

Perancangan dan Implementasi Metode Kontrol Fuzzy Logic Mamdani pada Sistem Kontrol TDS dan pH Hidroponik

Muhammad Willy Hamdani^{1*}, Arnisa Stefanie², Yuliarman Saragih³

^{1*,2,3} Universitas Singaperbangsa Karawang

*1810631160054@student.unsika.ac.id

Abstract

During this time the officers will have to manually check the water changes that occur in the values-the value of every nutritional parameter. Manual checkups were deemed less effective because officials had to do it themriodically. In recent research, design and implement TDS high-value conditioning device on the hydroponic system. These devices, wan condition watethe r quality of TDS and pH value in hydroponics systems. It uses a fuzzy logic Mamdani control method that can control the peristaltic pump controlled by the microcontroller ArduinoMega 2560 to supply the correct dose of nutrients. Thus, reducing the value of error in conditioning the value of nutrition. The methods used in the study are quantitative, descriptive, and evaluative methods. The first stage of this study is a case study and then data collection is carried out. The design system is run by software and hardware, which design will be implemented for nutrients conditioning devices in the hydroponic system. Next, it was developed a nutrient-level conditioning device in the hydroponic system, where trials were made. The results were obtained that the tools worked well and the SHYSY system could do the conditioning according to the designs made, thereby increasing the efficiency of time and reducing human error.

Keywords : Nutrition Controlling, pH Controlling, Hydroponic, Arduino Mega 2560, Fuzzy Logic Mamdani

Abstrak

Selama ini petugas harus melakukan pengecekan secara manual perubahan kuliatas air yang terjadi pada nilai-nilai setiap parameter nutrisi. Pengecekan secara manual dianggap kurang efektif karena petugas harus melakukannya secara berkala . pada penelitian kali ini, merancang dan memimplementasikan sebuah alat Pengkondisian Nilai Kadar TDS dan pH pada Sistem Hidroponik. Alat ini, dapat mrrngkondisikan kualitas air berupa nilai TDS pada sistem hidroponik. Alat ini menggunakan metode kontrol *fuzzy logic* Mamdani yang dapat mengkontrol *peristaltic pump* yang dikendalikan oleh mikrokontroler Arduino Mega 2560 untuk menyalurkan larutan nutrisi dengan dosis yang tepat. Sehingga, mengurangi nilai *error* dalam melakukan pengkondisian nilai nutrisi. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode kuantitatif, deskriptif dan evaluatif. Tahap pertama penelitian ini adalah studi kasus lalu dilakukan pengumpulan data. Sistem perancangan dilakukan secara *software* dan *hardware* yang nantinya perancangan tersebut akan diimplementasikan untuk pembuatan alat pengkondisian kadar nutrisi pada sistem hidroponik. Selanjutnya dilakukan pembuatan alat pengkondisian kadar nutrisi pada sistem hidroponik, untuk dilakukan uji coba. Hasil yang didapatkan bahwa alat dapat bekerja dengan baik serta sistem SHYSY yang dapat melakukan pengkondisian sesuai dengan rancangan yang telah dibuat, sehingga dapat meningkatkan efisiensi waktu dan mengurangi *human error*.

Kata kunci : Pengkondisian Nutrisi, Pengkondisian pH, Hidroponik, Arduino Mega 2560, Fuzzy Logic Mamdani

1. Pendahuluan

Kebutuhan pangan bagi manusia seperti sayuran dan buah-buahan semakin meningkat dengan seiring perkembangan jumlah penduduk. Namun hal tersebut tidak disertai dengan pertumbuhan lahan pertanian yang justru semakin sempit [1]. Berdasarkan hal tersebut untuk memenuhi kebutuhan pasokan sayur, diperlukan penerapan untuk menanam sayur pada lahan yang terbatas adalah dengan teknik bercocok tanam tanpa tanah atau hidroponik [2].

Penanaman sistem hidroponik ini memerlukan perhatian pada kadar nutrisi, dan pH agar tanaman tetap tumbuh optimal dalam proses perkembangannya. Teknik yang digunakan adalah NFT yang dikembangkan pertama kali oleh Dr. A. J. Cooper di Glasshouse Crops Research Institute Littlehampton, Inggris. *Nutrient Film Technique* (NFT) merupakan model budidaya dengan meletakkan akar tanaman pada lapisan air yang dangkal. Perakaran dapat berkembang di dalam larutan nutrisi, karena di sekeliling perakaran terdapat selapis larutan nutrisi maka sistem ini dikenal dengan nama *Nutrient Film Technique* [3].

