D. I. Massé, Y. Pellerin, and J. Dubreuil, "Osmotic pressure and substrate resistance during the concentration of manure nutrients by reverse osmosis membranes," *J. Memb. Sci.*, vol. 348, no. 1–2, pp. 28–33, 2010