

Perancangan Sistem Kendali Terintegrasi Berbasis IoT pada Tanaman Hidroponik dengan Komunikasi NB-IoT Menggunakan Metode Fuzzy

Daffa Faiz Murtadho¹, Muhammad Ary Murti², Casi Setianingsih³

^{1,2,3} Universitas Telkom, Bandung

daffafaiz@student.telkomuniversity.ac.id¹, arymurti@telkomuniversity.ac.id²,
setiacasie@telkomuniversity.ac.id³

The problem that arises in hydroponic plants is that it requires accuracy in providing ABmix or nutrients and pH Down or pH Up fluids and regular monitoring, which can provide optimal results in hydroponic plants, thus covering the deficiencies in the main problem, namely accuracy in pH and nutrient control and monitoring of nutrient solutions.

The fuzzy logic used in this automatic control has been 100% validated by experts in the rules used to control pH and nutrients, and has a maximum delivery time interval of 1.3 seconds. The system can perform maintenance on the hydroponic nutrient tank with 0% overshoot with 11 repetitions and the control system is said to be stable at 300 seconds by using an iteration delay of 60 seconds as the mixer pump time can mix perfectly

Keywords—Hydroponic, Fuzzy Control, NB-IoT.

I. LATAR BELAKANG

Salah satu dari tiga kebutuhan dasar pokok umat manusia sejak dulu adalah pangan untuk memenuhi kebutuhan tersebut manusia bercocok tanam mulai dari pertanian tradisional hingga pertanian modern.

Cara baru dalam budidaya pertanian adalah dengan media tanam adalah air atau yang disebut dengan hidroponik. Hidroponik berasal dari dua suku kata Yunani yang digabungkan yaitu hydro yang berarti air dan ponos yang berarti kerja, jadi hidroponik berarti bekerja menggunakan air, salah satu keunggulan dari sistem pertanian ini adalah minimnya penggunaan lahan yang dimana lahan yang kecil pun dapat dimanfaatkan dengan baik.

Seperti halnya bercocok tanam pada media-media yang lain hidroponik pun memiliki beberapa parameter yang menjadi perhatian dalam penanaman dan perkembangan tumbuhan yang ditanam di media air atau hidroponik.

Agar dapat mendapatkan hasil tanam yang berkualitas perlu dikontrol yaitu pemilihan media tanam (substrat), komposisi nutrisi dan kuantitas nutrisi yang diberikan, pengendalian pH air yang digunakan, dan intensitas cahaya yang diberikan. Hal – hal tersebut sangat penting dalam pertumbuhan tanaman sehingga membutuhkan ketelitian, serta pemantauan secara berkala [1].

Oleh karena itu diperlukan pengontrolan cairan media tanam yang baik dimana nutrisi seimbang sirkulasi air lancar serta pengaturan pH apakah derajat keasaman media tanam sudah cocok dan layak untuk digunakan agar menghasilkan hasil yang sempurna

Beberapa cara untuk mengontrol sistem perairan dan pasokan nutrisi telah dilakukan secara manual akan tetapi banyak terjadi kesalahan oleh manusia menghasilkan gagal tanam (human error) [1]. Sehingga berimbas pada penurunan kualitas tanaman yang dihasilkan dan kerugian material para pembudidaya pertanian hidroponik Pada tahun 2017 telah

dilakukan penelitian berbasis IoT mengenai hal nutrisi media tanam dan suhu lingkungan yang dapat diatur dengan menggunakan jaringan WIFI [2].

Dengan demikian, solusi untuk mengoptimalkan sistem kontrol tersebut adalah dengan membuat sebuah sistem kendali yang terintegrasi sehingga dapat mengendalikan pH air, larutan nutrisi, dan pompa sirkulasi air secara otomatis dalam satu mikrokontroler. Untuk melakukan pengembangan terhadap penelitian yang sudah ada dengan menggunakan jaringan NB-IoT dan pengontrolan real time pada sistem yang akan dibangun pada Metode kendali yang dipakai adalah metode fuzzy yang bekerja berdasarkan tingkat linguistik yang didapat dalam pemberian tingkat linguistik.

Dengan platform IoT yang keternukaan pada saat ini adalah NB-IoT yang dimana jaringan ini sudah didaftarkan oleh 3GPP berdasarkan jaringan LTE-M dengan low-power, low-cost, dan low-data-rate communication [3].

II. PREVIOUS WORK

A. Hidroponik

Mengenai perancangan sistem yang akan dibuat ada beberapa jurnal sebagai bahan tinjauan tugas akhir ini. yang sudah dibuat dengan penyempurnaan jaringan komunikasi dan beberapa sistem yang lain dengan banyaknya jumlah tumbuhan yang beragam serta sistem akan berguna kedepannya

Fuzzy Mamdani Implementation for Hydroponic Water Content Automation yang diterbitkan pada tahun 2018 dengan penulis Ahmad Cucus¹, Robby Yuli Endra, Maria Shusanti mengenai sistem hidroponik yang mereka pakai dengan menggunakan fuzzy yang dimana mereka menerapkan dalam sistem DIP (Drip Irrigation System) dimana variabel yang mereka kontrol adalah PPM, pH dan suhu pada air nutrisi yang digunakan, pada paper ini dijelaskan bagaimana mereka menerapkan fuzzy dengan 7 tanaman yang ada yang dengan melakukan penyesuaian yang mereka buat dan tanpa jelas keluaran linguistic fuzzy mereka [16].

