

MONITORING DAN KONTROL NUTRISI PADA SISTEM HIDROPONIK NFT BERBASIS KONDUKTIVITAS ELEKTRIK

Monitoring and Control of Nutrition on NFT Hydroponic System Based on Electrical Conductivity

Ghani Gumilang Heliadi¹, M. Ramdhan Kirom, S.Si., M.Si.², Dr. Eng. Asep Suhendi, S.Si., M.Si.³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹ghanigumilang07@gmail.com ²jakasantang@gmail.com ³as.suhendi@gmail.com

Abstrak

Hidroponik adalah membudidayakan tanaman tanpa menggunakan tanah tetapi menggunakan air dan larutan nutrisi sebagai media tanam. Ada berbagai macam metode dalam pengairan nutrisi hidroponik, salah satunya *Nutrient Film Technique* (NFT). Pada Tugas Akhir ini, dirancang 2 buah *reservoir* untuk menampung nutrisi sistem secara bertingkat agar tidak ada pengendapan nutrisi. Dalam sistem hidroponik, konsentrasi larutan nutrisi merupakan salah satu parameter yang menentukan kualitas dan hasil panen tanaman. Oleh karena itu, perlu adanya usaha dalam mengontrol konsentrasi larutan tersebut agar hasil budidaya dari teknik NFT dapat mencapai tingkat maksimal. Konsentrasi larutan nutrisi tersebut direpresentasikan dengan nilai *electrical conductivity* (EC). Pada penelitian ini akan dilakukan monitoring dan kontrol otomatis larutan nutrisi pada hidroponik NFT. Sistem kontrol menggunakan logika fuzzy agar dapat mempertahankan kebutuhan rentang nilai EC tanaman sawi pakcoy tetap pada nilai 1.5-2 mS/cm selama proses tanam. Dari percobaan diperoleh sistem kontrol logika fuzzy dapat mempertahankan rentang nilai EC sesuai dengan kebutuhan tanaman sawi pakcoy.

Kata Kunci : Hidroponik NFT; *Electrical conductivity* (EC); Kontrol logika fuzzy

Abstract

Hydroponics is the cultivation of plants without the use of soil but uses water and nutrient liquid as a plant medium. There are various methods in hydroponic nutrition irrigation, one of them is Nutrient Film Technique (NFT). In this study, designed 2 pieces of reservoir to accommodate the nutrient of the system on a level so that there is no deposition of nutrients. In the hydroponic system, the concentration of nutrient liquid is one of the parameters that determine the quality and yield of the crop. Therefore, there must be a system to control the concentration of the nutrient liquid so that the cultivation of the NFT technique can reach the maximum level. The concentration of the nutrient liquid is represented by the value electrical conductivity (EC). In this study will be monitoring and controlling of nutrient liquid on NFT hydroponics. The control system uses fuzzy logic to maintain range EC value of pak choi (Chinese cabbage) crops at 1.5-2 mS / cm during the planting process. From the experiment obtained fuzzy logic control system can maintain the range of EC values in accordance with the needs of pak choi (Chinese cabbage) plants.

Keywords : NFT Hydroponic; *Electrical conductivity* (EC); Fuzzy Logic Controller

1. Pendahuluan

Kebutuhan akan sayuran terus bertambah terutama sayuran sawi yang permintaan pasarnya terus meningkat. Konsumsi sayuran di Indonesia meningkat dari 31,790 kg pada tahun 1996 menjadi 44,408 kg per kapita per tahun pada tahun 1999 [1]. Hal ini membuka peluang pasar terhadap peningkatan produksi sayuran, baik secara kuantitas maupun kualitas. Namun, sering kali petani sayuran dihadapkan dengan berbagai macam masalah dalam bercocok tanam. Permasalahan yang sering dihadapi seperti harga pupuk yang tidak stabil cenderung terus meningkat, kondisi cuaca yang tidak menentu dan semakin langkanya sumber daya lahan pertanian terutama di daerah perkotaan mendorong perkembangan berbagai macam inovasi dan teknologi dalam bidang pertanian [1]. Pada umumnya petani melakukan budidaya tanaman secara konvensional akan tetapi seiring dengan berkembangnya zaman, cara budidaya seperti ini kurang efisien dan efektif. Kegiatan usaha pertanian konvensional semakin tidak kompetitif karena pengembangan komoditas sayuran secara kuantitas dan kualitas dihadapkan pada semakin sempitnya lahan pertanian yang subur, terutama di Pulau Jawa [1].

Kondisi lahan pertanian yang semakin terbatas sementara kebutuhan sayuran terus meningkat. Mendorong sektor pertanian untuk mengatasi kendala tersebut dengan meningkatkan penerapan pertanian lahan sempit, dimana salah satunya dengan teknik budidaya hidroponik. Hidroponik adalah membudidayakan tanaman tanpa menggunakan tanah tetapi menggunakan air dan larutan nutrisi sebagai media tanam. Budidaya tanaman secara hidroponik memiliki beberapa keuntungan yaitu, tanaman yang diproduksi lebih berkualitas, tanaman jarang terserang hama penyakit, pemberian larutan unsur hara lebih efektif dan efisien karena dapat disesuaikan dengan kebutuhan tanaman tersebut, dapat diusahakan terus menerus tidak tergantung musim, dan dapat diterapkan pada lahan sempit [2].

