



Kendali pH untuk sistem IoT hidroponik deep flow technique berbasis fuzzy logic controller

PH control for deep flow technique hydroponic IoT systems based on fuzzy logic controller

Adnan Rafi Al Tahtawi^{*1)}, Robi Kurniawan²⁾

¹⁾Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung
Jl. Gegerkalong Hilir Ds. Ciwaruga, Bandung, Indonesia 40012

²⁾Program Studi Teknik Komputer, Politeknik Sukabumi
Jl. Babakan Sirna No. 25, Kota Sukabumi, Indonesia 43132

Cara sitasi: A. R. Al Tahtawi and R. Kurniawan, "Kendali pH untuk sistem IoT hidroponik deep flow technique berbasis fuzzy logic controller," *Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer*, vol. 8, no. 4, pp. 323-329, 2020. doi: [10.14710/jtsiskom.2020.13822](https://doi.org/10.14710/jtsiskom.2020.13822), [Online].

Abstract - In hydroponic cultivation sites, pH control is still carried manually by checking the pH level with a pH meter and providing a pH balancing liquid manually. This study aims to design an automatic pH control system in the Deep Flow Technique (DFT) hydroponic system that uses the Internet of Things (IoT) based Fuzzy Logic Controller (FLC). The SKU SEN0161 sensor detects the pH value as FLC inputs in an error value and its changes. These inputs are processed using Mamdani FLC embedded in the Arduino Mega 2560 microcontroller. The FLC produces an output in a pH liquid feeding duration using the peristaltic pump. The results showed that FLC could maintain the pH value according to the set point with a settling time of less than 50 seconds, both with disturbance by adding pH liquid and without disturbance. The pH value can also be displayed on the website interface system as a monitoring system.

Keywords – pH control; hydroponic DFT; fuzzy logic control; Internet of things

Abstrak – Di beberapa tempat budidaya tanaman hidroponik, pengendalian pH masih dilakukan dengan cara manual, yaitu dengan mengecek kadar pH dengan pH meter dan memberikan larutan penyeimbang pH secara manual. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem kendali pH otomatis pada sistem hidroponik Deep Flow Technique (DFT) menggunakan Internet of Things (IoT) berbasis Fuzzy Logic Controller (FLC). Nilai pH dideteksi oleh sensor SKU SEN0161 sebagai masukan FLC dalam bentuk nilai error dan perubahannya. Kedua masukan tersebut diolah menggunakan FLC tipe Mamdani yang ditanamkan pada mikrokontroler Arduino Mega 2560 untuk menghasilkan keluaran berupa durasi pemberian cairan pH pada peristaltic

pump. FLC ini dapat mempertahankan nilai pH sesuai titik referensi dengan settling time kurang dari 50 detik, baik dengan gangguan berupa penambahan larutan pH maupun tanpa gangguan. Nilai pH juga dapat ditampilkan pada sistem antarmuka situs web sebagai sistem pemantau.

Kata Kunci – kendali pH; hidroponik DFT; fuzzy logic control; Internet of things

I. PENDAHULUAN

Hidroponik merupakan salah satu alternatif metode bercocok tanam di kawasan perkotaan. Salah satu sistem hidroponik yang sering digunakan adalah *Deep Flow Technique* (DFT). DFT merupakan salah satu metode hidroponik kultur air yang menggunakan air sebagai media untuk penyedia nutrisi dimana akar tanaman selalu terendam di dalam larutan nutrisi [1]. Dalam budidaya tanaman secara hidroponik, selain nutrisi, hal yang terpenting lainnya dalam pertumbuhan tanaman adalah pH (*Power of Hydrogen*) yang merupakan derajat keasaman atau kebasahan suatu zat tertentu. Nilai pH air dalam budidaya hidroponik berdampak dalam penyerapan unsur nutrisi yang diperlukan tanaman [2].

Dalam proses budidaya, pH dalam tangki nutrisi sangat mungkin untuk selalu berubah. Kondisi ini merupakan bentuk gangguan dari lingkungan eksternal, seperti air hujan, pencemaran, dan kontaminasi lainnya. Dengan demikian, nilai pH perlu diupayakan bertahan pada nilai optimalnya menyesuaikan dengan tanaman yang dibudidayakan [2].

Pada umumnya pengaturan pH masih dilakukan dengan cara manual, yaitu dengan mengecek kadar pH dengan pH meter dan memberikan larutan penyeimbang pH secara manual. Hal ini dikarenakan belum tersedia alat yang dapat mengukur kadar pH secara terus menerus, presisi, stabil, dan memiliki rentang pengukuran yang lebar. Dengan demikian, diperlukan sebuah sistem kendali yang mampu mengendalikan kadar pH pada air nutrisi.

^{*}) Penulis korespondensi (Adnan Rafi Al Tahtawi)
Email: adnan.rafi@polban.ac.id

Pengembangan sistem kendali pH pada larutan nutrisi hidroponik telah dikembangkan dalam beberapa kajian dengan berbagai metode kendali, seperti otomatisasi ON/OFF [3], PID konvensional [4]-[7], dan kendali logika fuzzy [8]-[12]. Dari metode-metode tersebut, logika fuzzy merupakan metode pengendalian yang lebih banyak digunakan.