Implementasi Fuzzy Controller untuk Pengaturan pH dan Nutrisi pada Sistem Hidroponik Nutrient Film technique yang diterbitkan pada tahun 2016 dengan penulis Dian Pancawati dan Andik Yulianto pada jurnal kali ini dibahas secara terperinci berapa rules yang mereka gunakan dalam fuzzy mereka, dengan keluaran untuk fuzzy berupa valve yang ditentukan keluarannya tidak seperti pada jurnal yang pertama meninjau dari sistem yang mereka, mereka belum menyertakan alat komunikasi nirkabel layaknya Wifi, Bluetooth, dsb [17].

Implementation of Real-Time Fuzzy Control for NFT-Based Hydroponic System on Internet of Things

Environment yang diterbitkan pada tahun 2016 dengan penulis Desta Yolanda, Hilwadi Hindersah, Febrian Hadiatna, Muhammad Agus Triawan pada paper kali ini mereka menggunakan relay sebagai output sistem dan sudah memiliki topologi komunikasi nirkabel antara mesin ke manusia dengan menggunakan GSM(Global System for Mobile Communication)berbasis Web mereka juga sudah menyertakan input dan output secara jelas beserta persamaan yang digunakan dalam percobaan mereka [18].

Control System for Nutrient Solution of Nutrient Film Technique Using Fuzzy yang diterbitkan pada tahun 2015 dengan penulis Muhammad Naufal Rauf Ibrahim, Mohamad Solahudin, Slamet Widodo pada paper menggunakan actuator berupa relay yang dikontrol berdasarkan fuzzy dan pada sistem kali ini mereka hanya menggunakan EC atau nutrisi sebagai variable yang dikontrol oleh sistem tersebut dan menggunakan PC (Personal Computer) sebagai pengamatannya yang dimana tanpa menggunakan komunikasi nirkabel seperti WiFi, Bluetooth, dsb menurut mereka fuzzy sangat meminimalisi error dibanding dengan menggunakan PID (proportional-integral-derivative) [19].

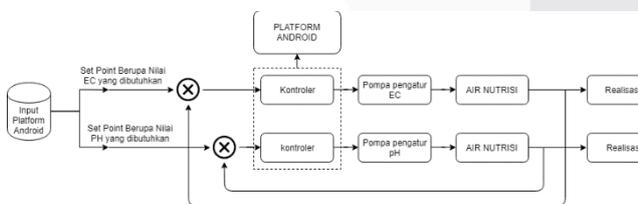
III. PERANCANGAN SISTEM

Gambaran secara umum bagaimana sistem bekerja pada perangkat smart hydroponic dengan berdasar pada jaringan-jaringan yang support IoT (Internet of Thing). untuk gambaran seluruh sistem adalah sebagai berikut :

1. Seluruh daya yang digunakan berdasarkan sumber daya PLN
2. Sistem dapat mengendalikan pH pada larutan air secara otomatis
3. Sistem dapat mengendalikan nutrisi yang dibutuhkan oleh suatu tanaman secara otomatis.

A. Sistem Pengontrol pH dan Nutrisi

Sistem untuk pengatur keasamaan adalah dimana suatu sistem dapat mengatur keasamaan pada cairan nutrisi sistem hidroponik dengan setpoint tertentu yang ditetapkan oleh UE atau otomatis dengan cloud system dengan demikian dapat mencapai target panen tumbuhan yang diinginkan, berikut adalah diagram blok dari sistem penagtur keasamaan.



Gambar 3. 1 Diagram Blok Sistem Pengontrol pH dan Nutrisi Berdasarkan gambar di atas masing-masing memonitori untuk EC dan dan tingkat keasamaan atau pH berbasis IoT Android yang dijelaskan sebagai berikut :

1. Input berupa set point dari platform android yang terintergrasi dengan sistem kontrol yang akan dibuat, untuk dapat dilakukan di smartphone dengan mudah secara otomatis atau manual dan sudah dikerjakan pada tugas akhir lainnya.
2. Controller yang digunakan adalah Mega 2560 PRO MINI yang berfungsi sebagai “otak pengontrol” dari sistem

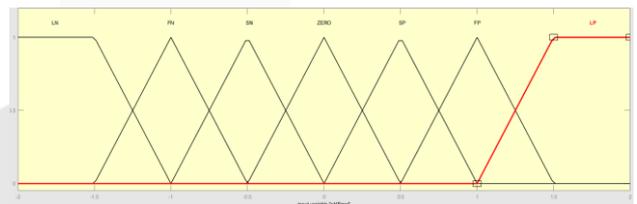
tersebut untuk mengolah sinyal serta dan memberikan umpan balik yang terhubung dengan module SIM 7000E pada jaringan NB-IoT

3. Sensor yang digunakan pada tugas akhir ini adalah sensor pH E201 probe dilengkapi dengan modul sensor pH-4502C dan sensor Sensor akan mengambil data dari plan dan selanjutnya data tersebut dikirim ke mikrokontroller nilai sensor digunakan sebagai input dalam sistem fuzzy nantinya.
4. Pompa peristaltic yang digunakan sebanyak empat buah yang dimana digunakan untuk pengaturan pH UP, pH Down, Nutrisi A, dan Nutrisi B.
5. Cairan nutrisi untuk tanaman hidroponik berupa plant yang akan dikontrol dalam tugas akhir ini.
6. Pada tugas akhir kali ini menggunakan platform Android pada smartphone sebagai monitor serta input yang akan digunakan oleh UE (user experience)

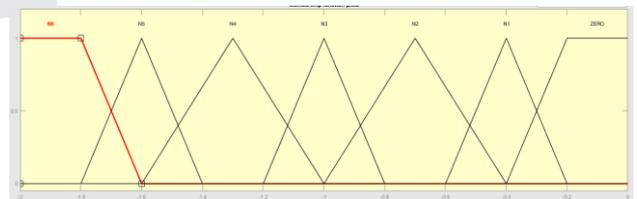
block fuzzy control digunakan untuk menyesuaikan lamanya relay untuk on dan off pada keadaan tertentu yang kemudian dengan melakukan trial and error pada sistem agar mengetahui ketepatan parameter lingkungan yang ada dan berikut adalah diagram alur untuk mengatur tingkat keasamaan.