Ada berbagai macam metode dalam pengairan nutrisi hidroponik, salah satunya *Nutrient Film Technique* (NFT). NFT merupakan model budidaya dengan meletakkan akar tanaman pada lapisan air dangkal. Air tersebut tersirkulasi dan mengandung nutrisi sesuai dengan kebutuhan tanaman. Teknik NFT merupakan salah satu teknik yang paling berhasil dan banyak digunakan karena memiliki efisiensi tinggi [1]. Selain itu lahan tanam untuk

teknik NFT tidak mudah rusak, mudah dibersihkan (terbuat dari plastik PVC) dan dapat dikonfigurasi sebagai sistem penyiraman yang tidak memungut kembali kelebihan aliran larutan hara (*drain to wash*) maupun sistem penyiraman yang mensirkulasikan kembali kelebihan larutan hara (*aquaponic*) [1].

Dalam sistem hidroponik, konsentrasi larutan nutrisi merupakan salah satu parameter yang menentukan kualitas dan hasil panen tanaman. Konsentrasi larutan menyatakan jumlah larutan nutrisi yang terkandung dalam air dan nilai tersebut berubah-ubah diakibatkan perbedaan serapan nutrisi dan air oleh tanaman. Konsentrasi larutan nutrisi tersebut direpresentasikan dengan nilai *electrical conductivity* (EC). Nilai EC larutan nutrisi yang terlalu tinggi mengakibatkan tanaman tumbuh lambat dan biaya produksi yang tinggi [3]. Sebaliknya, konsentrasi larutan nutrisi yang terlalu rendah akan menyebabkan produktivitas tanaman menurun. Oleh karena itu, perlu adanya usaha dalam mengontrol konsentrasi larutan tersebut agar hasil budidaya dari teknik NFT dapat mencapai tingkat maksimal. Pada penelitian ini akan dilakukan monitoring dan kontrol otomatis larutan nutrisi pada hidroponik NFT, dengan harapan didapatkannya nilai kebutuhan nutrisi yang sesuai bagi tanaman sawi pakcoy.

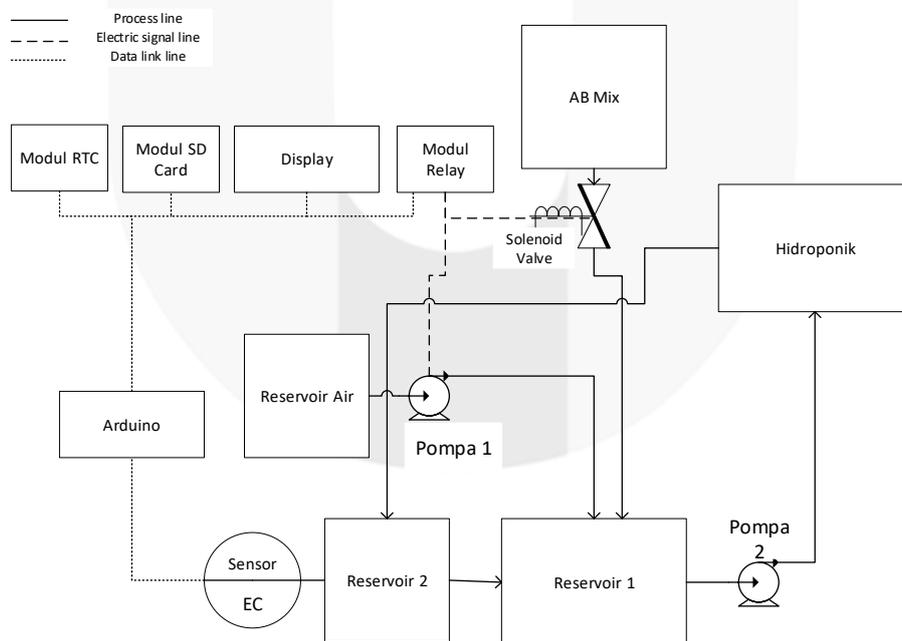
2. Kebutuhan Nutrisi Tanaman Sawi Pakcoy

Kualitas larutan nutrisi sangat menentukan keberhasilan produksi, sedangkan kualitas larutan nutrisi atau pupuk tergantung pada konsentrasinya. Kunci utama dalam pemberian larutan nutrisi atau pupuk pada sistem hidroponik adalah pengontrolan konduktivitas elektrik atau *electrical conductivity* (EC) [7]. Nilai EC menyatakan konsentrasi nutrisi atau nutrisi dalam air juga menyatakan kecocokan larutan nutrisi untuk tanaman. Unsur nutrisi yang terlarut dalam air berupa ion bermuatan positif (*kation*) dan ion bermuatan negatif (*anion*). Keberadaan ion-ion tersebut yang memungkinkan konduktivitas listrik dalam larutan nutrisi dapat terukur oleh sensor EC. Satuan EC yang digunakan adalah mili-Siemens per centimeter atau mS/cm [8].

Kebutuhan EC pada setiap tanaman berbeda-beda, dan setiap tanaman memiliki rentang nilai EC yang dibutuhkan untuk dapat tumbuh dengan baik. Kebutuhan nutrisi tanaman sawi pakcoy berada pada rentang 1000-1400 ppm atau jika dikonversi dalam nilai EC berada pada rentang 1.5-2 mS/cm[9].