Metode pengendalian berbasis logika fuzzy, yang dikenal dengan istilah Fuzzy Logic Controller (FLC), dapat diterapkan dengan konsep *open-loop* [8], [9] dan *closed-loop* [10]-[12]. Pada sistem FLC *open-loop*, pengendalian pH dilakukan berdasarkan dua atau lebih jenis besaran lainnya, seperti ketinggian air, suhu air, dan kekeruhan. Sistem *open-loop* tidak mempertimbangkan adanya umpan balik dari pH terukur untuk pengendalian. Berbeda dengan sistem *open-loop*, pada FLC dengan sistem *closed-loop*, pengendalian pH dilakukan berdasarkan nilai kesalahan dan perubahannya. Nilai kesalahan diperoleh dari selisih antara nilai referensi dengan nilai pH keluaran terukur, sedangkan perubahan kesalahan diperoleh dari nilai kesalahan saat ini dikurangi dengan nilai kesalahan sebelumnya. Dengan demikian, pada sistem *closed-loop* terdapat sinyal umpan balik dari pH terukur ke bagian pengendali.

Dari sisi pengembangan teknologi, budidaya tanaman hidroponik dapat dilakukan dengan memanfaatkan beragam teknologi, seperti sensor pintar [13], jaringan sensor nirkabel [14], dan Internet of Things (IoT) [15]-[17]. Penerapan teknologi tersebut bertujuan untuk meningkatkan jangkauan pendeteksian sensor dan untuk memudahkan dalam hal pemantauan jarak jauh.

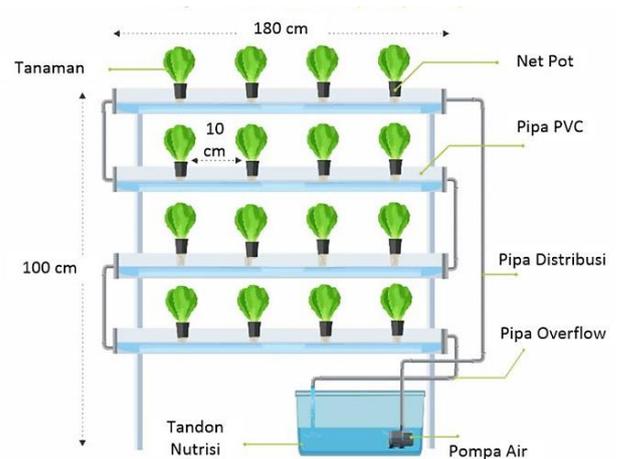
Kajian yang mengintegrasikan FLC dengan teknologi IoT untuk sistem hidroponik juga telah dikembangkan dalam [18]-[20]. Namun, Kuswita dan Arimbawa [18] menggunakan metode kendali *open-loop* dan fokus pada pengendalian pH, sedangkan Yolanda dkk. [19] melakukan pengendalian terhadap *Electrical Conductivity* (EC), dan Musa dkk. [20] mengendalikan kadar *Parts per Million* (PPM) larutan nutrisi.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan pengendalian pH pada larutan nutrisi sistem hidroponik DFT yang menggunakan teknologi IoT berbasis metode FLC *closed-loop*. Sistem hidroponik dirancang dengan konsep DFT dan teknologi IoT sebagai sistem pemantauan jarak jauh. FLC digunakan untuk mengendalikan pH pada larutan nutrisi dengan sistem *closed-loop* dan menggunakan metode inferensi Mamdani. Target yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah kestabilan nilai pH pada nilai yang ditentukan, baik tanpa gangguan maupun dengan gangguan. Selain itu, parameter pH mampu dikirim dan ditampilkan pada sistem antarmuka *website* melalui jaringan internet.

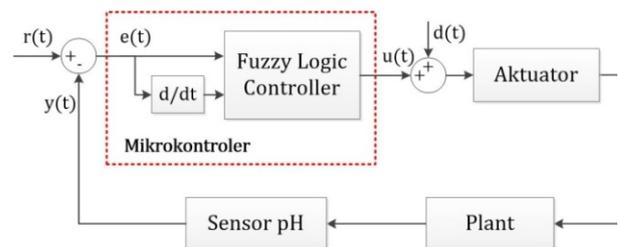
II. METODE PENELITIAN

A. Sistem hidroponik deep flow technique (DFT)

Rancangan modul hidroponik DFT ditunjukkan pada Gambar 1. Rancangan tersebut mempunyai talang



Gambar 1. Sistem hidroponik DFT



Gambar 2. Diagram blok sistem kendali pH

nutrisi, tandon nutrisi, dan net pot. Talang nutrisi terbuat dari plastik *Polyvinyl Chloride* (PVC) berdiameter 3 inch atau 7,62 cm. Talang tersebut ditempatkan pada arah horizontal sebanyak 4 buah dengan masing-masing panjang 180 cm.

