

Sistem Kontrol Nutrisi untuk Tanaman Sayur Buah Hidroponik Berbasis Fuzzy Logic

Dani Ardiyansyah, Richa Watiasih, Adiananda

Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Bhayangkara Surabaya
ardiayansyah1093@gmail.com, richa@ubhara.ac.id, adiananda@ubhara.ac.id

Abstract - Hydroponic cultivation is very popular with farmers. The hydroponic system uses water that contains nutrients. Factors that influence nutrient water are water temperature, electrical conductivity (EC) value, and hydrogen potential (pH). However, hydroponic farmers still control the concentration of nutrient solutions manually. If the level of nutrients needed is not appropriate, the plant will die or there is a problem in its growth. In this research, the researcher designed and made a nutritional control system for hydroponic fruit plants based on fuzzy logic. This system consists of a TDS sensor, a level switch sensor, RTC DS3231, Arduino Mega 2560, an aquatic pump, and an aerator. The results of measurements on this tool are processed into information that can be used to determine the condition of the plant PPM values that will be displayed on the LCD. Based on the test results of a nutrition control system based on fuzzy logic using cherry tomato plants, the results obtained that the sensor meets the criteria, namely fast and relatively stable time. Proven by testing using water 7 liter the average time required to achieve dissolved salt levels from 191 to 650 without the fuzzy logic method is 42.33 seconds while using the fuzzy logic method is 35.66 seconds. Not only that, on the last day observations of plant growth using fuzzy logic methods 29 cm higher than without using the method.

Keywords — hydroponics, nutritional control, fuzzy logic, fruit vegetables, arduino

Abstrak— Budidaya tanaman dengan metode hidroponik sangat populer saat ini. Sistem hidroponik menggunakan air yang mengandung nutrisi. Faktor yang mempengaruhi air nutrisi adalah suhu air, nilai electrical conductivity (EC), dan potensial hidrogen (pH). Namun, petani hidroponik masih melakukan pengendalian konsentrasi larutan nutrisi dengan cara manual. Apabila tingkat nutrisi yang dibutuhkan tidak sesuai, maka tanaman akan mati ataupun terjadi masalah pada pertumbuhannya. Pada penelitian ini peneliti merancang dan membuat alat sistem kontrol nutrisi untuk tanaman sayur buah hidroponik berbasis fuzzy logic. Sistem ini terdiri sensor TDS, sensor level switch, RTC DS3231, Arduino Mega 2560, akuator pompa air dan aerator. Hasil dari pengukuran pada alat ini diolah menjadi informasi yang dapat digunakan untuk mengetahui kondisi nilai kadar garam terlarut tanaman yang akan ditampilkan pada LCD. Berdasarkan hasil pengujian sistem kontrol nutrisi berbasis fuzzy logic pada tanaman tomat ceri diperoleh hasil bahwa sensor memenuhi kriteria yaitu waktunya cepat dan relatif stabil. Dibuktikan dengan pengujian menggunakan air 7 liter rerata waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kadar garam terlarut dari 191 ke 650 tanpa metode fuzzy logic adalah 42,33 detik sedangkan dengan menggunakan

metode fuzzy logic adalah 35,66 detik. Tidak hanya itu pada pengamatan hari terakhir pertumbuhan tanaman menggunakan metode fuzzy logic lebih tinggi 29 cm daripada tanpa menggunakan metode.

Kata Kunci— Hidroponik, Kontrol Nutrisi, Fuzzy Logic, Sayur Buah, Arduino

I. PENDAHULUAN

Kelebihan sistem hidroponik dibandingkan dengan media tanah adalah kebersihan yang mudah terjaga, tidak memerlukan pengolahan tanah, penggunaan pupuk dan air yang lebih efisien, tidak tergantung musim, tingkat produktivitas dan kualitas yang tinggi dan seragam, tanaman dapat dikontrol dengan baik, dapat diusahakan di tempat yang tidak terlalu luas [1].

Sistem hidroponik memerlukan pengendalian terhadap konsentrasi larutan nutrisi agar konsentrasi larutan nutrisi tersebut sesuai dengan kebutuhan nutrisi tanaman [2]. Apabila tingkat nutrisi yang dibutuhkan tidak sesuai, maka tanaman dapat mati secara serentak ataupun terjadi masalah pada pertumbuhannya.