Selama ini petugas harus melakukan pengecekan secara manual terhadap perubahan kuantitas air yang terjadi pada nilai-nilai setiap parameter nutrisi dan pH. Pengecekan secara manual dianggap kurang efektif karena petugas harus melakukannya secara berkala [4]. Petugas melakukan pengkondisian kualitas air meliputi kadar pH dan nutrisi menuju kondisi optimal juga dilakukan secara manual [5]. Pengkondisian kualitas air dilakukan, karena media tanam pada sistem hidroponik tidak mengandung nutrisi yang dibutuhkan oleh tanaman [6]. Petani hidroponik masih menggunakan sistem manual akan cukup memakan waktu untuk pemberian nutrisi dan penstabilan pH pada setiap harinya [7].

Berdasarkan pernyataan-pernyataan diatas, maka diperlukan sebuah alat yang dapat digunakan untuk memantau dan mengontrol kualitas air hidroponik. Sebuah alat yang menggunakan *peristaltic pump*

sebagai aktuator penyalur dan pengatur dosis larutan dan metode kontrol *fuzzy logic* sebagai pengambil keputusan. Metode *fuzzy logic* digunakan untuk mengontrol *peristaltic pump* agar lebih optimal [8]. *Output* diubah dari bilangan fuzzy ke bilangan tegas menggunakan metode centroid yang banyak digunakan untuk mencari *Centre of Area* (CoA) [9] [10].

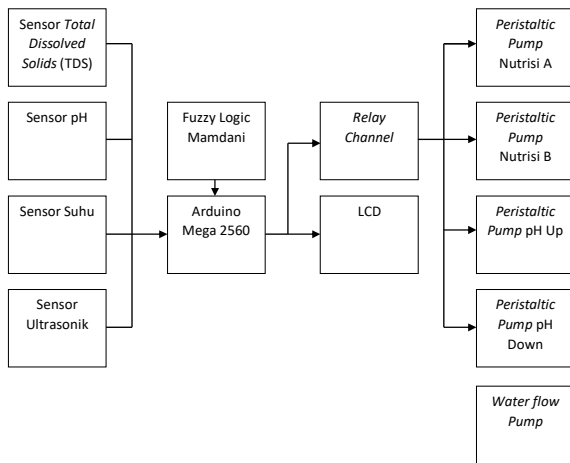
Penelitian terdahulu terkait pengaturan nilai pH dan TDS air pada system hidroponik telah dilakukan oleh banyak penelitian diantaranya adalah. Penelitian yang dilakukan oleh Lentera dan Nasuha (2020) mengenai penelitian tentang pengkondisian nilai pH yang menghasilkan rata-rata penstabilan pH sebesar 2.05% [11]. Penelitian yang dilakukan oleh Nurul, dkk (2021) mengenai pengendalian TDS yang berfokus pada metode tuning (ITAE) sebesar 4200 pada *setpoint* 1000 ppm [12]. Penelitian yang dilakukan oleh Suryatini, dkk (2021) mengenai pengendalian nutrisi hidroponik dengan tingkat keberhasilan sebesar 95.14% [13]. Penelitian oleh Indriani, dkk (2020) mengenai kontrol suhu larutan nutrisi menggunakan *fuzzy logic* dengan hasil yang baik atau suhu larutan nutrisi dapat mendekati *setpoint* [14]. Penelitian oleh Asmbangnirwana, dkk (2022) mengenai pengendalian suhu air nutrisi hidroponik NFT dengan hasil perubahan suhu air menurun mendekati *setpoint* [15]. Penelitian terdahulu tidak ada yang mengimplementasikan pengontrolan pH dan TDS air pada sebuah system hidroponik dengan sistem control berbasis *fuzzy logic*.

Penelitian ini bertujuan untuk merealisasikan sebuah alat pengkondisian nilai pH dan nutrisi secara efektif dan efisien, sehingga diharapkan system ini mampu menanggulangi permasalahan yang dihadapi oleh petani dalam mengkondisikan nutrisi dan pH pada sebuah system hidroponik [16].

2. Metode Penelitian

Prinsip kerja alat ditunjukkan pada diagram blok system yang ditunjukkan pada gambar 1. Sebagai pusat pemrosesan data

input digunakan mikrokontroller arduino, arduino banyak digunakan untuk berbagai aplikasi karena memiliki banyak keunggulan seperti pada [17], [18] juga kompatibel dengan *fuzzy logic* [19]. Arduino bertindak sebagai pusat control yang terintegrasi dengan fuzzy logic, terdapat 4 buah input system berupa sensor TDS, Sensor PH, Sensor suhu, dan sensor ultrasonik. Output berupa pump dengan perantara relay yang mendapat sinyal dari arduino, dan LCD untuk menampilkan tampilan nilai pembacaan atau nilai output pada system. Untuk ilustrasi bagaimana alat tersebut bekerja ditunjukkan pada gambar 2, terdapat box untuk perangkat elektronik termasuk mikrokontroller dan instalasi pipa untuk system hidroponik.