Pada setiap talang, diberikan lubang dengan diameter 4 cm untuk penempatan tanaman. Jarak antar pot di talang sebesar 10 cm. Tandon nutrisi dibuat dengan kotak penampung dengan kapasitas 30 liter air. Di dalamnya terdapat sebuah pompa air mini yang berdaya 38 Watt. Sistem pengendalian yang dirancang akan ditempatkan di antara tangki nutrisi dan talang pertumbuhan tanaman hidroponik.

B. Fuzzy logic controller (FLC)

FLC dirancang untuk menjaga pH pada larutan nutrisi supaya tetap berada pada nilai yang ditentukan. Diagram blok pengendalian pH ditunjukkan pada Gambar 2.

Data masukan yang digunakan adalah nilai kesalahan pH dan perubahannya yang diperoleh dari fungsi waktu dalam Persamaan 1 dan Persamaan 2. Sinyal $e(t)$ dan $de(t)$ menyatakan nilai kesalahan dan perubahannya saat ini. Sinyal $r(t)$ menyatakan nilai referensi saat ini, $y(t)$ nilai keluaran saat ini, dan $e(t-1)$ nilai kesalahan sebelumnya. Data keluaran $u(t)$ yang dihasilkan oleh FLC ini adalah berupa durasi pemberian cairan pH naik dan pH turun yang diaktusasi oleh pompa peristaltik. Pada bagian data keluaran terdapat sinyal tambahan $d(t)$ yang merepresentasikan sinyal gangguan dalam bentuk interferensi pH dari lingkungan eksternal,

seperti air hujan, pencemaran, dan kontaminasi lainnya. Kadar pH hasil pemberian cairan pH tersebut kemudian dideteksi oleh sensor pH dan diumpan-balikkan ke bagian pengendali untuk kembali mendeteksi nilai kesalahan dan perubahannya. Proses ini akan terus menerus terjadi hingga nilai kesalahan masuk ke dalam batas toleransi.

$$e(t) = r(t) - y(t) \quad (1)$$

$$de(t) = e(t) - e(t-1) \quad (2)$$

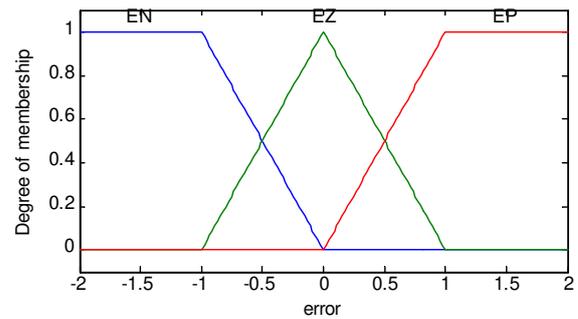
Dalam merancang sistem FLC, hal pertama yang dilakukan adalah membuat fungsi keanggotaan untuk setiap variabel masukan dan keluaran. Fungsi keanggotaan untuk masukan kesalahan dan perubahannya ditunjukkan pada Gambar 3 dan Gambar 4. Kedua fungsi keanggotaan tersebut dibuat sama dengan jumlah himpunan sebanyak tiga buah, yaitu EN (*Error Negatif*), EZ (*Error Zero*), dan EP (*Error Positif*) untuk fungsi keanggotaan kesalahan, sedangkan untuk fungsi keanggotaan perubahan kesalahan juga dibuat dalam tiga buah himpunan, yaitu dEN (*delta Error Negatif*), dEZ (*delta Error Zero*), dan dEP (*delta Error Positif*). Kedua variabel masukan ini masing-masing diatur dengan rentang nilai -2 sampai dengan 2 menggunakan jenis himpunan segitiga dan trapezoidal.

Tipe FLC yang digunakan pada sistem ini adalah Mamdani. Pada tipe Mamdani, fungsi keanggotaan variabel keluaran adalah berupa nilai fuzzy, yang berbeda dengan tipe Sugeno yang menggunakan nilai tegas. Fungsi keanggotaan variabel keluaran ditunjukkan pada Gambar 5. Fungsi keanggotaan tersebut terdiri dari dua buah himpunan setengah segitiga dengan nama D (*Down*) yang artinya pH turun dan U (*Up*) yang artinya pH naik dengan rentang nilai dari -500 sampai dengan 500.

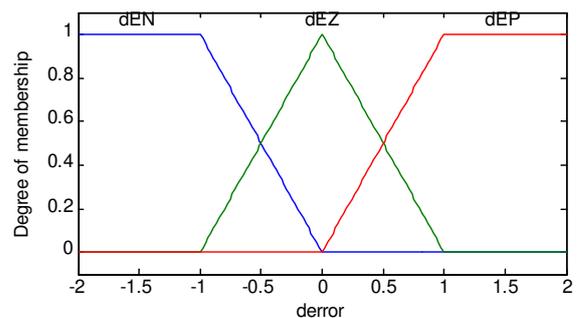
Kedua fungsi keanggotaan masukan digunakan pada tahap fuzzifikasi. Tahap fuzzifikasi tersebut bertujuan untuk mengubah variabel yang bersifat tegas (*crisp*) menjadi variabel yang bersifat samar (*fuzzy*). Pada tahap ini, nilai tegas dari kesalahan pH dan perubahannya diubah menjadi variabel linguistik sesuai ketiga himpunan pada masing-masing fungsi keanggotaan yang memiliki derajat keanggotaan.