B. Desain Sistem Kontrol

Fuzzy inferences system adalah sebuah kerangka perhitungan berdasarkan konsep teori himpunan fuzzy dan pemikiran fuzzy yang digunakan dalam penarikan kesimpulan atau suatu keputusan (Kusumadewi, 2016). Dengan menggunakan sistem fuzzy ini kita tidak perlu membutuhkan spesifikasi sistem yang komplit dan dapat diterapkan secara optimal pada sistem kontrol dengan menggunakan logika manusia dan formula fuzzification, pengetahuan dasar dan defuzzification, pada pembuatan alat ini digunakan digunakan pengaturan pada fuzzy yaitu (MAX-MIN) dan Mamdani Minimum untuk inferensi dan komposisi serta untuk defuzzifikasi yaitu center of area.



Gambar 3. 2 kurva error pada pH Gambar 3.2 digambarkan himpunan yang memiliki perpotongan antara satu dengan lainnya.

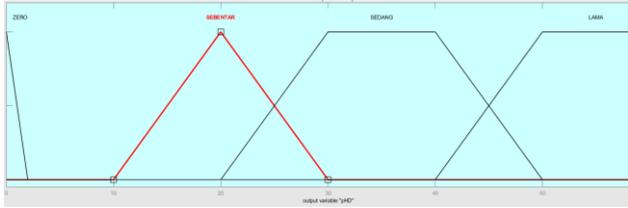


Gambar 3. 3 Kurva error EC

sedangkan pada Gambar 3.3 digambarkan himpunan yang memiliki perpotongan antara satu dengan lainnya.

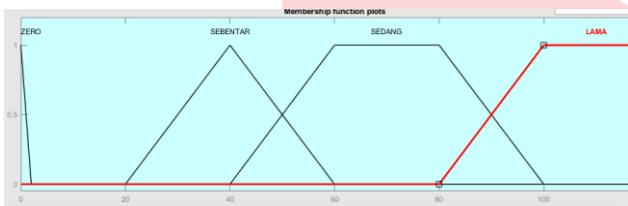
Penelitian kali ini aktuator yang digunakan adalah pompa peristaltik yang akan dikontrol lama waktunya berdasarkan lamanya pompa yang disambungkan pada

relay dual channel sebanyak 3 buah pompa dengan relay sebanyak 2 buah.



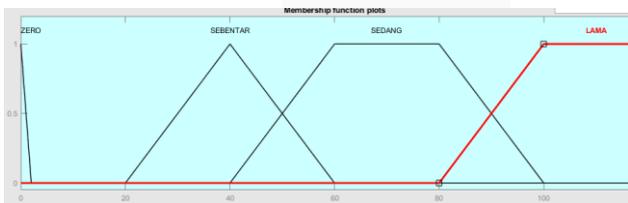
Gambar 3. 4 Kurva waktu pompa pH Down (s)

Gambar 3.4 anggota untuk waktu pH down yang berapa lama relay untuk aktif menyalakan pompa peristaltic tersebut, untuk lama pompa yang akan mengeluarkan berapa ml cairan pH down yang akan menstabilkan cairan yang ada.



Gambar 3. 5 Kurva waktu pompa pH Up (s)

Gambar 3.5 anggota untuk waktu pH down yang berapa lama relay untuk aktif menyalakan pompa peristaltic tersebut, untuk lama pompa yang akan mengeluarkan berapa ml cairan pH up yang akan menstabilkan cairan yang ada.



Gambar 3. 6 Kurva waktu pompa ABmix (s)

pada gambar 3.6 anggota untuk waktu pH down yang berapa lama relay untuk aktif menyalakan pompa peristaltic tersebut, untuk lama pompa yang akan mengeluarkan berapa ml cairan pH up yang akan menstabilkan cairan yang ada .

C. Studi Kasus

Diberikan input Set point berdasarkan pakar pada tanaman selada, yaitu pH = 6,5 dan EC = 1,8, dengan pH awal EC air ledeng adalah 7,8 dan 0,57. dengan demikian didapat errorpH sebesar 1,3 dan errorEC sebesar -1,2.

1. Fuzzifikasi

Tabel 3. 1 Tabel fuzzifikasi.

Derajat Keanggotaan	Persamaan	Hasil
μ_{FP}	$\frac{1.5 - 1.3}{1.5 - 1}$	0,4
μ_{LP}	$\frac{1.3 - 1}{1.5 - 1}$	0,6

μ_{LP}	$\frac{-1 - (-1.23)}{-1 - (-1.3)}$	0,77
------------	------------------------------------	------

Tabel 3.1 adalah tabel Fuzzifikasi yang didapat dalam studi kasus yang sudah dipaparkan sebelumnya dan didapat derajat keanggotaan $\mu_{FP} = 0.4$, $\mu_{LP} = 0,6$ dan $\mu_{N4} = 0,77$.