3. Perancangan Sistem

Tugas akhir ini berfokus pada rancang bangun sistem monitoring dan kontrol nutrisi pada sistem hidroponik NFT. Agar dapat membangun sistem monitoring dan kontrol nutrisi diperlukan, sistem mekanik yang terdiri dari modul hidroponik NFT beserta reservoir untuk menampung larutan nutrisi, perangkat keras yang berupa komponen elektronik penunjang sistem, dan perangkat lunak yang berisi program untuk memonitoring dan mengontrol nilai EC.



Gambar 1 Desain sistem monitoring dan kontrol nutrisi

Secara keseluruhan bentuk sistem otomatisasi nutrisi pada hidroponik NFT yang dirancang ditunjukkan pada Gambar 1. Terdapat 4 buah *reservoir*, *reservoir* 1 berfungsi untuk menampung air dari *reservoir* 2 dan mengalirkannya ke modul hidroponik, *reservoir* 2 berguna untuk menampung air hasil pembuangan modul hidroponik dan sensor EC diletakkan di *reservoir* ini, lalu *reservoir* AB Mix untuk menampung cairan nutrisi dan mengalirkannya ke *reservoir* 1 jika sistem kekurangan nutrisi, dan *reservoir* air berguna untuk mengalirkan air ke *reservoir* 1 jika sistem kelebihan nutrisi.

4. Sistem Kontrol

Sistem kontrol pada penelitian ini menggunakan metode controller logika fuzzy (*Fuzzy Logic Controller*). *Fuzzy Logic Controller* merupakan metode pengontrol menggunakan prinsip pengambilan keputusan menggunakan logika fuzzy (*Fuzzy Inference System*). Perancangan controller logika fuzzy merupakan pengembangan aspek pendefinisian himpunan fuzzy dengan logika fuzzy. Controller logika fuzzy merupakan suatu controller yang pada prinsipnya mengubah strategi kontrol linguistik ke dalam kontrol otomatis [11].



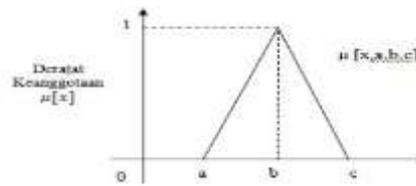
Gambar 2 Konfigurasi Dasar *Fuzzy Logic Controller*

Secara umum fuzzy logic controller dapat dipandang sebagai sistem kontroler loop tertutup yang memiliki 4 bagian utama seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2. Keempat bagian utama tersebut adalah :

1. Fuzzifikasi

Fuzzifikasi adalah mengubah masukan-masukan yang nilai kebenarannya bersifat pasti (*crisp input*) ke dalam bentuk *fuzzy input*. Fuzzifikasi melibatkan fungsi berikut [12]: a.) mengukur nilai variabel masukan, b.) melakukan pemetaan skala yang memetakan rentang nilai masukan ke dalam semesta pembicaraan yang bersesuaian, c.) melakukan fungsi fuzzifikasi yang mengkonversikan data masukan kedalam nilai linguistik yang sesuai yang bisa dipandang sebagai label dari himpunan fuzzy.

Fungsi keanggotaan (*membership function*) adalah suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik-titik input data ke dalam nilai keanggotaannya (sering disebut derajat keanggotaan) yang memiliki interval antara 0-1 [10].



Gambar 3 Fungsi keanggotaan kurva segitiga

Dengan menggunakan persamaan garis lurus sederhana untuk masing-masing daerah maka dapat dihitung derajat keanggotaan untuk ($\mu(x)$) untuk masukan data craps x pada variabel linguistik A yaitu sebagai berikut :

$$\mu[x] = \begin{cases} 0; & x \leq a \text{ atau } x \geq c \\ \frac{(x-a)}{(b-a)}; & a \leq x \leq b \\ \frac{(b-x)}{(c-b)}; & b \leq x \leq c \end{cases} \dots\dots\dots(1.1)$$

2. Basis Pengetahuan

Basis pengetahuan terdiri dari pengetahuan tentang domain aplikasi dan kumpulan tujuan dari pengontrolan. Disinilah perilaku dari controller dirumuskan agar tujuan pengontrolan bisa dicapai [11]. Secara umum basis pengetahuan merupakan komponen untuk mendefinisikan himpunan Fuzzy dari masukan dan keluaran.

3. Logika Pengambil Keputusan

Didalam logika pengambilan keputusan terdapat basis aturan. Basis aturan fuzzy merupakan kumpulan pernyataan aturan 'IF-THEN' yang didasarkan kepada pengetahuan pakar. Hal ini mempermudah implementasi bentuk kontrol fuzzy. Seperangkat aturan kontrol fuzzy merupakan penjabaran dari bentuk-bentuk kondisi fuzzy dalam aturan dasar kontrol logika fuzzy [11]. Tiap-tiap aturan pada basis pengetahuan fuzzy akan berhubungan dengan suatu relasi fuzzy. Bentuk umum dari aturan yang digunakan dalam fungsi implikasi adalah IF x is A THEN y is B [10]. Fungsi implikasi yang umum digunakan adalah MAX-MIN Mamdani. Aturan kontrol fuzzy merupakan penjabaran dari bentuk-bentuk kondisi fuzzy dalam aturan kontrol logika fuzzy. Perancangan perangkat aturan kontrol fuzzy meliputi :

(a) Pemilihan Variabel Masukan dan Keluaran

Secara umum nilai error dan perubahan error (Δ Error) dari plant menjadi acuan utama bagi aturan kontrol fuzzy untuk menghasilkan sinyal atur. Dimana, Error = Set Point - Present Value dan Δ Error = Error Baru - Error Lama.