Setelah fungsi keanggotaan untuk masing-masing variabel masukan dan keluaran ditentukan, ditetapkan basis aturan *if then* seperti ditunjukkan pada Tabel 1. Basis aturan ini akan dijadikan dasar pada tahap mekanisme inferensi dengan aturan *min-max*. Nilai fuzzy hasil fuzzifikasi yang telah diperoleh pada tahap sebelumnya diolah pada tahap ini untuk mendapatkan nilai keluaran durasi berdasarkan basis aturan.

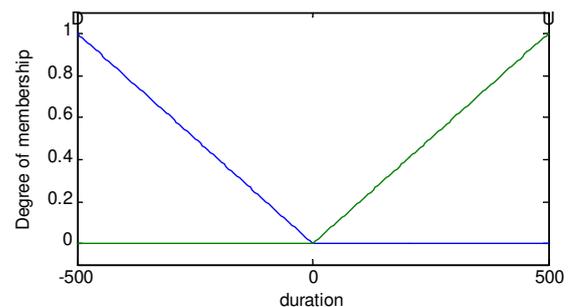
Pada basis aturan tersebut, terdapat 9 kemungkinan kondisi, dengan 3 di antaranya tidak memiliki aksi atau pengendalian tidak aktif. Ketiga kondisi tersebut, yaitu terjadi saat nilai kesalahan EN dan perubahannya dEP, nilai kesalahan EZ dan perubahannya dEZ, dan nilai kesalahan EP dan perubahannya dEN. Pada kondisi pertama, nilai EN terjadi ketika keluaran pH lebih besar dari nilai referensi yang ditentukan, sedangkan ketika



Gambar 3. Fungsi keanggotaan kesalahan



Gambar 4. Fungsi keanggotaan perubahan kesalahan



Gambar 5. Fungsi keanggotaan durasi

Tabel 1. Basis aturan FLC yang digunakan

e/de	EN	EZ	EP
dEN	D	D	-
dEZ	D	-	U
dEP	-	U	U

perubahannya dEP maka keluaran tersebut memiliki tren yang menurun. Dengan demikian aksi kendali tidak diperlukan karena pH akan menuju nilai referensi dengan sendirinya. Pada kondisi kedua, nilai kesalahan EZ terjadi ketika keluaran pH sama dengan atau berada pada nilai toleransi referensi yang ditentukan, sedangkan perubahannya dEZ berarti nilai pH tersebut konstan. Dengan demikian aksi kendali pun juga tidak diperlukan. Kondisi ketiga merupakan kebalikan dari kondisi pertama dimana nilai EP terjadi ketika keluaran pH lebih kecil dari nilai referensi, sedangkan perubahannya

memiliki tren naik. Dengan demikian, aksi kendali juga tidak diperlukan karena nilai pH akan menuju referensi dengan sendirinya.

Untuk kondisi lainnya, terdapat aksi kendali pH turun (D) dan pH naik sesuai kondisi kesalahan dan perubahan kesalahan lainnya. Hubungan antara masing-masing variabel ditunjukkan dengan fungsi permukaan (*surface*) seperti ditampilkan pada Gambar 6.

Tahap terakhir dalam algoritma logika *fuzzy* adalah defuzzifikasi dimana variabel *fuzzy* yang diolah pada tahap mekanisme inferensi diubah kembali menjadi nilai tegas. Penelitian ini menggunakan metode *centroid of area* untuk menentukan nilai tegas dengan menggunakan Persamaan 3 dengan z adalah nilai keluaran tegas, x_i adalah nilai tegas masukan ke- i , dan $\mu(x_i)$ derajat keanggotaan untuk setiap nilai tegas masukan ke- i .

$$z = \frac{\sum x_i \cdot \mu(x_i)}{\sum \mu(x_i)} \quad (3)$$

C. Perangkat keras

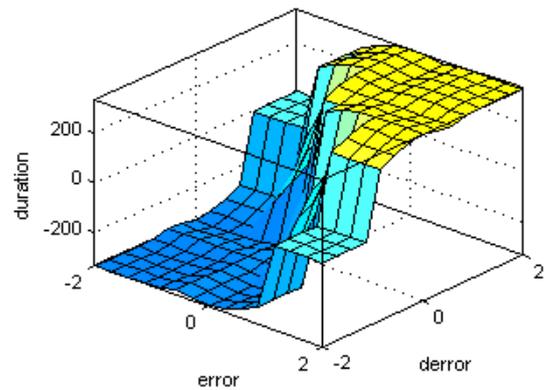
Pengendalian pH diimplementasikan ke dalam bentuk perangkat keras berbasis mikrokontroler. Blok diagram dari perangkat keras pengendali ini ditunjukkan pada Gambar 7 dan skematik rangkaiannya pada Gambar 8. Perangkat pengendali terdiri dari sensor pH SK SEN0161 yang memiliki akurasi pengukuran pH $\pm 0,1$ pada suhu 25 °C berdasarkan *datasheet*. Mikrokontroler Arduino Mega 2560 digunakan sebagai perangkat kendali utama dimana metode FLC ditanamkan. Mikrokontroler ini memiliki kecepatan komputasi sebesar 16 MHz berdasarkan *datasheet*. Pada bagian keluaran terdapat dua buah modul relay yang berfungsi untuk mengaktifkan pompa peristaltik pH naik maupun pH turun sesuai dengan hasil komputasi FLC. Lamanya durasi penyalan relay ini diatur menggunakan modul *Real Time Clock* (RTC).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