Gambar 1. Diagram Blok Sistem



Gambar 3. Desain alat

2.1. Kalibrasi Larutan

Kalibrasi larutan dimaksudkan untuk mencari volume larutan untuk menaikkan kadar nutrisi dan pH pada rentang tertentu. Kalibrasi larutan dilakukan dengan pengukuran tingkat akurasi pendosisan dan penyaluran larutan pH dan nutrisi. Pengukuran tingkat akurasi pendosisan dan penyaluran larutan pH dan nutrisi menggunakan gelas ukur. Pengukuran dilakukan dengan cara mengambil sampel larutan yang berasal dari keluaran *peristaltic pump*, lalu mencocokkannya dengan data pengujian dosis dan kualitas larutan. Hal tersebut dilakukan untuk mendapatkan nilai *output* pada *fuzzy logic* yang akurat dan presisi.

Tabel 2. Kalibrasi Larutan Nutrisi

No	Larutan A mix B	Nilai	Nilai	Selisih
		PPM Awal	PPM Akhir	
1.	5 ml A +	370	1134	764
	5 ml B			
2.	5 ml A +	366	1185	819
	5 ml B			
3.	5 ml A +	373	1176	803
	5 ml B			
4.	5 ml A +	383	1293	910
	5 ml B			
5	5 ml A +	383	1400	1.017
	5 ml B			
6.	5 ml A +	388	1262	874
	5 ml B			
7.	5 ml A +	378	1300	922
	5 ml B			
8	5 ml A +	387	1333	946
	5 ml B			
9.	5 ml A +	383	1221	838
	5 ml B			
10.	5 ml A +	387	1342	955

No	Larutan Nutrisi	Nilai PPM Awal	Nilai PPM Akhir	Selisih
	5 ml B			
	RATA-RATA	884.8	TOTAL	8.848

Tabel 3. Kalibrasi Larutan pH Up

No	Larutan pH UP	Nilai pH Awal	Nilai pH Akhir	Selisih
1.	5 ml	7,09	9,55	2,46
2.	5 ml	6,96	9,30	2,34
3.	5 ml	7,30	9,44	2,14
4.	5 ml	7,52	9,98	2,46
5.	5 ml	7,26	9,76	2,50
6.	5 ml	7,11	9,64	2,53
7.	5 ml	7,23	9,72	2,49
8.	5 ml	7,35	9,60	2,25
9.	5 ml	7,15	9,52	2,37
10.	5 ml	7,13	9,71	2,58
	RATA-RATA	2,412	TOTAL	24,12

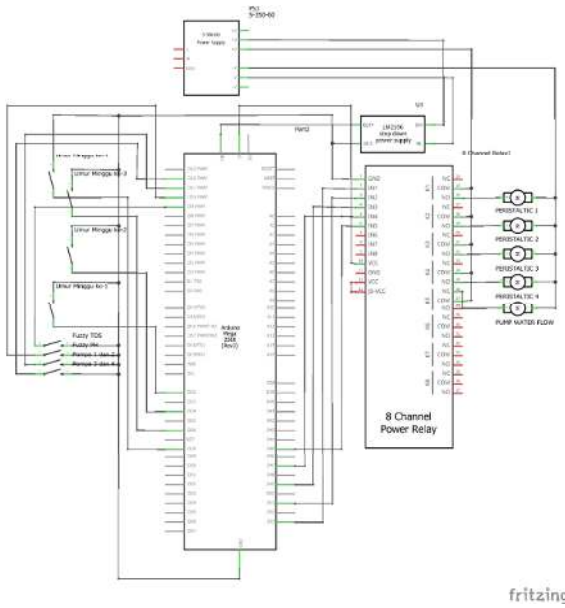
Tabel 4. Kalibrasi Larutan pH Up

No	Larutan pH DOWN	Nilai pH Awal	Nilai pH Akhir	Selisih
1.	5 ml	9,55	8,10	1,45
2.	5 ml	8,10	6,96	1,14
3.	5 ml	9,30	7,87	1,13
4.	5 ml	7,87	7,05	0,82
5.	5 ml	9,44	7,52	1,92

No	Larutan pH DOWN	Nilai pH Awal	Nilai pH Akhir	Selisih
6.	5 ml	7,60	6,61	0,99
7.	5 ml	9,64	8,51	1,13
8.	5 ml	9,86	8,80	1,04
9.	5 ml	7,36	6,43	0,93
10.	5 ml	7,58	6,61	0,97
	RATA-RATA	1,152	TOTAL	11,52