(b) Penurunan Aturan Kontrol Fuzzy

Aturan kontrol diturunkan dengan cara mengoreksi simpangan keluaran plant dari keadaan yang diinginkan. Adapun beberapa metode yang biasa digunakan, salah satunya adalah metode matrix Macvicar-Whelan. Macvicar-Whelan yang meneliti masalah penyempurnaan aturan kontrol ini menemukan pola umum hubungan antara error dan perubahan error (de error). Penurunan secara lengkap aturan kontrol ini memberikan tabel keputusan sinyal atur yang disebut tabel keputusan Macvicar-Whelan. Tabel ini memberikan jumlah aturan kontrol secara maksimum. Pola ini berlaku bagi kontrol logika fuzzy yang menggunakan masukan error dan perubahan error. Gambar 4 menunjukkan aturan kontrol fuzzy secara lengkap [14].

		E						
		NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
dE	NB	NB	NB	NB	NB	NM	NS	ZO
	NM	NB	NB	NB	NM	NS	ZO	PS
	NS	NB	NB	NM	NS	ZO	PS	PM
	ZO	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
	PS	NM	NS	ZO	PS	PM	PB	PB
	PM	NS	ZO	PS	PM	PB	PB	PB
	PB	ZO	PS	PM	PB	PB	PB	PB

Gambar 4 Matriks aturan kontrol fuzzy Macvicar-Whelan

4. Defuzzifikasi

Defuzzifikasi merupakan proses yang mengkombinasikan seluruh fuzzy output menjadi sebuah hasil spesifik, mengubah fuzzy output menjadi *crisp value* berdasarkan fungsi keanggotaan yang telah ditentukan. Salah satu metode defuzzifikasi adalah metode *center of area* (COA). Pada metode ini, solusi crisp diperoleh dengan cara mengambil titik pusat (z) daerah fuzzy. Secara umum dirumuskan [10] :

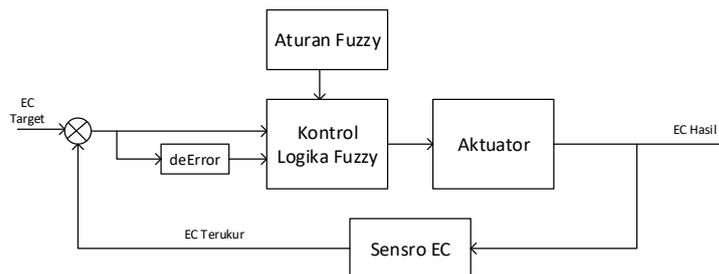
$$Z = \frac{\sum_{j=1}^n Z_j \mu(Z_j)}{\sum_{j=1}^n \mu(Z_j)} \dots\dots\dots(1.2)$$

Dengan :

- Z = Keputusan (solusi fuzzy)
- Z_j = Interval pada himpunan semesta Z atau posisi pusat sistem output
- μ(Z) = Nilai keanggotaan solusi fuzzy atau luasan tiap fuzzy output

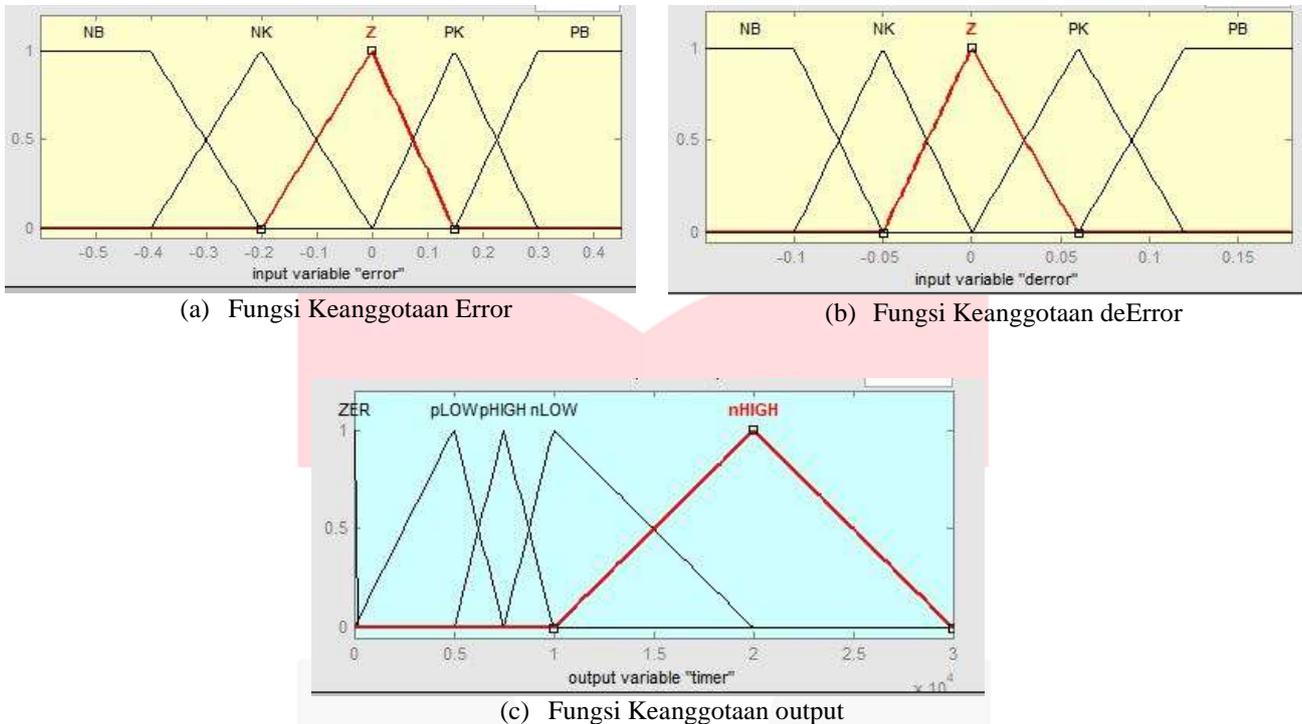
Parameter yang dikontrol pada tugas akhir ini adalah lama waktu penyaaan aktuator untuk menambah atau mengurangi nilai EC dengan input berupa error dan delta error dari sensor. Agar dapat mengontrol aktuator digunakan mikrokontroller Arduino yang telah di program menggunakan kontroller logika fuzzy. Arduino akan memberikan catuan ke relay yang akan menentukan apakah aktuator akan menyala atau mati. Sistem kontrol nutrisi hidroponik berkerja sebagai berikut:

1. Menentukan *set point*. *Set point* dapat diatur secara manual dalam rentang 1.5 – 2 mS/cm melalui program di Arduino.
2. Mengukur nilai EC pada *reservoir 2* lalu didapat nilai error dan delta error.
3. Menkonversi nilai error dan delta error menjadi nilai keanggotaan menggunakan fuzzifikasi.
4. Menentukan basis aturan yang sesuai untuk menjaga nilai EC pada hidroponik tetap pada range nilai EC yang diharapkan.
5. Inferensi menentukan berapa lama waktu aktuator menyala.
6. Defuzzifikasi untuk mengkonversi hasil fuzzy yang masih berupa nilai keanggotaan menjadi lama waktu dalam *milisecond*.
7. Arduino memberikan sinyal tegangan ke *relay*. Saat diberi tegangan 5 V aktuator hidup dan sebaliknya saat diberi tegangan 0 V aktuator mati.



Gambar 5 Blok Diagram Fuzzy Logic Controller

Pada tugas akhir ini, terdapat dua fungsi keanggotaan yang digunakan sebagai masukan sistem, yaitu nilai error dan delta error yang didapat dari hasil selisih nilai EC aktual dengan *setpoint*. Fungsi keanggotaan dari input dan output mengikuti Gambar 6, dimana setiap input dibagi menjadi 5 *membership function* yaitu Negatif Besar (NB), Negatif Kecil (NK), Zero (Z), Positif Kecil (PK) dan Positif Besar (PB). Nilai tersebut terbagi menjadi 3 rentang nilai yaitu negatif, nol dan positif.



Gambar 6 Fungsi Keanggotaan *Input* dan *Output* Kontroller Logika Fuzzy

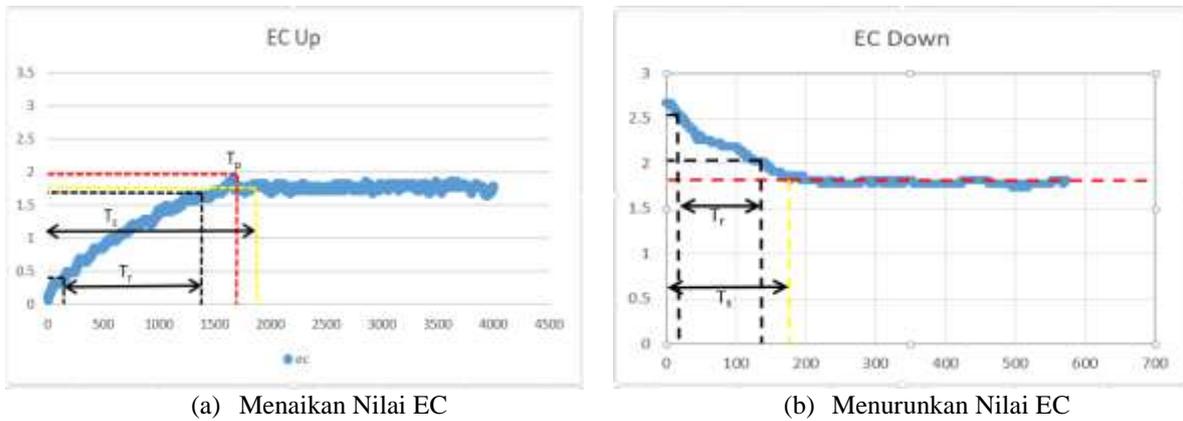
Perancangan fungsi keanggotaan *output* terdiri dari durasi waktu yang berupa keluaran berapa lama *valve* atau pompa menyala, yaitu Diam, Cepat, dan Lama. Dimana nilai positif (p) merupakan *output* untuk pompa dan negatif (n) *output* untuk *valve*. Eksekusi masing-masing aturan diproses menggunakan fungsi implikasi MAX-MIN Mamdani. Untuk rule base yang diterapkan pada sistem ini mengikuti Tabel 1. Metode yang dipilih untuk proses defuzzifikasi adalah metode titik pusat luasan (*centroid of area*). Hasil yang dihasilkan dari proses defuzzifikasi adalah lama waktu penyalan pompa atau *valve* dalam *milisecond*.