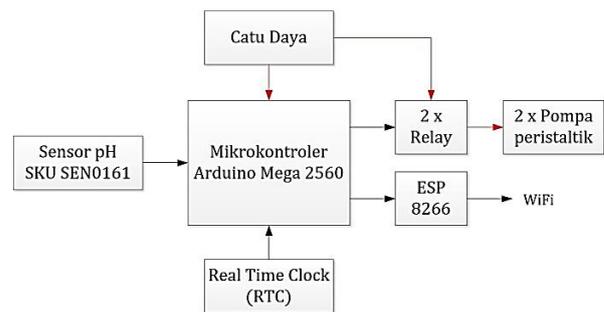
Implementasi perangkat keras pengendali ditunjukkan pada Gambar 9. Alat yang telah dirancang dibuat dalam bentuk kotak hitam yang di dalamnya terdapat mikrokontroler Arduino Mega 2560 yang telah ditanamkan FLC. Pada bagian pengendali juga terdapat modul sensor pH, modul relay, dan layar LCD sebagai penampil data.

A. Pengujian sensor pH

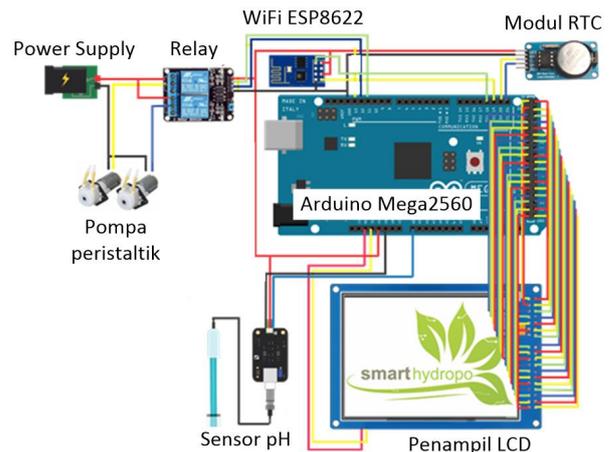
Pengujian sistem sensor diperlukan untuk mengetahui akurasi dari sensor yang digunakan. Pengujian sensor pH SKU SEN0161 dilakukan dengan cara membandingkan nilai sensor tersebut dengan alat pH meter. Perbandingan data dilakukan untuk mengetahui akurasi sensor serta untuk kebutuhan penyesuaian data (kalibrasi) dalam pembacaan nilai pH. Dalam pengujian sensor pH SKU SEN0161, terdapat nilai kesalahan yang berfungsi sebagai informasi tingkat



Gambar 6. Diagram permukaan hubungan antara fungsi keanggotaan



Gambar 7. Perangkat keras pengendali



Gambar 8. Skematik perangkat pengendali

keakuratan sensor terhadap alat pembanding pH meter. Persamaan 4 digunakan untuk menghitung persentase kesalahan tersebut dengan X_{sensor} adalah data pH sensor dan X_{tester} adalah data pH dari pH meter.

$$\%error = \frac{(X_{sensor} - X_{tester})}{X_{tester}} \times 100\% \quad (4)$$

Hasil pengujian akurasi menggunakan empat jenis larutan dinyatakan pada Tabel 2. Hasil tersebut menunjukkan bahwa terdapat selisih nilai pada pengukuran pH oleh sensor pH SKU SEN0161 dengan pH meter. Nilai kesalahan terbesar terjadi pada pengujian

cuka dengan persentase sebesar 34 % dan nilai kesalahan terendah terjadi pada pengukuran pH air sumur sebesar 0,34 %. Semakin kecil nilai pH, kesalahan yang dihasilkan semakin besar. Hal ini terjadi karena ketika nilai pH semakin kecil, tegangan keluaran yang dihasilkan modul sensor pH semakin kecil, sehingga hasil pengukuran menjadi kurang akurat saat dibaca oleh mikrokontroler. Hal ini dapat diatasi dengan menambahkan pengkondisi sinyal yang mampu meningkatkan resolusi pembacaan sensor atau menggunakan mikrokontroler yang memiliki resolusi *Analog to Digital Converter* (ADC) lebih tinggi.