2. Operasi logika fuzzy

- Rule (38) If (pHError is FP) and (ECError is N4) then (pHD is SEDANG1) (pHU is ZERO2) (ABMIX is SEDANG3)
 - Operasi logika $\rightarrow \min(0,4, 0,77) = 0,4$
 - Implikasi \rightarrow fungsi min

- Rule (45) If (pHError is LP) and (ECError is N4) then (pHD is LAMA1) (pHU is ZERO2) (ABMIX is SEDANG3)
 - Operasi logika $\rightarrow \min(0,6, 0,77) = 0,6$
 - Implikasi \rightarrow fungsi min

3. Agregasi

- Rule (38) pHD [Sedang1] = 0,4



Gambar 3. 7 Hasil rule fuzzy ke-38.

- Rule (45) pHD [Lama1] = 0,6



Gambar 3. 8 Hasil rule fuzzy ke-45.

- HASIL AGREGASI MAX pHD



Gambar 3. 9 Hasil agregasi untuk pHD (pH Down).

$$\mu[z] = \begin{cases} \frac{z - 20}{30 - 20} ; & 20 \leq z \leq 24 \\ 0,4; & 24 \leq z \leq 44 \\ \frac{z - 40}{50 - 40} ; & 44 \leq z \leq 46 \\ 0,6; & z \geq 46 \end{cases}$$

Gambar 3.7 adalah hasil agregasi fungsi max dari dua buah rules yang ada, yaitu rule ke-38 dengan derajat maksimal adalah 0,4 pada gambar 3.8 dan rule ke-45 dengan derajat maksimal 0,6 pada gambar 3.9, yang mana hasil dari gabungan tersebut digunakan dalam tahap selanjutnya yaitu Defuzzifikasi dengan metode centroid.

4. Defuzzifikasi \rightarrow Metode centroid pada pHD(s)

$$z^* = \frac{\int z \cdot \mu_c(z) dz}{\int \mu_c(z)} = \frac{M}{A}$$

Tabel 3. 2 Persamaan model pada Phd (pH Down).

M (Model)	Persamaan	Hasil
1	$\int_{20}^{24} \frac{z-20}{30-20} dz$	18,13
2	$\int_{24}^{44} 0.4z dz$	272
3	$\int_{44}^{46} \frac{(z-40)z}{50-40} dz$	45,067
4	$\int_{44}^{46} \frac{(z-40)z}{50-40} dz$	445,2
TOTAL		780,397

Tabel 3.2 adalah persamaan model pada sistem pH, yaitu dengan cara menjumlahkan semua hasil integral setiap model yang dipetakan pada tahap agregasi dengan demikian terdapat 4 buah bangun model yang dapat dilakukan integral dan didapat hasil model pada tahap Defuzzifikasi adalah 730,39.

Tabel 3.3 Tabel persamaan luas penampang pada PhD (pH Down).

A (Luas)	Persamaan	Hasil
1	$\frac{1}{2}(4 \times 0,4)$	0,8
2	$29 \times 0,4$	8
3	$\frac{1}{2}(0,6 + 0,4) \times 2$	1
4	$14 \times 0,6$	8,5
TOTAL		18,2

Tabel 3.3 adalah persamaan luas (A) dengan cara menghitung luas setiap bangun yang dipetakan pada tahap agregasi dengan demikian terdapat 4 buah bangun model yang dapat dilakukan integral dan didapat hasil model pada tahap Defuzzifikasi adalah 18,2

Hasil Defuzzifikasi pH adalah $\frac{730,397}{18,2} = 42,87$

Hasil Defuzzifikasi pada sistem pH Down, yaitu 42,87, berarti pompa pH (pH Down) akan menyala pada selama 42,87 detik, yang dimana hasil Defuzzifikasi akan menyalakan pompa selama 42,87 detik.

IV. PENGUJIAN DAN ANALISIS

Bab ini kami membahas bagaimana sistem bekerja dan pengujian sensor yang digunakan dengan kalibrasi berdasarkan pH Meter dan TDS meter sebagai acuan kalibrasi, dan

kemudian akan dilakukan analisis serta perancangan terhadap sistem yang akan dikerjakan, berikut adalah beberapa pengujian yang dilakukan :

1. Realisasi Alat

Realisasi alat yang sudah dirancang dengan mendemonstrasikannya.

2. Pengujian Sensor

Pengujian sensor bertujuan mendapatkan nilai akurat sebuah sensor berdasarkan alat ukur sebagai dasar pengukuran, dan dapat digunakan dengan baik pada alat yang di desain.

3. Pengujian pompa

Pompa diuji agar dapat mengetahui tingkat kepresisian pompa untuk mengalirkan cairan AB-Mix, pH up dan pH down.

4. Pengujian sistem fuzzy

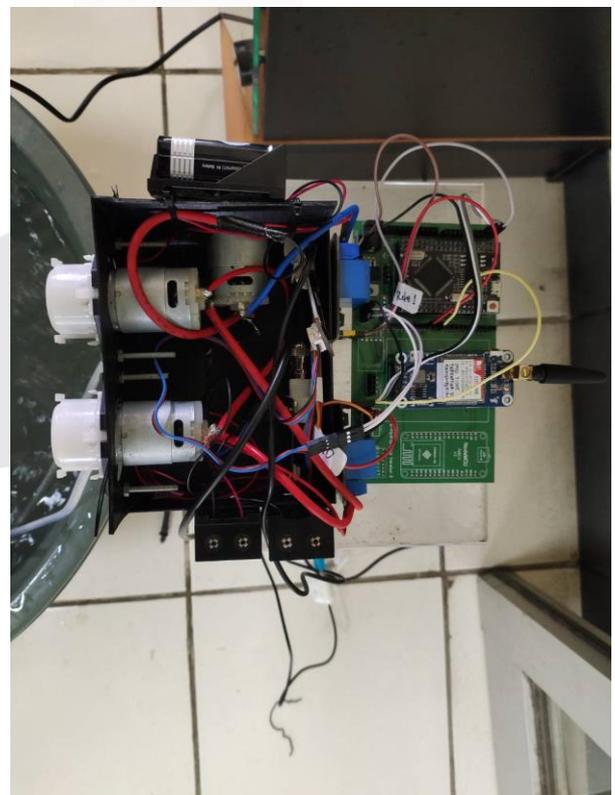
Melakukan pengujian rules fuzzy apakah rules Sudah cocok dengan sistem yang akan digunakan dengan melihat, seperti kestabilan sistem yang yang dibuat.