Penggunaan alat untuk pengontrolan pada sirkulasi air nutrisi dibutuhkan untuk memudahkan petani hidroponik untuk mengetahui kondisi pH air dan nilai ppm (Part per Million) yaitu nilai kepekatan larutan nutrisi [3]. Tujuan dari pengukuran kepekatan larutan nutrisi hidroponik diperlukan untuk menyesuaikan kebutuhan nutrisi sesuai dengan fase pertumbuhan tanaman. Penambahan atau peningkatan ppm nutrisi yang diberikan disesuaikan dengan umur tanaman [4].

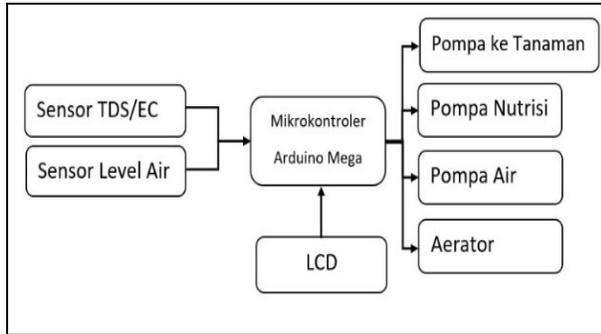
Beberapa penelitian hidroponik dengan menerapkan system control secara konvensional [5] dan secara cerdas berbasis fuzzy logic [6] [7] dan berbasis neural network [8] [9] [10] telah dihasilkan dengan parameter jenis tanaman yang berbeda-beda. Sehingga kondisi larutan nutrisi dapat dikontrol dengan otomatis.

Penelitian ini telah menerapkan metode fuzzy logic sebagai kontroler nutrisi pada hidroponik tanaman sayur buah yaitu tanaman tomat ceri. Dengan menggunakan kontrol cerdas ini diharapkan dapat mempercepat proses pertumbuhan tanaman dan efisiensi waktu dalam pengisian larutan nutrisi sesuai dengan nilai ppm yang diharapkan pada system hidroponik untuk tanaman sayur buah tomat ceri.

II. METODE PENELITIAN

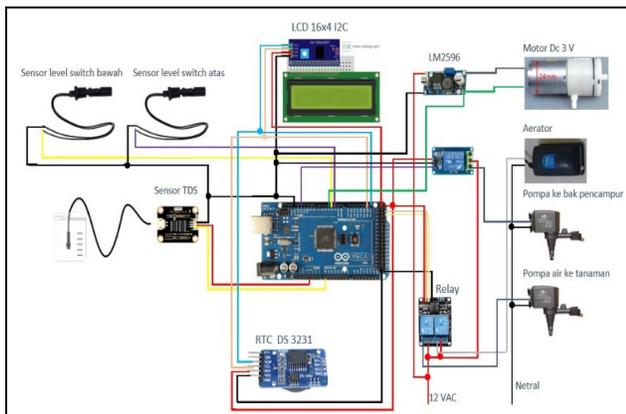
A. Perancangan Hardware

Perancangan hardware terdiri atas Sensor TDS/ec, water level float, mikrokontroler, pompa dan LCD seperti yang ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Blok Diagram perancangan Hardware

Berdasarkan perancangan masing-masing hardware yang telah dibuat, maka dapat digambarkan perancangan diagram wiring hardware dari keseluruhan sistem yang digunakan pada tugas akhir ini. Diagram wiring hardware keseluruhan dapat dijelaskan pada gambar 2.



Gambar 2. Wiring Perancangan Diagram Panel

Sensor TDS/EC menggunakan metode *Electrical Conductivity* yang dihubungkan dengan arduino dimana probe dicelupkan ke cairan atau larutan kemudian dengan rangkaian pengkondisi sinyal akan menghasilkan output yang menunjukkan jumlah kadar garam terlarut dalam part per million (ppm) atau sama dengan milligram per liter (mg/L).