2.2. Wiring Diagram

Wiring diagram dalam penelitian ini ditunjukkan pada gambar 3. Sumber tegangan untuk mikrokontroller alat ini berasal dari *power supply* 12 V DC yang diturunkan tegangannya oleh DC *stepdown* LM2596 menjadi 9 V, hal ini semakna dengan penelitian [20] yang juga menggunakan perangkat *stepdown* LM2596 untuk menurunkan tegangan pada yang bersumber dari baterai alat berat untuk dijadikan sumber tegangan *mikrokontroller arduino*. *Relay* digunakan untuk menghubungkan dan memutuskan arus menuju *peristaltic pump* dan *pump water flow*. *Pump water flow* dihubungkan dalam keadaan *Normally Close* (NC). Sedangkan *peristaltic pump* dihubungkan dalam keadaan *Normally Open* (NO), sehingga *peristaltic pump* akan aktif jika diberikan tegangan pada *relay*. *Peristaltic pump* digunakan sebagai komponen utama dalam pengkondisian kadar nutrisi dan pH dengan melakukan penyaluran larutan beserta penentuan dosisnya. *Push button* digunakan untuk memberikan perintah memulai *fuzzy logic control TDS*, *fuzzy logic control pH*, kalibrasi air pada pompa 1&2 dan 3&4, dan memberikan masukan umur minggu ke-1, ke-2, ke-3 dan ke-4.

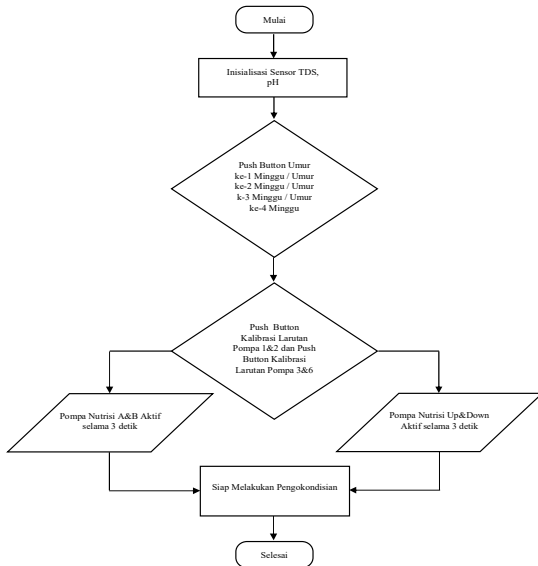


Gambar 3. Skematik Output

2.3. Diagram Alir

Diagram alir dibedakan menjadi dua bagian, diagram alir sistem kerja *fuzzy logic*. Sedangkan, diagram alir kedua merupakan diagram alir cara kerja alat.

3.3.1 Diagram Alir Sistem Kerja Alat



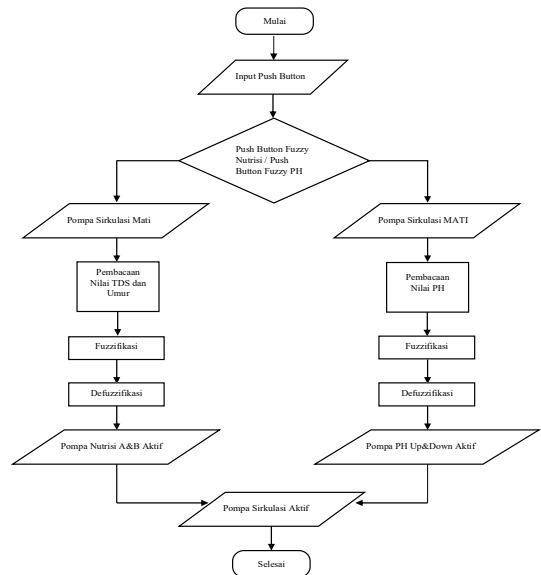
Gambar 4. Flowchart Sistem Kerja Alat

Diagram alir sistem kerja alat ditunjukkan pada gambar 4. Gambar tersebut menunjukkan sistem kerja alat sebelum melakukan pengkondisian kualitas air menggunakan metode kontrol *fuzzy logic*. Pengguna harus

menentukan *input* umur tanaman dengan menekan *push button* umur. Setelah *input* umur telah dimasukkan, pengguna harus melakukan kalibrasi larutan pada *peristaltic pump* agar larutan dapat memenuhi seisi selang yang tersambung pada *peristaltic pump* dengan menekan *push button*, sehingga alat siap memasuki tahap pengkondisian.

3.4.2 Diagram Alir Fuzzy Logic

Proses pengkondisian kualitas air bermula dengan *input* berupa *push button*. *Push button fuzzy logic* digunakan untuk memulai pengkondisian TDS atau pengkondisian pH.