5. Pengujian sistem komunikasi

Apakah sistem dapat berkomunikasi dengan baik melalui perantara jaringan (NB-IoT).

A. Realisasi alat

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan sistem kedali pada cairan nutrisi hidroponik dengan menggunakan komunikasi NB-IoT pada realisasi alat yang dirancang kali ini dengan 2 buah sensor, yaitu : Sensor EC dan Sensor pH dengan modul komunikasi Waveshare SIM7000E dengan relay dual channel sebanyak 2 buah



Gambar 4. 1 Penampakan atas alat kendali

Hasil realisasi alat yang dirancang dapat dilihat di Gambar IV-1 dan Gambar IV-2, seperti yang sudah di rencanakan dengan menggunakan PCB yang dicetak dengan menggunakan 2 buah sensor, yaitu: Sensor pH dan Sensor EC dengan menggunakan modul komunikasi SIM7000E yang terhubung pada jaringan NB-IoT dengan menggunakan relay dual channel sebanyak dua buah yang disambungkan kepada 3 buah pompa, yaitu : pompa pH UP, pompa pH DOWN, dan pompa ABMIX

B. Pengujian Sensor

Parameter pengujian :

$$|\text{Error}| = |\text{Nilai Jenis Sensor} - \text{Nilai Kalibrator}| \quad 4.1$$

$$\text{Percent Error (\%)} =$$

$$\left(\frac{(\text{Nilai "nilai sensor"} - \text{Nilai Kalibrator})}{\text{Nilai Kalibrator}} \right) \times 100 \quad 4.2$$

$$\text{Akurasi} = 100 - \text{Percent Error} \quad 4.3$$

Persamaan 4.1, persamaan 4.2 dan persamaan 4.3 digunakan untuk mengetahui nilai error, percent error dan akurasi untuk mendapatkan data pengujian akurasi sensor. Pengujian dilakukan pada dua sensor yaitu sensor pH dan sensor TDS dengan tingkat akurasi adalah 97,759% pada sensor pH dan 91,829% pada sensor EC.

C. Pengujian Pompa

Pengujian pompa pada sistem ini adalah dilakukan dengan berapa jumlah cairan yang dikeluarkan pada saat pompa sudah aktif. Tujuan pada pengujian ini adalah mengetahui jumlah cairan yang akan diimplementasikan pada sistem fuzzy itu sendiri.

Cara pengujian :

Diberikan sample cairan AB-mix, pH up dan pH down kemudian dihitung dengan menggunakan stopwatch, dimana stopwatch mulai menyala ketika pompa sudah menghisap cairan AB-mix, pH up dan pH down dan melakukan konfigurasi pada catu daya dengan menggunakan baterai 9Vt.

Tabel 4. 1 Uji coba pompa dengan menggunakan cairan pH Down, pH Up dan ABmix

No	Cairan (ml)	Waktu pH Down (s)	Waktu aktif Up (s)	Waktu aktif ABmix (s)
1	10	7.01	7.03	7.04
2	25	17.03	17.09	17.2
3	50	32.04	32.04	32.14
4	75	47.11	46.11	46.21
5	100	60.04	60.07	60.21
6	150	90.08	90.09	90.13

7	200	118	118.11	118.17
8	250	148.01	148.11	148.19
9	300	178.05	178.05	178.17
10	350	208.03	208.01	208.29
11	400	238	238.02	238

Pengujian bertujuan untuk menetapkan acuan pembuatan fuzzy rules maupun tahapan fuzzifikasi, agar didapat hasil yang akurat dan tidak menghasilkan overshoot yang tinggi.

Tabel 4.1 adalah hasil dari pengujian pompa dengan menghitung berapa jumlah volume 3 jenis cairan yang digunakan pada penelitian kali ini, yaitu pH Down, Ph Up, dan ABmix.

D. Pengujian Rules Fuzzy

Pengujian dilakukan bertujuan dengan hasil pada Tabel 4.2. agar sistem dapat bekerja secara seksama tanpa adanya error di lapangan, pada uji coba kali ini dilakukan sebanyak 49 kali dengan validasi pakar hidroponik dan menggunakan angka acak melalui fitur Arduino. Dengan pH (pH Down), pHU (pH Up).