Sensor *Float Level Switch* berfungsi sebagai pendeteksi tinggi permukaan air secara otomatis pada reservoir. Pada penelitian ini menggunakan 2 (dua) sensor yaitu sensor level switch bawah dan sensor level switch atas. Kedua sensor tersebut dipasang untuk menyalakan pompa air apabila permukaan air tidak sesuai dengan batas bawah yang

ditentukan dan pompa air akan mati apabila permukaan air sudah sesuai dengan batas atas yang ditentukan.

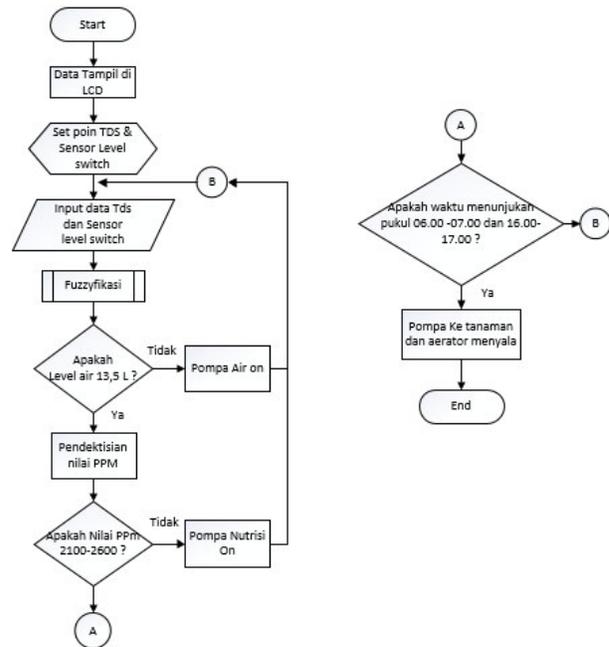
Liquid Crystal Display (LCD) dalam penelitian ini berfungsi untuk menampilkan hasil pembacaan pada sensor TDS/EC, sensor *Float Level Switch* dan berbagai data yang diinput pada Arduino.

Pompa air yang digunakan pada penelitian ini menggunakan 2 (dua) buah pompa Aquarium 12 VDC. Satu pompa digunakan untuk mengalirkan air nutrisi dari reservoir ke tanaman dan pompa lainnya digunakan untuk mengalirkan air dari tandon air ke reservoir.

Aerator pada penelitian ini berfungsi untuk menambahkan lebih banyak oksigen terlarut dalam air sehingga dapat dimanfaatkan oleh tanaman. Dimana rangkaian driver aerator ini terhubung dengan 5 VDC Arduino.

B. Perancangan Software

Perancangan software dari sistem kontrol nutrisi ini berupa Flowchart program secara keseluruhan seperti yang ditunjukkan pada gambar 7.



Gambar 3. Flowchart Sistem Keseluruhan

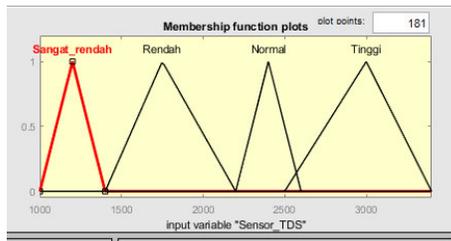
Berdasarkan gambar 3 dapat dijelaskan algoritma dari sistem secara keseluruhan yaitu: Pada sesaat setelah menyala, mula-mula nilai ppm, hari tanggal dan tanggal ditampilkan pada LCD. Selanjutnya sensor TDS dan sensor level switch akan membaca nilai ppm dan ketinggian air untuk mengetahui apakah sudah sesuai set point yang ditentukan. Jika belum metode Fuzzy akan mengolah data nilai ppm dan tinggi air yang sudah ditentukan untuk mengendalikan pompa nutrisi dan pompa air. Apabila volume air di 13,5 liter maka pompa air akan mati dan apabila dibawah maka pompa akan menyala,

begitu pula dengan nilai ppm, jika dibawah 2100 ppm pompa nutrisi akan menyala dan apabila sudah mencapai ppm yang diinginkan pompa nutrisi akan mati. Setelah level air dan nilai ppm sesuai, maka pompa dan aerator pada bak penampung akan menyala mengalirkan air di bak penampungan ke tanaman serta aerator akan mengeluarkan gelembung untuk mencampur air dan nutrisi di bak penampungan.