B. Pengujian sistem FLC

Pada tahap ini sistem FLC yang dirancang akan diuji dengan tujuan untuk mengetahui kinerja pengendalian yang dihasilkan. Referensi pengujian ditetapkan dengan rentang nilai pH 6,5 sampai dengan 7,5. Nilai referensi berupa rentang nilai ini ditentukan karena menyesuaikan karakteristik aktuator yang bersifat ON/OFF dan sifat perubahan pH yang relatif lama. Jika ditetapkan nilai referensi berupa satu nilai, maka akan terjadi fenomena *chattering* pada saat nilai keluaran berada pada nilai referensi.

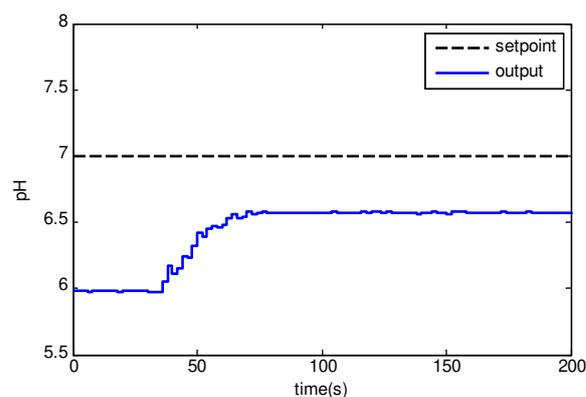
Pengujian dilakukan dengan dua skenario pengujian. Skenario pertama melakukan pengujian untuk mengetahui respon pH ketika berada di luar referensi. Larutan terlebih dahulu diatur supaya menghasilkan pH awal sebesar 5,9. Setelah terdeteksi pH awal, sistem kendali diaktifkan. Respons pH pada pengujian pertama ini diperlihatkan pada Gambar 10. Berdasarkan hasil pengujian tersebut, nilai pH awalnya sudah mengalami keadaan tunak di luar referensi pada nilai 5,9. Pada detik ke-35 pengendali FLC diaktifkan dan sistem mulai memberikan respons. Pada detik ke-80 respons sistem sudah ada dalam kondisi tunak dengan nilai pH sekitar 6,42. Dengan pengendali yang dirancang, nilai pH mampu menuju rentang referensi dengan *settling time* sebesar 45 detik.

Pengujian kedua dilakukan untuk mengetahui respons pH saat diberi gangguan. Nilai pH terlebih dahulu diatur agar berada pada rentang referensi. Pada kondisi ini, pengendali tidak akan aktif karena tidak mendeteksi adanya kesalahan. Larutan kemudian diberikan gangguan berupa pemberian cairan basa untuk menurunkan kadar pH. Pengendalian yang dirancang harus mampu mengembalikan nilai pH pada rentang referensi saat terjadi gangguan tersebut.

Hasil pengujian skenario kedua ini dinyatakan pada Gambar 11. Berdasarkan hasil pengujian, terlihat bahwa nilai awal pH sebesar 7,3 masih ada dalam batas toleransi. Pada detik ke-49 terdapat penurunan pH yang cukup drastis akibat gangguan yang diberikan. Namun, pada detik ke-65 nilai pH tersebut kembali naik karena respons dari FLC yang dirancang. Pada detik ke-95, respons sistem kembali mengalami keadaan tunak dengan nilai pembacaan pH sekitar 6,25. Respons pengendalian terhadap gangguan mampu mengembalikan nilai pH dengan *settling time* sebesar 30 detik.



Gambar 9. Implementasi perangkat keras pengendali



Gambar 10. Pengujian respons pH dengan nilai awal di luar referensi

Tabel 2. Hasil pengujian sensor pH

Skenario pengujian	Nilai pH		Selisih	Galat (%)
	Sensor	pH meter		
Air sumur	5,82	5,8	0,02	0,34
Air cuka	1,50	2,3	0,80	34
Nutrisi	3,41	3,7	0,29	7,83
Air deterjen cair	10,43	10,5	0,07	0,66

C. Pengujian sistem IoT

Sistem IoT diuji untuk mengetahui apakah data pH pada sistem hidroponik DFT dapat dikirim dan ditampilkan pada antarmuka situs web. Tampilan web untuk sistem monitoring pH ini terdiri dari halaman

login, halaman dashboard (Gambar 12), dan halaman grafik (Gambar 13). Untuk memantau sistem, pengguna harus melakukan login dengan memasukkan nama dan kata kuncinya. Dashboard menampilkan rangkuman nilai pH, galat pH, dan nilai defuzzifikasi dan menyediakan tombol yang bisa di-klik untuk menampilkan detail nilai yang dikehendaki berupa grafik.

D. Diskusi

Pengendalian pH pada sistem hidroponik telah dikembangkan oleh beberapa penelitian sebelumnya dengan beberapa metode kendali. Secara umum, metode kendali apapun mampu digunakan untuk menjaga pH agar tetap dalam kondisi stabil dan mampu bertahan terhadap gangguan eksternal. Kajian ini telah menghasilkan sistem kendali pH yang dapat menjaga pH agar tetap berada pada jangkauan yang ditentukan. Pengendalian secara *closed-loop* dalam kajian ini memiliki keunggulan jika dibandingkan dengan *open-loop*, seperti pada [8] dan [9], karena parameter yang dikendalikan akan mencapai nilai sesuai dengan *setpoint* akibat adanya umpan balik.