Gambar 5. Flowchart Fuzzy Logic

2.4. Fuzzy Rules

Fuzzy rules pada alat ini dibuat menyesuaikan kebutuhan nutrisi dan pH pada setiap fase pertumbuhan, *fuzzy rules* ini optimal digunakan pada tanaman selada dari fase pertumbuhan seminggu setelah penyemaian sampai panen. Di dasar aturan fuzzy terdapat aturan linguistik untuk menentukan tindakan kontrol terhadap nilai masukan fuzzifikasi, yaitu (IF-THEN). Ada 32 aturan yang dirancang, sebagai berikut.

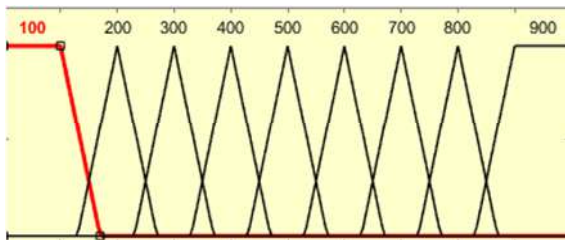
- [1] If (TDS_VALUE is 100) and (AGE is 1) then (NUTRISI_A is 331)(NUTRISI_B is 331).

- [2] If (TDS_VALUE is 200) and (AGE is 1) then (NUTRISI_A is 221)(NUTRISI_B is 221).
- [3] If (TDS_VALUE is 300) and (AGE is 1) then (NUTRISI_A is 110)(NUTRISI_B is 110).
- [4] If (TDS_VALUE is 400) and (AGE is 1) then (NUTRISI_A is 0)(NUTRISI_B is 0).
- [5] If (TDS_VALUE is 100) and (AGE is 2) then (NUTRISI_A is 663)(NUTRISI_B is 663).
- [6] If (TDS_VALUE is 200) and (AGE is 2) then (NUTRISI_A is 553)(NUTRISI_B is 553).
- [7] If (TDS_VALUE is 300) and (AGE is 2) then (NUTRISI_A is 442)(NUTRISI_B is 442).
- [8] If (TDS_VALUE is 400) and (AGE is 2) then (NUTRISI_A is 331)(NUTRISI_B is 331).
- [9] If (TDS_VALUE is 500) and (AGE is 2) then (NUTRISI_A is 221)(NUTRISI_B is 221).
- [10] If (TDS_VALUE is 600) and (AGE is 2) then (NUTRISI_A is 110)(NUTRISI_B is 110).
- [11] If (TDS_VALUE is 700) and (AGE is 2) then (NUTRISI_A is 0)(NUTRISI_B is 0).
- [12] If (TDS_VALUE is 100) and (AGE is 3) then (NUTRISI_A is 663)(NUTRISI_B is 663).
- [13] If (TDS_VALUE is 200) and (AGE is 3) then (NUTRISI_A is 553)(NUTRISI_B is 553).
- [14] If (TDS_VALUE is 300) and (AGE is 3) then (NUTRISI_A is 442)(NUTRISI_B is 442).
- [15] If (TDS_VALUE is 400) and (AGE is 3) then (NUTRISI_A is 331)(NUTRISI_B is 331).
- [16] If (TDS_VALUE is 500) and (AGE is 3) then (NUTRISI_A is 221)(NUTRISI_B is 221).
- [17] If (TDS_VALUE is 600) and (AGE is 3) then (NUTRISI_A is 110)(NUTRISI_B is 110).
- [18] If (TDS_VALUE is 700) and (AGE is 3) then (NUTRISI_A is 0)(NUTRISI_B is 0).
- [19] If (TDS_VALUE is 100) and (AGE is 4) then (NUTRISI_A is 884)(NUTRISI_B is 884).
- [20] If (TDS_VALUE is 200) and (AGE is 4) then (NUTRISI_A is 774)(NUTRISI_B is 774).
- [21] If (TDS_VALUE is 300) and (AGE is 4) then (NUTRISI_A is 663)(NUTRISI_B is 663).
- [22] If (TDS_VALUE is 400) and (AGE is 4) then (NUTRISI_A is 553)(NUTRISI_B is 553).
- [23] If (TDS_VALUE is 500) and (AGE is 4) then (NUTRISI_A is 442)(NUTRISI_B is 442).
- [24] If (TDS_VALUE is 600) and (AGE is 4) then (NUTRISI_A is 331)(NUTRISI_B is 331).
- [25] If (TDS_VALUE is 700) and (AGE is 4) then (NUTRISI_A is 221)(NUTRISI_B is 221).
- [26] If (TDS_VALUE is 800) and (AGE is 4) then (NUTRISI_A is 110)(NUTRISI_B is 110).
- [27] If (TDS_VALUE is 900) and (AGE is 4) then (NUTRISI_A is 0)(NUTRISI_B is 0).
- [28] If (PH_VALUE is 5.5) then (PH_UP is 0.6)(PH_DOWN is 0).
- [29] If (PH_VALUE is 6) then (PH_UP is 0.4)(PH_DOWN is 0).
- [30] If (PH_VALUE is 6.5) then (PH_UP is 0)(PH_DOWN is 0).
- [31] If (PH_VALUE is 7) then (PH_UP is 0)(PH_DOWN is 0.55).
- [32] If (PH_VALUE is 7.5) then (PH_UP is 0)(PH_DOWN is 1.1).