C. Sistem Kontrol Nutrisi Berbasis Fuzzy logic

Perancangan sistem kontrol nutrisi ini dilakukan dengan tujuan agar pemberian kandungan nutrisi dapat lebih optimal dan mengurangi kesalahan pemberian nutrisi, sehingga dapat meningkatkan pertumbuhan sayur buah tomat ceri secara optimal.

Rancangan sistem kontrol nutrisi berbasis fuzzy logic ini terdiri dari Proses fuzzifikasi, rule base, dan defuzzifikasi. Proses Fuzzifikasi terdiri dari 2 input yaitu nilai TDS dan level larutan nutrisi. Sedangkan output fuzzy berupa: aktivasi pompa nutria dan aktivasi pompa air.

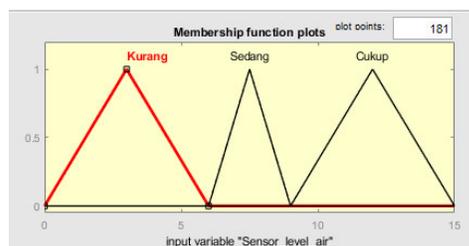


Gambar 4. Membership function input TDS

Pada gambar 4 merupakan membership function untuk input nilai sensor TDS yang terdiri dari 4 triangular membership function yaitu Sangat Rendah, Rendah, Normal dan Tinggi. Untuk data nilai ppm dan kategori nilai ppm dijelaskan pada table 1.

Tabel 1. Fuzzifikasi untuk input nilai sensor TDS.

Tingkatan Fuzzy	Kategori PPM
1000 – 1400 ppm	Sangat rendah
1400 – 2100 ppm	Rendah
2100 – 2600 ppm	Normal
2500 – 3400 ppm	Tinggi

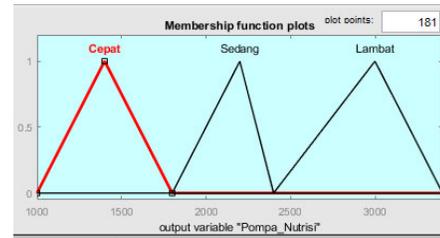


Gambar 5. Membership function untuk input level air

Pada gambar 5 mengilustrasikan membership function untuk input level air yang terdiri dari 3 triangular membership function yaitu: Kurang, Sedang, dan Penuh. Sedangkan data nilai level larutan nutrisi ditunjukkan pada table 2.

Tabel 2. Fuzzifikasi untuk input level air

Tingkatan Fuzzy	Kategori larutan nutrisi
0 – 6 liter	Kurang
6 – 9 liter	Sedang
9 – 15 liter	Penuh

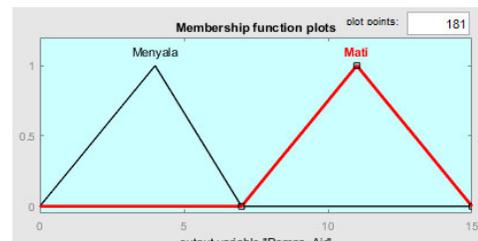


Gambar 6. Membership function output Pompa Nutrisi

Pada gambar 6 mengilustrasikan membership function untuk output aktivasi pompa nutrisi yang terdiri dari 3 triangular membership function yaitu: Cepat, Sedang, dan Lambat. Data nilai pada membership function untuk output aktivasi pompa nutrisi seperti yang ditunjukkan pada tabel 3.

Tabel 3. Fuzzifikasi untuk output aktivasi Pompa Nutrisi

Tingkatan Fuzzy	Kategori Pompa
1000 – 1800	Cepat
1800 - 2400	Sedang
2400 - 3400	Lambat



Gambar 7. Membership function untuk output aktivasi Pompa Air

Gambar 7 merupakan membership function untuk output aktivasi pompa nutrisi yang terdiri dari 2 triangular membership function yaitu Menyala dan Mati.