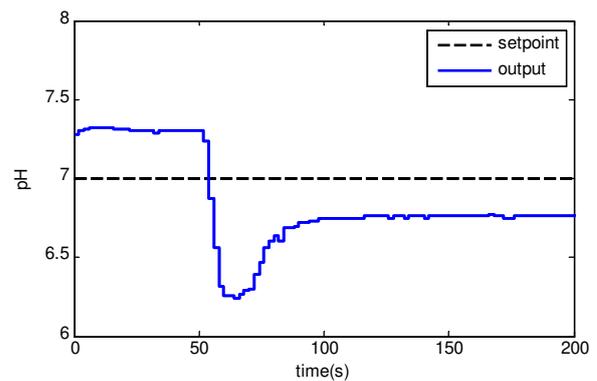
Kajian ini menghasilkan *settling time* sebesar 45 detik tanpa gangguan dan 30 detik dengan gangguan. Hasil ini lebih lama jika dibandingkan dengan [10] untuk hidroponik NFT yang menghasilkan *settling time* kurang dari 6 detik. Sebaliknya, *settling time* yang diperoleh kajian ini masih lebih cepat jika dibandingkan dengan [11] yang menghasilkan *settling time* sekitar 100 detik dan [12] yang menghasilkan sekitar 400 detik. Perbedaan hasil ini terjadi karena beberapa faktor, seperti metode inferensi yang digunakan (Mamdani dan Sugeno), jumlah fungsi keanggotaan, dan jenis aktuator yang digunakan. Namun, pada kajian ini konsep teknologi IoT telah ditambahkan, seperti pada [18]-[20] yang mengintegrasikan FLC dengan IoT.

IV. KESIMPULAN

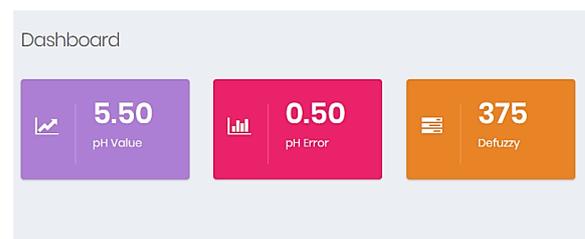
Sistem kendali pH larutan nutrisi pada budidaya hidroponik DFT dengan metode FLC telah berhasil dirancang dan diimplementasikan. Sistem pengendalian juga diintegrasikan dengan teknologi IoT untuk memudahkan pemantauan pH. FLC mampu menjaga kestabilan pH pada rentang 6,5-7,5 dengan *settling time* kurang dari 40 detik tanpa gangguan dan 30 detik dengan gangguan. Nilai pH juga berhasil ditampilkan pada antarmuka situs web untuk memudahkan pengguna dalam memantau kondisi pH larutan. Penelitian selanjutnya diperlukan untuk dapat mengendalikan parameter lainnya seperti kekeruhan larutan, EC, dan suhu dengan pengembangan metode kendali FLC.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. E. Son, H. J. Kim, and T. I. Ahn, *Hydroponic systems*, Plant factory: Academic Press, 2020, pp. 273-283. doi: [10.1016/B978-0-12-816691-8.00020-0](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816691-8.00020-0)
- [2] Pengaruh ph pada tanaman dan nutrisi. [Online]. Available: <https://hidroponiq.com/2015/05/ph->



Gambar 11. Pengujian respons pH dengan gangguan



Gambar 12. Tampilan halaman dashboard



Gambar 13. Tampilan halaman grafik

[swing-dampak-dan-penyebabnya/](#). [Accessed: 14 August. 2019].

- [3] M. Fakhruzzaini and H. Aprilianto, "Sistem otomatisasi pengontrolan volume dan pH air pada hidroponik," *Jutisi: Jurnal Ilmiah Teknik Informatika dan Sistem Informasi*, vol. 6, no.1, pp. 1335-1344, 2017.
- [4] F. F. Dzikriansyah, R. Hudaya, and C. W. Nurhaeti, "Sistem Kendali Berbasis PID untuk Nutrisi Tanaman Hidroponik," in *Industrial Research Workshop and National Seminar*, Bandung, Indonesia, Aug. 2017, pp. 621-626.
- [5] I. Puspasari, Y. Triwidyastuti, and H. Harianto, "Otomasi sistem hidroponik wick terintegrasi pada pembibitan tomat ceri," *Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi (JNTETI)*, vol. 7, no. 1, pp.97-104, 2018. doi: [10.22146/jnteti.v7i1.406](https://doi.org/10.22146/jnteti.v7i1.406)
- [6] F. Hadiatna, A. Dzulfahmi, and D. Nataliana, "Analisis penerapan kendali otomatis berbasis PID terhadap pH larutan," *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik*