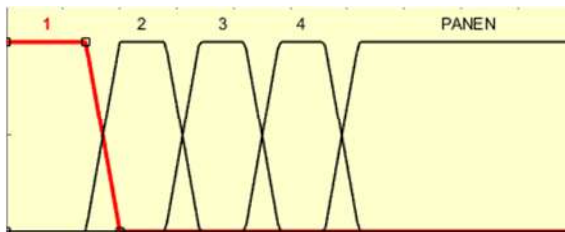
2.5. Fuzzifikasi

Desain fuzzifikasi dalam perancangan menggunakan perangkat lunak MATLAB. Fuzzifikasi sistem yang akan dibuat berdasarkan hasil identifikasi kebutuhan dan spesifikasi sistem pada bagian sebelumnya. Perancangan dan pembuatan metode *fuzzy*

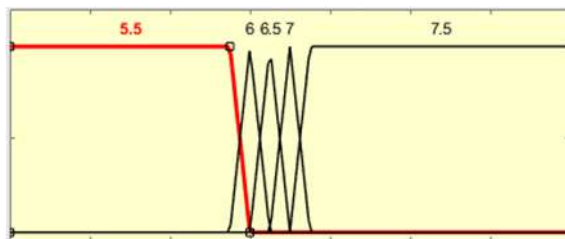
logic digunakan dalam proses pengendalian sistem pengkondisian nutrisi dan pH, maka dibutuhkan simulasi dengan menentukan *input* dan *rules*, untuk hasil mendapatkan *output* berupa *delay* yang diinginkan. *Output* pada rancangan ini berupa *delay* aktifnya *peristaltic pump*. *Delay peristaltic pump* disesuaikan dengan kalibrasi larutan dan kalibrasi waktu *peristaltic pump* menyala dalam menyalurkan larutan nutrisi dan pH.



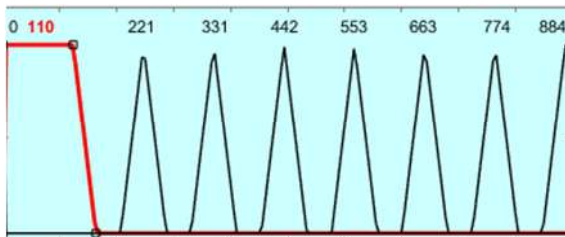
Gambar 5. Fuzzify Input TDS



Gambar 6. Fuzzify Input Umur



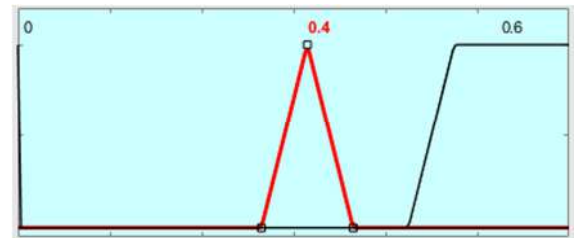
Gambar 7. Fuzzify Input pH



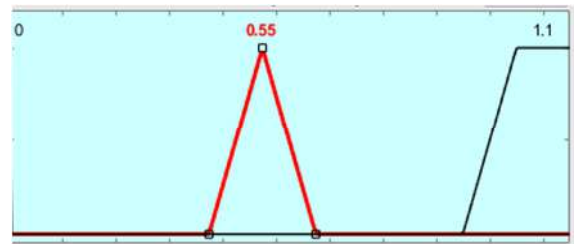
Gambar 8. Fuzzify Output Pompa Nutrisi A



Gambar 9. Fuzzify Output Pompa Nutrisi B



Gambar 10. Fuzzify Output Pompa pH Up



Gambar 11. Fuzzify Output Pompa pH Down

Fuzzy input didesain untuk setiap kondisi kada nutrisi dan pH air destilasi. *Fuzzy output* di desain berdasarkan hasil kalibrasi larutan nutrisi A mix B dan larutan pH *Up* dan pH *Down*. Hasil kalibrasi dikalikan 26 karena total air yang digunakan pada alat ini sebanyak 26 liter. Parameter setiap himpunan output didapatkan berdasarkan hasil kali dan bagi waktu *delay* (ms) agar volume air dapat keluar dengan efektif dan efisien.