Tabel 4. 2 Uji Fuzzy rules terhadap pompa

No	Error pH	Error EC	pHD pump	pHU pump	ABmix pump	Check
1	-1,51	-1,93	0	26,11	104,44	OK
2	-1,42	-1,27	0	25,96	70	OK
3	-1,28	-0,7	0	21,1	40	OK
4	-1,22	-0,56	0	20,5	40	OK
5	-0,91	-0,77	0	16,55	40	OK
6	-0,35	-1,6	0	9,08	89,43	OK
7	0,42	-1,08	19,35	0	70	OK
8	-0,97	-0,13	0	17,06	0	OK
9	-0,71	-0,73	0	14,26	40	OK
10	0,12	-1,6	16,48	0	83,51	OK
11	1,69	-0,97	51,94	0	67,61	OK
12	1,57	-0,91	51,3	0	63,25	OK
13	-0,57	-0,4	0	13,79	40	OK
14	0,78	-1,01	30,66	0	60,02	OK
15	-0,65	-1,84	0	13,53	103,25	OK
16	0,26	-1,04	19,54	0	70	OK
17	-1,33	-0,88	0	20,8	58,57	OK
18	-1,67	-1,9	0	26,11	104,44	OK
19	1,49	-0,21	51,09	0	26,69	OK
20	-1,79	-0,21	0,67	26,06	26,69	OK
21	0,72	-0,33	28,02	0	38,65	OK
22	-0,64	-0,07	0	13,39	0	OK
23	-0,55	-1,15	0	12,09	54,35	OK
24	-1,09	-1,09	0	18,99	70	OK

25	1,57	-0,06	52,22	0	0,67	OK
26	1,53	-1,99	52,22	0,67	104,44	OK
27	1,44	-0,92	47,37	0	64,13	OK
28	0,9	-1,32	32,97	0	70	OK
29	-0,04	-0,76	0	4,83	40	OK
30	-0,97	-0,7	0	17,06	40	OK
31	0,66	-0,78	27,33	0	40	OK
32	-1,76	-0,51	0	25,54	40	OK
33	-1,47	-1,99	0	25,03	104,22	OK
34	0,08	-0,23	0	5,96	34,13	OK
35	-0,67	-1,72	0	13,89	102,82	OK
36	-0,19	-1,02	0	9,64	67,48	OK
37	-1,87	-1,65	0	25,87	103,46	OK
38	0,14	-1,35	16,9	0	70	OK
39	-0,64	-1,37	0	10	40	OK
40	-1,31	-1,75	0	21,61	102,91	OK
41	-1,06	-0,85	0	18,7	54,35	OK
42	-0,99	-1,71	0	17,31	102,6	OK
43	-0,05	-0,83	0	5,74	47,89	OK
44	-1,96	-0,95	0	25,87	66,38	OK
45	0,98	-1,49	34,28	0	83,73	OK
46	1,23	-0,12	41,12	0	0,76	OK
47	-1,18	-0,95	0	19,9	66,09	OK
48	1,66	-0,48	51,41	0	40	OK
49	1,37	-0,84	44,07	0	52,52	OK

adalah tabel pengujian aturan-aturan yang dimana Pengujian dilakukan 49 kali dengan beragam kondisi, untuk pengujian pada kendali *fuzzy* telah divalidasi pakar, dan untuk hasil ini sudah diverifikasi oleh pakar. Sistem ini memiliki tingkat akurasi sebagai berikut

$$Akurasi = \frac{\Sigma \text{ validasi pakar}}{\Sigma \text{ Percobaan}} \quad (4.1)$$

$$Akurasi = \frac{49}{49} \times 100\% = 100\% \quad (4.5)$$

Jadi dapat disimpulkan dari persamaan 4.4 dan persamaan 4.5 bahwa sistem dapat bekerja secara optimal dan menggantikan pakar dalam pengontrolan kendali pada larutan nutrisi penampungan air hidroponik

E. Pengujian Fungsi Internet of Thing

Alat komunikasi yang digunakan pada penelitian kali ini adalah Waveshare dengan SIMCOM7000E yang terkoneksi dengan jaringan NB-IoT, yang dimana untuk jaringan NB-IoT sudah dibahas pada point 2.F.

Cara menghubungkan SIMCOM7000E ini adalah dengan melakukan pemeriksaan terhadap GPPRS dengan cara menggunakan AT COMMAND, yaitu AT+CGATT? Apabila respon sudah CGATT=1 menandakan perangkat sudah dapat terkoneksi dengan jaringan GPRS

Hubungkan SIMCOM7000E kepada APN yang sesuai, pada penelitian kali ini digunakan jaringan NB-IoT, untuk prosedur APN(Access Point Name) yang digunakan oleh

Telkomsel adalah “nblinternet”, apabila menggunakan penyedia jaringan lain alangkah baiknya dengan melakukan pemeriksaan terhadap APN NB-IoT yang tersedia pada penyedia jaringan.

Bagian terpenting pada penelitian ini ANTARES.id sebagai broker MQTT yang dimana kita membutuhkan access key yang dimana itu didapat pada pembuatan user ANTARES pada menu account, dan untuk pembuatan Application serta device sebagai penerima data sensor yang dibaca. Berikut adalah delay yang didapat untuk pengiriman data melalui jaringan NB-IoT, dari Arduino menuju ANTARES.