- Elektronika*, vol. 8, no. 1, pp. 163-177, 2020. doi: [10.26760/elkomika.v8i1.163](https://doi.org/10.26760/elkomika.v8i1.163)
- [7] I. Kustanti, M. A. Muslim, and E. Yudaningsy, "Pengendalian kadar keasaman (pH) pada sistem hidroponik stroberi menggunakan kontroler PID berbasis Arduino Uno," *Jurnal Mahasiswa TEUB*, vol. 2, no. 1, pp. 1-6, 2014.
- [8] F. D. Hartarto, "Rancang Bangun Monitoring Dan Kontrol Pertumbuhan Tanaman Pada Sistem Hidroponik DFT Menggunakan Metode Fuzzy Logic," *Tugas Akhir Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya*, 2019.
- [9] S. Sembiring, A. Rifai, S. Sutarno, and P. A. K. Tarigan, "Perancangan sistem pengatur pH air akuarium menggunakan kendali logika fuzzy," *Informatik: Jurnal Ilmu Komputer*, vol. 16, no. 1, pp. 13-24, 2020.
- [10] D. Pancawati, and A. Yulianto, "Implementasi fuzzy logic controller untuk mengatur pH nutrisi pada sistem hidroponik Nutrient Film Technique (NFT)," *Jurnal Nasional Teknik Elektro*, vol. 5, no. 2, pp. 278-289, 2016. doi: [10.25077/jnte.v5n2.284.2016](https://doi.org/10.25077/jnte.v5n2.284.2016)
- [11] A. Y. H. Putra and W. S. Pambudi, "Sistem kontrol otomatis pH larutan nutrisi tanaman bayam pada hidroponik NFT (nutrient film technique)," *Jurnal Mikrotek*, vol. 2, no. 4, pp. 11-20, 2017.
- [12] M. Muhtar and Z. Huda, "Desain kontrol sistem telemetri pH larutan nutrisi hidroponik berbasis fuzzy logic," *IJEIS (Indonesian Journal of Electronics and Instrumentation Systems)*, vol. 9, no. 2, pp. 151-160, 2019. doi: [10.22146/ijeis.49198](https://doi.org/10.22146/ijeis.49198)
- [13] F. Rahmah, F. Hidayanti, and M. Innah, "Penerapan smart sensor untuk kendali pH dan level larutan nutrisi pada sistem hidroponik tanaman pakcoy," *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer (JTIIK)*, vol. 6, no. 5, pp. 527-534, 2019. doi: [10.25126/jtiik.2019651738](https://doi.org/10.25126/jtiik.2019651738)
- [14] H. Helmy, A. Rahmawati, S. Ramadhan, T. A. Setyawan, and A. Nursyahid, "Pemantauan dan pengendalian kepekatan larutan nutrisi hidroponik berbasis jaringan sensor nirkabel," *Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi (JNTETI)*, vol. 7, no. 4, pp. 391-396, 2018. doi: [10.22146/jnteti.v7i4.456](https://doi.org/10.22146/jnteti.v7i4.456)
- [15] M. A. Nahdi, T. Y. Putro, and Y. Sudarsa, "Sistem pemantauan dan kendali suhu nutrisi tanaman hidroponik berbasis IoT," in *Industrial Research Workshop and National Seminar*, Bandung, Indonesia, Aug. 2019, pp. 201-207.
- [16] T. A. Zuraiyah, M. I. Suriansyah, and A. P. Akbar, "Smart urban farming berbasis internet of things (IoT)," *Information Management For Educators and Professionals: Journal of Information Management*, vol. 3, no. 2, pp. 139-150, 2019.
- [17] A. Heryanto, J. Budiarto, and S. Hadi, "Sistem nutrisi tanaman hidroponik berbasis internet of things menggunakan NodeMCU ESP8266," *Jurnal Bumigora Information Technology (BITE)*, vol. 2, no. 1, pp. 31-39, 2020.
- [18] A. J. Kuswinda and I. W. A. Arimbawa, "Implementasi IoT cerdas berbasis inference fuzzy Tsukamoto pada pemantauan kadar pH dan ketinggian air dalam akuaponik," *Journal of Computer Science and Informatics Engineering (J-Cosine)*, vol. 3, no. 1, pp. 65-74, 2019. doi: [10.29303/jcosine.v3i1.245](https://doi.org/10.29303/jcosine.v3i1.245)
- [19] D. Yolanda, H. Hindersah, F. Hadiatna, and M. A. Triawan, "Implementation of real-time fuzzy logic control for NFT-based hydroponic system on Internet of Things environment," in *6th International Conference on System Engineering and Technology*, Bandung, Indonesia, Oct. 2016, pp. 153-159. doi: [10.1109/ICSEngT.2016.7849641](https://doi.org/10.1109/ICSEngT.2016.7849641)
- [20] P. Musa, H. Sugeru, and H. F. Mufza, "An intelligent applied fuzzy logic to prediction the parts per million (PPM) as hydroponic nutrition on the based Internet of Things (IoT)," in *Fourth International Conference on Informatics and Computing*, Semarang, Indonesia, Oct. 2019, pp. 1-7. doi: [10.1109/ICIC47613.2019.8985712](https://doi.org/10.1109/ICIC47613.2019.8985712)