2.6. Defuzzifikasi

Defuzzifikasi merupakan tahap akhir dari perancangan fuzzy logic yang berfungsi untuk merubah hasil yang didapat dari inference engine kedalam suatu bilangan crisp. Dalam penelitian ini digunakan metode *Centroid*.

3. Hasil Penelitian

1. Pengujian Sensor TDS SEN SKU0244 DFRobot

Tabel 5. Pengujian Sensor TDS

No	Sensor TDS (PPM)	TDS Meter (PPM)	Selisih	Akurasi (%)
1.	772	800	28	96,5
2.	734	756	22	97,0
3.	700	719	19	97,3
4.	369	373	4	98,9
5.	355	368	13	96,4
6.	375	387	12	96,8
7.	816	832	16	98,0
8.	847	860	13	98,4
9.	568	580	12	97,9
10.	549	563	14	97,5
Rata-rata				97,47

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan pada sensor TDS alat dalam pendeteksian nilai kadar nutrisi memiliki rata-rata *error* sebesar 2,53%.

2. Pengujian Sensor pH SEN SKU0161 DFRobot

Tabel 6. Pengujian Sensor pH

No	Sensor pH	pH Meter	Selisih	Akurasi (%)
1.	8,33	8,23	0,1	98,7
2.	6,50	6,60	0,1	98,4
3.	6,96	7,09	0,13	98,1
4.	7,37	7,52	0,15	98,0
5.	6,86	6,98	0,12	98,2
6.	7,20	7,36	0,14	97,8
7.	6,30	6,43	0,13	97,9
8.	7,00	7,19	0,19	97,3
9.	6,5	6,61	0,11	98,3
10.	7,64	7,87	0,23	97,0
Rata-rata Error			0,14	97,97

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan pada sensor pH alat dalam pendeteksian nilai kadar nutrisi memiliki rata-rata *error* sebesar 2,03%.

3. Pengujian Peristaltic Pump

Aktuator yang dipakai pada penelitian ini adalah *peristaltic pump*. Pengujian aktuator ini bertujuan untuk mengkalibrasi *peristaltic pump* yang digunakan dalam sistem. Pengujian dilakukan dengan cara menyalurkan larutan dari *peristaltic pump* kepada gelas ukur. Larutan dalam gelas ukur diukur oleh gelas ukur 5 ml. Diketahui dari hasil pembacaan ukuran pada gelas ukur bahwa nilai volume yang disalurkan sebesar 5 ml dalam set waktu 1,9 detik, 10 ml dalam set waktu 3,8 detik, dan 15 ml dalam set waktu 5,7 detik.

Tabel 7. Pengujian Pompa A dan B

No	Delay (ms)	Pompa A	Pompa B
1.	1900	5 ml	5 ml
2.	1900	5 ml	5 ml
3.	1900	5 ml	5 ml
4.	3800	10 ml	10 ml
5.	3800	10 ml	10 ml
6.	3800	10 ml	10 ml
7.	5700	15 ml	15 ml
8.	5700	15 ml	15 ml
9.	5700	15 ml	15 ml
10.	5700	15 ml	15 ml
Akurasi		100%	100%

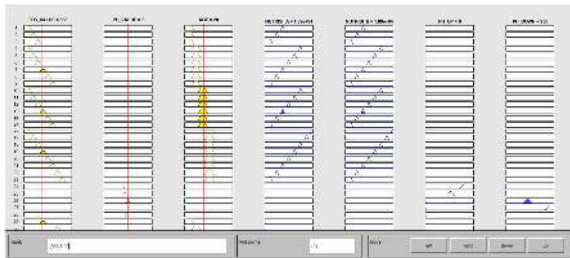
Tabel 8. Pengujian Pompa C dan D

No	Delay (ms)	Pompa C	Pompa D
1.	1900	5 ml	5 ml
2.	1900	5 ml	5 ml
3.	1900	5 ml	5 ml
4.	3800	10 ml	10 ml
5.	3800	10 ml	10 ml
6.	3800	10 ml	10 ml
7.	5700	15 ml	15 ml
8.	5700	15 ml	15 ml
9.	5700	15 ml	15 ml
10.	5700	15 ml	15 ml
Akurasi		100%	100%