Tabel 4. 3 Uji delay pada pengiriman VIA NB-IoT

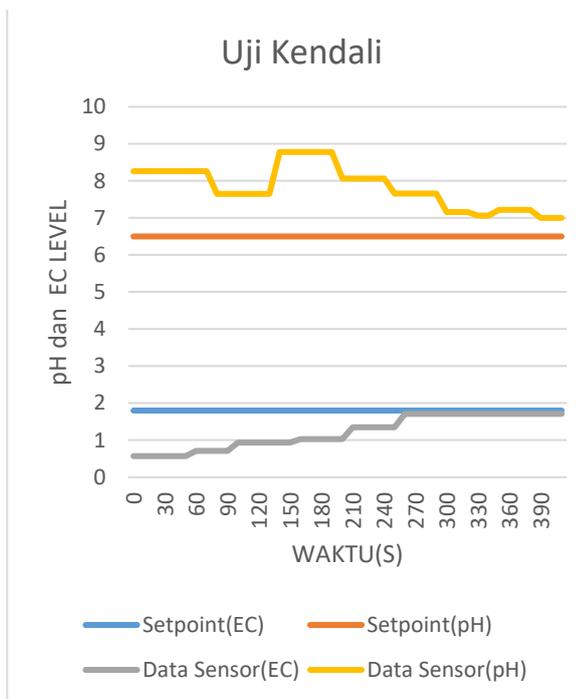
No.	Kirim	Datang	Delay	Data terima	Jaringan
1	02.22.02,5	02.22.03	00.00.00,5	OK	NB-IoT
2	02.22.08,1	02.22.09	00.00.00,9	OK	NB-IoT
3	02.22.13,8	02.22.15	00.00,01,2	OK	NB-IoT
4	02.22.19,4	02.22.20	00.00.00,6	OK	NB-IoT
5	02.22.25,1	02.22.26	00.00.00,9	OK	NB-IoT
6	02.22.30,7	02.22.32	00.00,01,3	OK	NB-IoT
7	02.22.36,4	02.22.37	00.00.00,6	OK	NB-IoT
8	02.22.42,1	02.22.43	00.00.00,9	OK	NB-IoT

Tabel 4.3 dilakukan uji delay yang dimana sensor mendeteksi dan dikirim menuju ANTARES melalui jaringan NB-IoT dan didapatkan delay dengan maximal delay adalah 1,2 detik, bahkan 0,5 detik pada beberapa data pengiriman dengan kekuatan sinyal sebesar -69dBm pada lokasi penelitian, dengan demikian untuk delay yang didapat sangat minim.

Pengujian NB-IoT memiliki kendala pada penerima data dari ANTARES menuju Arduino yang menyebabkan *payload* terputus, serta kendala IMEI pada SIM7000E yang dimana untuk modul yang tidak terdaftar pada KEMENPERIN terjadi pemutusan jaringan yang penulis tidak tahu kapan pemutusan jaringan itu terjadi.

F. Pengujian Fungsi Kendali

Pada pengujian kali ini dilakukan dengan menggunakan air ledeng di dalam Telkom university sebagai media tanam pada hidroponik yang memiliki ph awal sebesar 8.26 dan EC awal sebesar 0.57 dengan memasukan set point untuk EC dan pH masing-masing adalah 1,7 EC dan 6.0 untuk pH yang mana itu merupakan set point untuk tanaman selada.



Gambar 4. 2 Grafik perubahan cairan ph dan EC setelah dikendalikan.

Grafik Gambar IV-1 menjelaskan bahwa diperlukan waktu agar sistem menjadi stabil pada media tanam hidroponik oleh karena itu pada penelitian kali ini sistem diberi jeda selama 60 detik sebagai waktu tunggu untuk larutan yang dimasukan serta larutan pada bak penampungan cairan dapat bercampur, untuk pengujian pH dan EC mulai stabil pada detik 300 dan 260 secara berturut-turut dengan melakukan kendali sebanyak 11 kali iterasi.

G. Pengujian Delay

Pengujian delay dilakukan supaya mendapatkan nilai delay yang tidak terlalu lama maupun sebentar, dimana cairan hidroponik diberi jeda dalam waktu tertentu agar larut sempurna dan stabil pada pembacaan sensor.

Tabel 4. 4 Uji Delay

No	Cairan	Waktu (s)
1	ABMIX	47
2	pH UP	32
3	pH DOWN	41

Pengujian ini dilakukan pada cairan hidroponik dengan menggunakan pompa penghasil gelombang air, dengan demikian air dapat diaduk otomatis tanpa menggunakan tangan lagi, berikut adalah spesifikasi dari pompa gelombang tersebut

V. KESIMPULAN DAN SARAN

bab ini akan menjelaskan beberapa kesimpulan serta saran yang didapat melalui penelitian ini, dengan demikian dapat ditarik kesimpulan serta beberapa masukan yang membangun berdasarkan penelitian ini.

1. Sistem yang sudah dirancang mampu mengendalikan keluaran cairan pada pompa pH baik pH Up maupun pH Down serta dapat mengontrol keluaran pompa ABmix dengan menggunakan FLC (Fuzzy Logic Control) dengan 100% akurat dan diverifikasi oleh pakar, dengan iterasi sebanyak 11 kali dengan overshoot 0% dan dapat berjalan 100% dengan uji coba pada tanaman selada.

2. didapat nilai error yang rendah dari kedua sensor, yaitu: sensor pH dan sensor EC dengan nilai error pada sensor pH 1,06%. dan sensor EC sebesar 8,17% dengan tingkat akurasi Sensor pH dan EC berturut-turut adalah 98,93%. dan 91,83%.

3. Pada sistem monitoring dapat berjalan 100% yang dilakukan pada cairan hidroponik selama 1 menit sekali dengan jeda yaitu 1,3 detik maximal dengan sinyal -69 dBm pada melalui jaringan NB-IoT telkomsel dengan menggunakan jaringan Telkomsel.

4. FLC (Fuzzy Logic Control) digunakan untuk mengontrol berapa lama pompa mengeluarkan cairan pH up, pH Down dan ABmix sistem memberikan jeda selama 45 detik agar cairan dapat tercampur dan stabil terlebih dahulu, dengan menggunakan pompa pengaduk waktu 45 detik sudah cukup untuk memberi waktu agar cairan dapat berubah terlebih dahulu.