Tabel 3. Fuzzyfikasi untuk output aktivasi Pompa air

Tingkatan Fuzzy	Kondisi Pompa
0 - 8	Menyala
8 - 15	Mati

Setelah fuzzifikasi dihasilkan, maka langkah selanjutnya adalah membuat dapat dibuat *Rule base* sebagai aturan fuzzy berdasarkan 2 input fuzzy dan 2 output fuzzy seperti ditunjukkan pada tabel 5.

Tabel 5. Rule base

Nilai TDS	Level air		
	Kurang	Sedang	Penuh
Sangat Rendah	Cepat Menyala	Cepat Menyala	Cepat Mati
Rendah	Sedang Menyala	Cepat Menyala	Sedang Mati
Normal	Lambat Menyala	Lambat Menyala	Lambat Mati
Tinggi	Lambat Menyala	Lambat Mati	Lambat Mati

Berdasarkan table 5 dapat diuji coba dengan memberikan data masukan ke sistem fuzzy ini berupa Nilai ppm pada Sensor TDS = 1295ppm dan level air=13.5L, maka pada tahap *Fuzzifikasi* nilai crisp tersebut direpresentasikan pada nilai linguistik, setelah itu dicari nilai derajat keanggotaan (μ) untuk masing-masing kategori yang mungkin. Adapun hasil tahap *fuzzifikasi* dapat dijelaskan pada tabel 6.

Tabel 4. Representasi Nilai Linguistik Data Masukan

Data Masukan	Nilai	Derajat keanggotaan
Input nilai ppm (sensor tds)	1295 ppm	Sangat Rendah, $\mu=0,5$
Input level air	13,5 L	Penuh, $\mu=0,5$

Untuk memperoleh nilai *crisp* tertentu sebagai keluaran fuzzy logic berdasarkan data input dari table 6 maka dilakukan proses defuzzifikasi. Dimana defuzzifikasi merupakan langkah terakhir dalam suatu sistem kontrol berbasis fuzzy logic model fuzzy Mamdani menggunakan metode *Centre of Garvity* (COG) dengan menggunakan persamaan (1) [11].

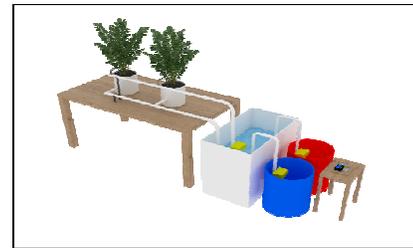
$$COG = \frac{\int_z \mu(z)z \, dz}{\int_z \mu(z) \, dz} \quad (1)$$

$$COG = \frac{(1295 \times 0,5) + (13,5 \times 0,5)}{0,5 + 0,5} \approx 654,25 \text{ ppm}$$

Jadi hasil percobaan dengan metode COG menunjukkan nilai ppm sangat rendah dengan nilai 654.25 ppm.

D. Perancangan Mekanik

Perancangan mekanik pada sistem kontrol nutrisi tanaman sayur buah hidroponik dengan sistem *Dutch Bucket System* (DBS) terdiri dari 2 buah ember ukuran diameter 17cm dan tinggi 19cm serta bak *reservoir* 33cm x 25cm x 23cm (P x L x T), ember diameter 27cm dan tinggi 40cm, untuk bak nutrisi menggunakan ember diameter 12cm dan tinggi 19cm. Adapun rancang bangun alat ini dapat dijelaskan pada gambar 8.



Gambar 8. Rancangan mekanik

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari penelitian ini adalah sistem kontrol yang dibangun dapat mendeteksi kadar garam terlarut pada air kemudian mengontrol pompa untuk memberikan nutrisi secara otomatis sesuai kebutuhan tanaman sayur buah hidroponik seperti yang ditunjukkan pada gambar 8. Sistem kontrol ini juga mendeteksi ketinggian air pada *reservoir* kemudian jika ketinggian air dibawah 8 liter maka pompa akan menyala secara otomatis untuk mengisi air pada *reservoir* dan pompa akan mati jika ketinggian air sudah mencapai 15 liter.