Tabel 1 Tabel Basis Aturan Fuzzy

e / Δe		Error				
		NB	NK	Z	PK	PB
deError	NB	nHIGH	nLOW	nLOW	ZERO	pLOW
	NK	nHIGH	nLOW	ZERO	pLOW	pLOW
	Z	nHIGH	nLOW	ZERO	pLOW	pHIGH
	PK	nLOW	nLOW	ZERO	pLOW	pHIGH
	PB	nLOW	ZERO	pLOW	pLOW	pHIGH

5. Pengujian Sistem Kontrol

Pengujian ini ditujukan untuk melihat performa sistem pada saat menaikkan nilai EC cairan nutrisi dengan menambahkan nutrisi AB mix dimana nilai EC nutrisi pada *reservoir* AB Mix sebesar 6 mS/cm atau 4000 PPM dan menurunkan nilai EC dengan menambah air. Grafik respon sistem terdapat pada Gambar 7 dan untuk hasil respon sistem terangkum pada tabel 2.

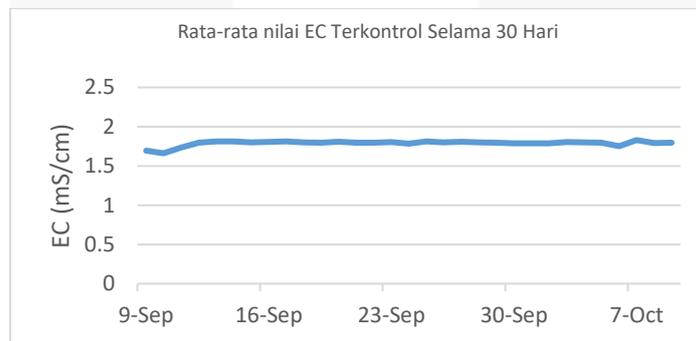


Gambar 7 Grafik Respon Sistem

Tabel 2 Respon sistem kendali nilai EC

Jenis Kendali	Rise Time (Menit)	Settling Time (Menit)	Overshoot (%)	Undershoot (%)	Error Steady State (%)
Menaikan EC	23	31	11.7	-	6.5
Menurunkan EC	2	3	-	8.94	6.8

Hasil pengujian selama 30 hari logika fuzzy kontroler dapat ditunjukkan oleh Gambar 8, dimana nilai EC dapat terjaga di dalam rentang 1.5-2 mS/cm. Rata-rata nilai EC tiap harinya tidak ada yang melampaui rentang nilai EC (1.5-2 mS/cm) yang berarti sistem kontrol ini sudah berjalan sesuai dengan yang diharapkan.



Gambar 8 Rata-rata nilai EC perhari dalam satu bulan

6. Hasil Pengamatan Respon Pertumbuhan Sawi Pakcoy

Pada bagian ini dilihat respon pertumbuhan 6 buah tanaman sawi pakcoy selama 30 hari. Adapun hasil pengamatannya ditampilkan pada Gambar 9. Modul Hidroponik NFT tersebut diletakkan secara *outdoor* namun diberi atap dengan suhu antara 25 – 33 derajat Celcius. Modul hidroponik dengan talang berwarna putih merupakan modul hidroponik terkontrol dan yang berwarna hitam merupakan modul hidroponik tak terkontrol.

Gambar 10 merupakan grafik perbandingan pertumbuhan modul hidroponik terkontrol dan non kontrol dengan mengambil rata-rata pertumbuhan tinggi tanaman, rata-rata lebar daun, rata-rata panjang daun, dan jumlah daun. Dari grafik dapat di lihat perbedaan perkembangan pertumbuhan tanaman sawi pakcoy, dimana perlakuan dengan otomasi nutrisi menghasilkan perkembangan tanaman yang lebih baik.



(a) Tampak dari depan



(b) Tampak dari samping



(c) Tampak dari atas

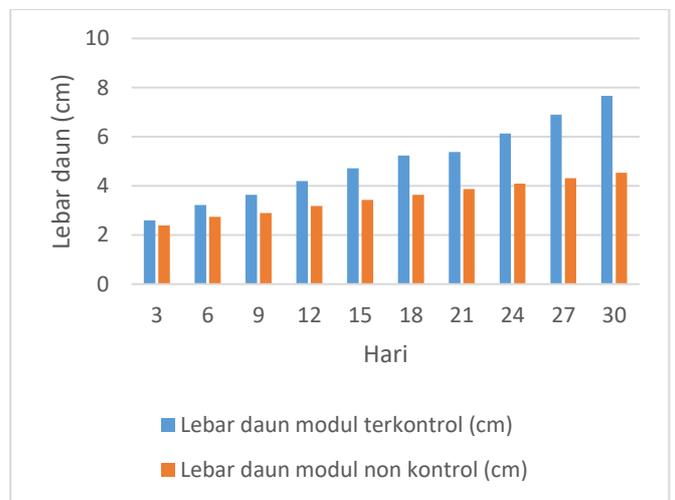
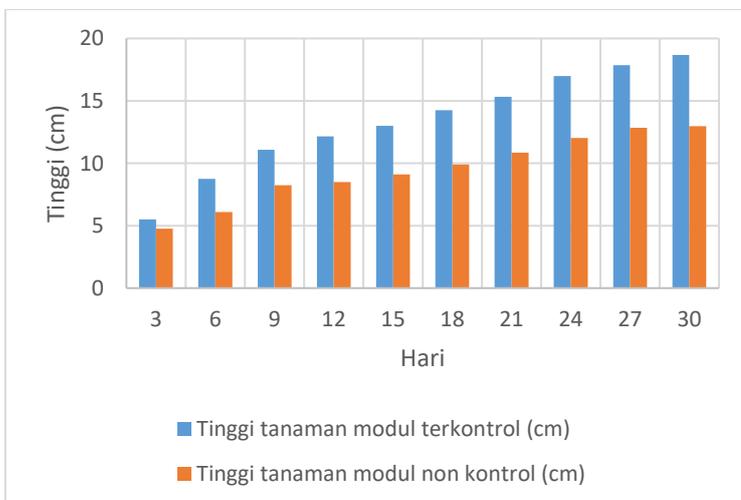