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang dilakukan pada tugas akhir dapat disimpulkan sebagai berikut :

B. Saran

Berdasarkan pengujian dan Analisa pada tugas akhir ini, maka didapat saran yang dapat dipertimbangkan untuk mengembangkan penelitian tugas akhir ini sebagai berikut :

1. Memberikan kendali untuk mengurangi nilai EC pada cairan hidroponik

2. Melakukan pengecekan IMEI terhadap perangkat seluler yang akan digunakan terutama SIM 7000E yang digunakan terutama di Indonesia dan beberapa negara dengan pemeberlakuan blokir IMEI penulis pada penelitian skripsi ini.

VI. REFERENNSI

- [1] A. Yanuar, H. Putra, and W. S. Pambudi, "Tanaman Bayam Pada Hidroponik Nft (Nutrient Film Technique)," vol. 2, no. 4.
- [2] N. Al Karina, "Perancangan Sistem Alir Larutan Nutrisi Otomatis Pada Tanaman Hidroponik Dengan Mikrokontroler Arduino Uno Berbasis Android," Univ. Sumatera Utara, 2017.
- [3] C. B. Mwakwata, H. Malik, M. M. Alam, Y. Le Moullec, S. Parand, and S. Mumtaz, "Narrowband Internet of Things (NB-IoT): From Physical (PHY) and Media Access Control (MAC) Layers Perspectives," Sensors (Basel), vol. 19, no. 11, 2019.
- [4] T. E. Tallei and I. F. M. R. A. A. Adam, Hidroponik untuk Pemula, no. January. 2018.
- [5] I. Syamsu Roidah Fakultas Pertanian Ida, "Pemanfaatan Lahan Dengan Menggunakan Sistem

Hidroponik,” J. Univ. Tulungagung BONOROWO Tahun, vol. 1, no. 2, pp. 43–50, 2014.

[6] Y. Sastro and N. A. Rokhmah, “Hidroponik Sayuran di Perkotaan,” *Pertan. Perkota.*, pp. 1–28, 2016.

[7] V. Sutojo, T; Mulyanto, Edi; Suhartono, “Kecerdasan Buatan,” pp. 211–235, 2011.

[8] F. Démoncourt, “Introduction to fuzzy logic systems,” *Adv. Textb. Control Signal Process.*, no. 9781852339845, pp. 313–324, 2005.

[9] A. Saelan, “Logika Fuzzy,” *Strukt. Disk.*, vol. 1, no. 13508029, pp. 1–5, 2009.

[10] Automationid, “Mamdani: Metode Inferensi Fuzzy Terpopuler,” 2016. [Online]. Available: <http://www.automationid.com/2016/mamdani-metode-inferensi-fuzzy-terpopuler.html>. [Accessed: 05-Oct-2019].

[11] I. K. Putri, “Aplikasi Metode Fuzzy Min-Max (Mamdani) Dalam Menentukan Jumlah Produksi Perusahaan,” UIN Alauddin Makassar, 2017.

[12] T. Iot, “introduction_to_IoT_november,” no. November, pp. 1–6, 2013.

[13] GSMA, “LTE-M Deployment Guide to Basic Feature Set Requirements,” no. April, pp. 0–26, 2017.

[14] J. Chen, K. Hu, Q. Wang, Y. Sun, Z. Shi, and S. He, “Narrowband Internet of Things: Implementations and Applications,” *IEEE Internet Things J.*, vol. 4, no. 6, pp. 2309–2314, 2017.

[15] M. Chen, Y. Miao, Y. Hao, and K. Hwang, “Narrow Band Internet of Things,” *IEEE Access*, vol. 5, no. October, pp. 20557–20577, 2017.

[16] A. Cucus, R. Endra, and M. F, “Fuzzy Mamdani Implementation for Hydroponic Water Content Automation,” no. 26, 2019.

[17] D. Pancawati and A. Yulianto, “Implementasi Fuzzy Logic Controller untuk Mengatur Ph Nutrisi pada Sistem

Hidroponik Nutrient Film Technique (NFT),” *J. Nas. Tek. Elektro*, vol. 5, no. 2, p. 278, 2016.

[18] 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,” *Proc. 2016 6th Int. Conf. Syst. Eng. Technol. ICSET 2016*, pp. 153–159, 2017.

[19] M. N. R. Ibrahim, M. Solahudin, and S. Widodo, “Control system for nutrient solution of nutrient film technique using fuzzy logic,” *Telkomnika (Telecommunication Comput. Electron. Control.*, vol. 13, no. 4, pp. 1281–1288, 2015.

[20] D. F. Komala, “OTOMATISASI PENGENDALIAN PENCAHAYAAN UNTUK TANAMAN SELADA (*Lactuca sativa* L.) DENGAN SISTEM TANAM HIDROPONIK DI DALAM GREENHOUSE,” 2017.

[21] RobotDyn, “Mega 2560 PRO MINI, ATmega2560.” [Online]. Available: <https://robotdyn.com/mega-2560-pro-embed-ch340g-atmega2560-16au.html>. [Accessed: 12-Nov-2019].

[22] DFROBOT, “PH meter SKU SEN0161.” [Online]. Available: https://wiki.dfrobot.com/PH_meter_SKU__SEN0161_.

[23] Simtech, “SIM 7000E Hardware Design.”

[24] DFROBOT, “Gravity: Analog Electrical Conductivity Sensor.” [Online]. Available: https://wiki.dfrobot.com/Gravity__Analog_Electrical_Conductivity_Sensor__Meter_V2__K%3D1__SKU_DFR0300. [Accessed: 26-Nov-2019].

[25] URBAN HIDROPONIK, “Table pH, EC, PPM Tanaman Hidroponik.” [Online]. Available: <https://www.urbanhidroponik.com/2016/04/table-ph-ec-ppm-tanaman-hidroponik-lengkap.html>. [Accessed: 04-Jun-2020].