Gambar 9. Hasil Perancangan sistem keseluruhan

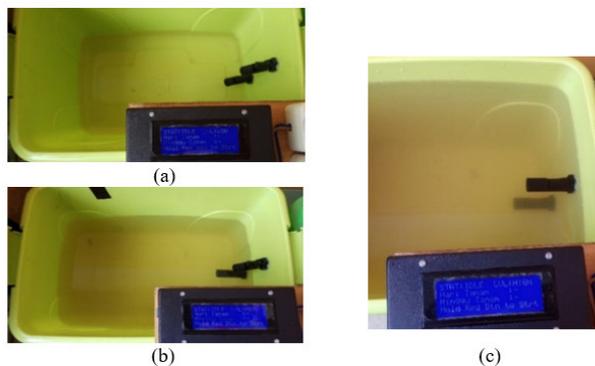
A. Pengujian Hardware

Pengujian Sensor TDS/EC yang telah diberikan kontrol Arduino Mega 2560 bertujuan untuk mengetahui apakah hasil nilai ppm Sensor TDS/EC sama dengan hasil nilai TDS/EC digital yang banyak dijual dipasaran. Berdasarkan pengujian tersebut didapat hasil perbandingan seperti ditunjukkan pada tabel 7.

Tabel 7. Hasil uji coba nilai ppm Sensor TDS/EC dan TDS/EC Digital

No	Jumlah Air	Nilai PPM		Nilai ppm + 5 ml Nutrisi	
		Sensor TDS/EC	TDS/EC Digital	Sensor TDS/EC	TDS/EC Digital
1	1,5 l	191	267	594	956
2	3 l	594	669	688	1130
3	4,5 l	698	986	796	1578
4	6 l	867	1390	905	1789
5	7,5 l	1005	1500	1193	2154
6	9 l	1364	1854	1424	2347
7	10,5 l	1620	2106	1858	2591
8	12 l	1891	2557	2092	2876
9	13,5 l	2095	2968	2376	3290
10	15 l	2334	3423	2982	3600

Pada penelitian ini menggunakan Sensor Level Switch sebagai sensor yang berfungsi mendeteksi kondisi ketinggian air. Sensor *level switch* diprogram dengan *setpoint* tertentu sesuai kebutuhan. Hasil pengujian sensor level switch seperti yang ditunjukkan pada gambar 10.



Gambar 10. Hasil pengujian; (a) Low; (b) Medium; (c) High

Dari hasil pengujian Sensor *level switch* tersebut didapatkan hasil seperti di tunjukkan pada tabel 8.

Tabel 8. Data pengujian sensor *Level Switch* dengan jumlah air

No	Level	Ketinggian	Jumlah Air
1	Low	0 -7 cm	0 - 5,5 liter
2	Medium	7 - 13 cm	5,5 - 11 liter
3	Hight	13 - 21 cm	11 - 15,5 liter

B. Pengujian Sistem Keseluruhan

Pengujian sistem secara keseluruhan menghasilkan beberapa data yaitu: data pengujian system control nutrisi sayur buah hidroponik tanpa metode *fuzzy logic* dan data pengujian sistem kontrol nutrisi sayur buah hidroponik menggunakan metode *fuzzy logic*.

Tabel 9 merupakan hasil pengujian pertama tanpa metode *fuzzy logic* menggunakan air 7 liter dengan kondisi kadar garam terlarut nilai awal adalah 191 ppm untuk mencapai kadar nilai 650 ppm membutuhkan waktu rata-rata 42,33 detik dengan kecepatan pompa 70%, 75% dan 80%.

Tabel 9. Pengujian Tanpa Metode *Fuzzy Logic* Menggunakan Air 7 Liter

No	Kecepatan pompa nutrisi	Waktu yang Dibutuhkan untuk Mencapai Kadar Garam Terlarut Nutrisi (PPM) (detik)				
		191	458	530	590	650
1	80%	0	11	20	26	38
2	75%	0	15	24	32	40
3	70%	0	20	29	40	49
Rata-rata						42,33

Tabel 10. Pengujian dengan metode *Fuzzy Logic* Menggunakan Air 7 Liter

No	Kecepatan Pompa Nutrisi	Waktu yang Dibutuhkan untuk Mencapai Kadar Garam Terlarut Nutrisi (PPM) (detik)				
		191	458	530	590	650
1	80%	0	9	17	23	32
2	75%	0	12	21	29	35
3	70%	0	16	27	35	40
Rata-rata						35,66