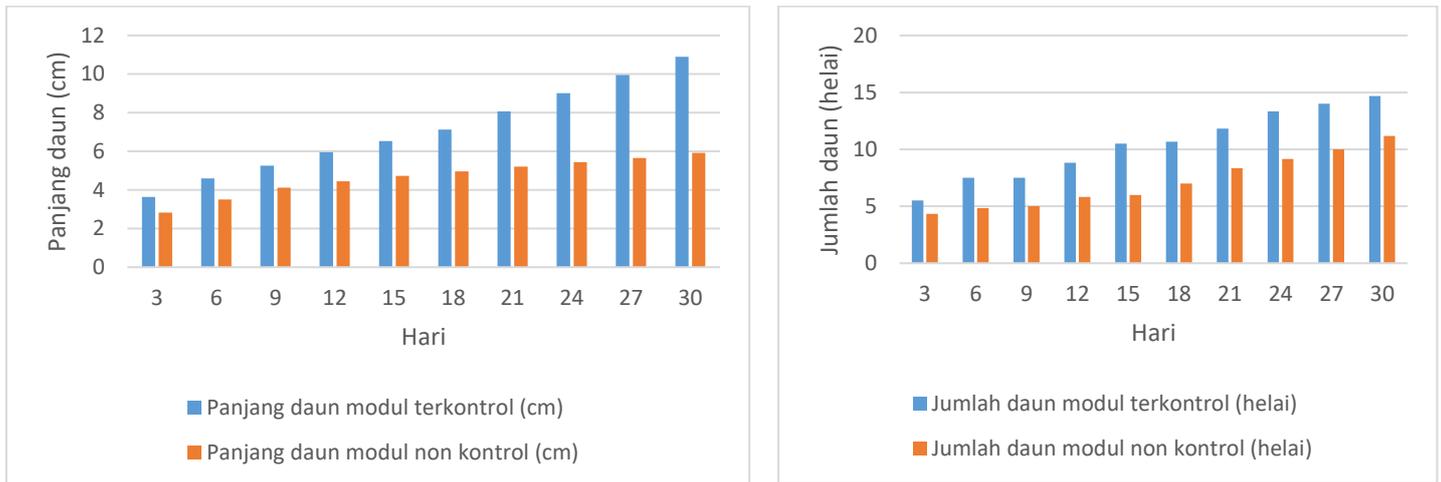
(d) Dengan Kontrol



(e) Tanpa Kontrol

Gambar 9 Pertumbuhan Sawi Pakcoy 30 hari





Gambar 10 Grafik perbandingan pertumbuhan modul hidroponik terkontrol dan non kontrol selama 30 hari

7. Kesimpulan dan Saran

Penelitian dalam membangun desain sistem monitoring dan kontrol otomatis berbasis nilai *electrical conductivity* (EC) menggunakan logika fuzzy telah selesai dilakukan. Penelitian ini berhasil merealisasikan rancangan sistem kontrol EC nutrisi hidroponik secara otomatis dengan menggunakan mikrokontroler Arduino, 2 buah aktuator berupa AC *solenoid valve* dan pompa dengan *input* berupa sensor analog EC SKU:DFR0300. Selain itu pula, metode *Fuzzy Logic Controller* yang diimplementasikan pada rancangan tersebut mampu mempertahankan nilai EC tetap berada pada range 1.5 – 2 mS/cm. Model tanaman budidaya pada penelitian ini adalah tanaman sawi pakcoy dengan masa budidaya penelitian 30 hari. Hasil pertumbuhan sawi pakcoy pada modul hidroponik terkontrol memiliki rata-rata tinggi 18.7 cm, dan rata-rata jumlah daun 14.6 helai pada hari ke 30. Berbeda jauh dengan modul hidroponik tak terkontrol pada hari yang sama memiliki rata-rata tinggi 12.9 cm, dan rata-rata jumlah daun 11.16 helai.