Sedangkan pengujian kedua seperti yang dijelaskan pada tabel 10 menggunakan metode *fuzzy logic* dengan air 7 liter pada kondisi kadar PPM awal adalah 191 ppm untuk mencapai kadar nilai 650 ppm membutuhkan waktu rata-rata 35,66 detik dengan kecepatan pompa 70%, 75% dan 80%. Hal ini membuktikan bahwa penggunaan metode *fuzzy logic* dapat mempercepat 6,67 detik untuk mencapai kadar nilai 650 ppm daripada tanpa metode *fuzzy logic*.

Tabel 11. Pengujian Tanpa Metode *Fuzzy Logic* Menggunakan Air 15 Liter

No	Kecepatan pompa nutrisi	Waktu yang Dibutuhkan untuk Mencapai Kadar Garam Terlarut Nutrisi (PPM) (detik)				
		221	458	530	590	650
1	100 %	0	40	52	60	70
2	90%	0	46	59	69	81
3	80%	0	54	66	73	88
Rata-rata						79,66

Tabel 11 merupakan hasil pengujian ketiga tanpa metode *fuzzy logic* menggunakan air 15 liter dengan kecepatan pompa 80%, 90% dan 100% pada kondisi kadar PPM awal 221 ppm. Rerata waktu yang dibutuhkan dari kadar PPM awal mencapai kadar nilai 650 ppm yaitu 79,66 detik.

Tabel 12. Pengujian dengan Metode *Fuzzy Logic* Menggunakan Air 15 Liter

No	Kecepatan pompa nutrisi	Waktu yang Dibutuhkan untuk Mencapai Kadar Garam Terlarut Nutrisi (PPM) (detik)				
		221	458	530	590	650
1	100 %	0	35	44	51	60
2	90%	0	40	49	58	65
3	80%	0	48	56	62	71
Rata-rata						65,33

Sedangkan pengujian keempat seperti yang dijelaskan pada tabel 12 menggunakan metode *fuzzy logic* dengan air 15liter pada kondisi kadar ppm awal adalah 221ppm untuk mencapai kadar nilai 650ppm membutuhkan waktu rata-rata 65.33detik dengan kecepatan pompa 80%, 90% dan 100%. Hal ini membuktikan bahwa penggunaan metode *fuzzy logic* dapat mempercepat 14.33detik untuk mencapai kadar nilai 650ppm daripada tanpa metode *fuzzy logic*.

Tabel 5. Hasil pertumbuhan tanaman sayur buah (tomat ceri)

No	Tanggal	Tinggi Tanaman		
		Metode Fuzzy		Tanpa Metode Fuzzy
		Pot 1	Pot 2	
1	5 Mei 20	2 cm	1,7 cm	1,5 cm
2	10 Mei 20	5,4 cm	4,2 cm	3,2 cm
3	16 Mei 20	8,2 cm	7 cm	5 cm
4	22 Mei 20	12,7 cm	10,5 cm	8,3 cm
5	27 Mei 20	15,2 cm	13,7 cm	10,8 cm
6	03 Juni 20	18 cm	14,7 cm	11,5 cm
7	08 Juni 20	21 cm	16,4 cm	13,9 cm
8	13 Juni 20	23,2 cm	19,5 cm	16,6 cm
9	16 Juni 20	25,5 cm	21,7 cm	21 cm
10	24 Juni 20	32,6 cm	27,8 cm	23,4 cm
11	06 Juli 20	55,5 cm	46 cm	26 cm

Berdasarkan tabel 5 dapat dijelaskan bahwa ketinggian tanaman tomat ceri lebih tinggi dengan menggunakan metode *fuzzy logic* daripada tanpa metode *fuzzy logic*. Hal ini membuktikan bahwa pengontrolan nutrisi pada tanaman dengan sistem yang otomatis lebih efektif daripada cara manual.

IV. KESIMPULAN

Penerapan metode *fuzzy logic* dalam penelitian ini berfungsi sebagai pengendali otomatis nutrisi yang dibutuhkan tanaman sayur buah tomat ceri. Pada pengujian yang telah dilakukan untuk mencapai nilai nutrisi dari 221ppm sampai dengan 650ppm, sistem ini membutuhkan waktu rata-rata

52.2detik dengan kondisi air sebanyak 15liter. Sedangkan pengaturan menggunakan metode manual membutuhkan waktu yang lama karena harus melakukan pengecekan dan pengaturan kondisi nutrisi secara manual. Penelitian ini berhasil merealisasikan rancangan sistem kontrol berbasis *fuzzy logic* yang dibuktikan dengan proses pengujian yang cukup baik. Walaupun terdapat perubahan volume larutan di tabung pencampur, namun sistem sirkulasi nutrisi hidroponik tetap terkontrol namun dapat mempengaruhi molaritas nutrisi sehingga nilai nutrisi dapat berkurang.

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa menggunakan *fuzzy logic* lebih lebih optimal dalam pemberian nutrisi daripada tanpa *fuzzy logic*, serta pertumbuhan lebih cepat menggunakan *fuzzy logic* dari pada tanpa *fuzzy logic*. Hal ini dibuktikan dengan ketinggian tanaman pada tanggal 6 Juli 2020 tanaman yang menggunakan metode *fuzzy logic* sebesar 55 cm sedangkan yang tanpa metode *fuzzy logic* 26 cm.

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Suhardiyanto, "Teknologi hidroponik," in Modul Pelatihan Aplikasi Teknologi Hidroponik untuk Pengembangan Agribisnis Perkotaan. Bogor, vol. 28, 2002.
- [2] H. M. Resh, "Hydroponic Food Produdion: A Defimtive Guidebook for the Advanced Home Gardener and The Commercial Hidroponic Grower Seven Edition", New York, CRC Pr, 2013.
- [3] S. Karsono, Terjemahan Kumpulan Artikel Hidroponik. Bogor: Perung Farm, 2013.
- [4] N. A. Zhawabaathinah, "Sistem Kendali Pompa Air dan Pompa Pupuk Berdasarkan Perhitungan PPM pada Tanaman Hidroponik," Universitas Andalas, Padang, 2017.
- [5] F. B. Akbar, M. A. Muslim, Purwanto, "Pengontrolan Nutrisi pada Sistem Tomat Hidroponik Menggunakan Kontroler PID", Jurnal EECIS, Vol. 10, no. 1, Juni, 2016.
- [6] Suprijadi, N. Nuraini, dan M. Yusuf, "Sistem Kontrol Nutrisi Hidroponik Dengan Menggunakan Logika Fuzzy", J.Oto.Ktrl.Inst (J.Auto.Ctrl.Inst) Vol 1 (1), 2009 ISSN : 2085-2517.
- [7] R. M. Simanjorang, "Penerapan Logika Fuzzy Dalam Sistem Pakar Diagnosa Defisiensi Nutrisi Tanaman Hidroponik", Journal of Computer Networks, Architecture and High Performance Computing e-ISSN 2655-9102, Volume 1, No. 1, Januari 2019, pp 26-30.
- [8] I. A. Lakhlar, G. Jianmin, T. N. Syed, F. A. Chandio, N. A. Buttar, dan W. A. Qureshi, "Monitoring and Control Systems in Agriculture Using Intelligent Sensor Techniques: A Review of the Aeroaponic Systems", Journal of Sensors, Volume 2018, Article ID8672769, 18 pages.

- [9] W. J. Cho, H. J. Kim, D. H. Jung, H. J. Han, dan Y. Y. Cho, "Hybrid Signal-Processing Method Based on Neural Network for Prediction of NO₃, K, Ca, and Mg Ions in Hydroponic Solutions Using an Array of Ion-Selective Electrodes", *Journal of Sensors*, Volume 2019.
- [10] Herman, D. Adidrana, N. Surantha and Suharjo, "Hydroponic Nutrient Control System Based on Internet of Things", *CommIT (Communication & Information Technology) Journal* 13 (2), 105-111, 2019.
- [11] S. Kusumadewi dan M. H. Purnomo, "*Aplikasi Logika Fuzzy untuk Pendukung Keputusan*", Edisi Kedua, Yogyakarta: Graha Ilmu, 2010.