Implementasi controller logika fuzzy menggunakan 25 aturan dan memiliki respon sistem yang cukup baik. Pada kasus pengujian menaikkan nilai EC dengan *set point* 1.7 mS/cm dan *zero point* adalah 0 mS/cm sistem menghasilkan % *overshoot* 11.7 % dengan *rise time* 25 menit, *settling time* 31 menit dan memiliki *error steady state* 6.5 %. Sementara pada kasus menurunkan nilai EC sistem menghasilkan 8.94 % *undershoot*, 2 menit *rise time*, 3 menit *settling time*, dan memiliki *error steady state* 6.8 %. Perbedaan respon sistem pada kasus menaikkan dan menurunkan nilai EC dikarenakan perbedaan aktuator, dimana aktuator untuk menaikkan nilai EC adalah *solenoid valve* dan untuk menurunkan nilai EC adalah pompa. Perbedaan aktuator tersebut mengakibatkan perbedaan debit aliran yang dihasilkan masing-masing aktuator.

Sebagai pengembangan dari penelitian yang telah dilakukan, penulis dapat memberikan beberapa saran diantaranya, pengontrolan suhu pada *reservoir* untuk menjaga suhu sistem tetap pada suhu yang ideal untuk penyerapan nutrisi dan pengontrolan pH agar tanaman dapat tumbuh lebih maksimal. Selanjutnya, jarak antar lubang tanam pada modul hidroponik seharusnya memiliki jarak antara 15-20 cm agar tumbuh tanaman tidak saling bertabrakan.

Daftar Pustaka

- [1] R. Rosliani dan N. Sumarni, *Budidaya Tanaman Sayuran dengan Sistem Hidroponik*, Lembang: Balai Penelitian Tanaman Sayuran, 2005.
- [2] R. Del, Dafrosa dan Santos, Interviewees, *Hydroponic culture of crops in the Philippines: Problems and prospect*. [Wawancara]. 25-27 November 1990.
- [3] Whipker dan Cavins, "Electrical conductivity (EC): units and conversions," 2000. [Online]. Available: <http://www.ces.ncsu.edu/depts/hort/floriculture/Florex/EC%20Conversion.pdf>. [Diakses 2 Februari 2017].
- [4] Rubatzky and Yamaguchi, 1998.
- [5] S. H, *Hydroponic System*, 2010.
- [6] "Cara Menanam Hidroponik Sistem NFT," [Online]. Available: <http://www.kebunhidro.com/2015/01/cara-menanam-hidroponik-sistem-nft.html>. [Diakses 2 Februari 2017].
- [7] R. K, *How To Hydroponic*, New York: Futuregarden Inc, 2003.
- [8] Y. Sutioso, *Hidroponik Ala Yos*, Jakarta: Penebar Swadaya, 2004.
- [9] U. Fadlillah dan A. N. Yudhan, *Jago Bertanam Hidroponik untuk Pemula*, Jakarta: Agro Media Pustaka.
- [10] S. Kusumadewi dan H. Purnomo, *Aplikasi Logika Fuzzy untuk Pendukung*, Yogyakarta: Graha Ilmu, 2013.
- [11] D. Hamdani, "Kendali Kecepatan Robot Beroda Menggunakan Fuzzy Logic Berbasis Mikrokontroler ACR ATMEGA8535," Jakarta, Universitas Mercu Buana, 2009.
- [12] C. C. Lee, "Fuzzy Logic in Control Systems: Fuzzy Logic Controller," *IEEE Transactions on Systems*, vol. I, 1990.
- [13] D. Pancawati and A. Yulianto, *Implementasi Fuzzy Logic Controller Untuk Mengatur Ph Nutrisi Pada Sistem Hidroponik NFT*, Batam: Universitas Internasional Batam, 2016.
- [14] R. Copeland and K. Rattan, "A Fuzzy Supervisor for PD Control of Unknown Systems," *Wright State University*, Dayton.
- [15] A. Smith, "Introduction to Arduino: A piece of cake!," 2011. [Online]. Available: <http://www.introtoarduino.com>. [Diakses 23 Februari 2017].
- [16] "Arduino Mega," *Arduino*, [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/en/Main/arduinoBoardMega2560>. [Diakses 20 Februari 2017].
- [17] "EC Meter Kit," [Online]. Available: https://www.dfrobot.com/wiki/index.php/Analog_EC_Meter_SKU:DFR0300. [Diakses 20 Februari 2017].
- [18] B. Pratiwi, "Rancang Bangun Sistem Pemanas Substrat pada Reaktor Hidrogen Termofilik Menggunakan Fuzzy Logic," *Universitas Telkom*, Bandung, 2015.
- [19] F. Silmi, "Analisis Pengaruh Pengontrolan Tekanan Internal Reaktor terhadap Produksi ga Hidrogen pada Reaktor TPAD (Temperature Phased Anaerobik Digester) Fase Acidogenesis," 2015.
- [20] Sunarjo dan dkk, *Sawi dan Selada*, Jakarta: Penebar Swadaya, 2007.
- [21] Almatsier, *Prinsip Dasar Gizi*, Jakarta: Gramedia Pustaka Utama, 2005.
- [22] A. Yulianto, "Merancang Kendali Fuzzy Sederhana," [Online]. Available: <http://sonoku.com/merancang-kendali-fuzzy-sederhana/>. [Diakses 29 maret 2017].
- [23] Rubazky and Yamaguchi, 1998.
- [24] Z. R, "Tentang Hidroponik," 8 September 2014. [Online]. Available: <http://rmohammadhakimzakaria.blogspot.co.id/2014/09/tentang-hidroponik-faq-hidroponik.html>. [Accessed 7 September 2017].