4. Pengujian Fuzzy Logic

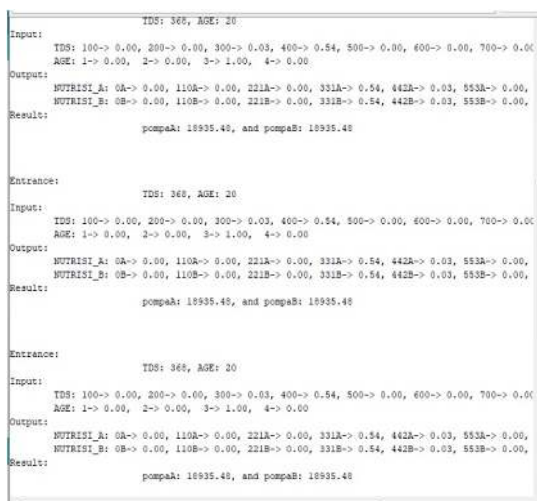
Pengujian *fuzzy logic* dilakukan untuk menguji apakah *fuzzy logic* dapat berjalan dengan baik. Pengujian *fuzzy logic* dilakukan dengan cara membandingkan hasil dari serial monitor dengan hasil simulasi pada aplikasi MATLAB. Pengujian *fuzzy logic* dilakukan dengan 2 parameter, yaitu berdasarkan kadar nutrisi dan pH pada sistem hidroponik. Pengujian *fuzzy logic* menghasilkan beberapa hal sebagai berikut.

- **Pengujian Fuzzy Logic Nutrisi**



Gambar 12. Fuzzy Output Tool Box MATLAB

Berdasarkan hasil pengujian *fuzzy logic* pada *toolbox* Matlab menunjukkan bahwa saat *input* sensor nutrisi dari pembacaan sensor TDS DFRobot bernilai 368 PPM, maka akan menghasilkan *output delay* yang bekerja pada *relay* untuk menjalankan *peristaltic pump* nutrisi A mix B selama 18.935 milisekon. Pengujian melalui *toolbox* Matlab dapat dilihat pada gambar 12.



Gambar 13. Fuzzy Output Serial Monitor

Output fuzzy logic yang dihasilkan oleh Arduino pada kasus ini ditampilkan pada serial monitor (gambar 13). Hasil *delay peristaltic pump* yang dihasilkan oleh Arduino menggunakan metode kontrol *fuzzy logic* mamdani sama dengan hasil perhitungan *fuzzy logic* pada aplikasi MATLAB. Berdasarkan hal tersebut hasil *fuzzy logic* dengan nilai *delay* 18.935,48 milisekon diharapkan dapat meningkatkan nilai kadar ppm menjadi 700.

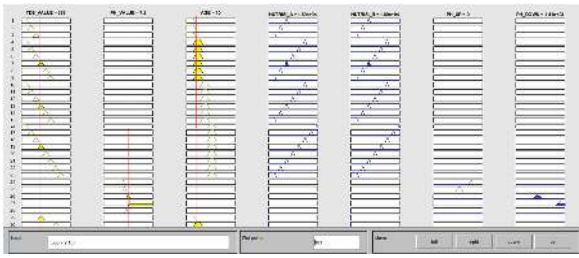


Gambar 14. Kadar Nutrisi After Pengkondisian

Gambar 14 menunjukkan kondisi air setelah melakukan pengkondisian nilai TDS dengan aktifnya *peristaltic pump* selama 18,935 milisekon, nilai kadar nutrisi berada dalam angka 719. Hasil pengujian memperlihatkan nilai kondisi akhir kadar TDS sebesar 719 yang berarti tingkat akurasi dari proses pengkondisian sebesar 97,2%.

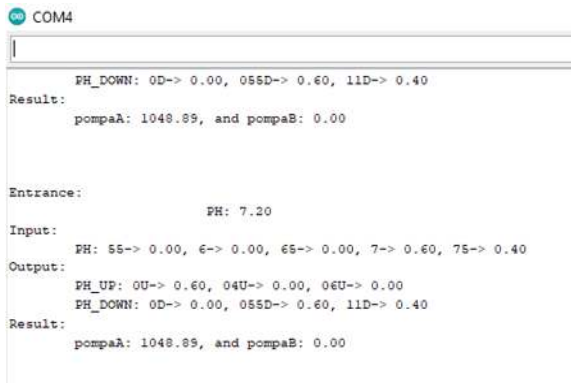
- **Pengujian Fuzzy Logic pH**

Berdasarkan hasil pengujian *fuzzy logic* pada *toolbox* MATLAB menunjukkan bahwa saat *input* sensor pH dari pembacaan sensor pH bernilai 7,2, maka akan menghasilkan *output delay* yang bekerja pada *relay* untuk menjalankan *peristaltic pump* pH Down selama 1048 milisekon. Pengujian melalui *toolbox* MATLAB dapat dilihat pada gambar 18.



Gambar 15. Fuzzy Output Tool Box MATLAB

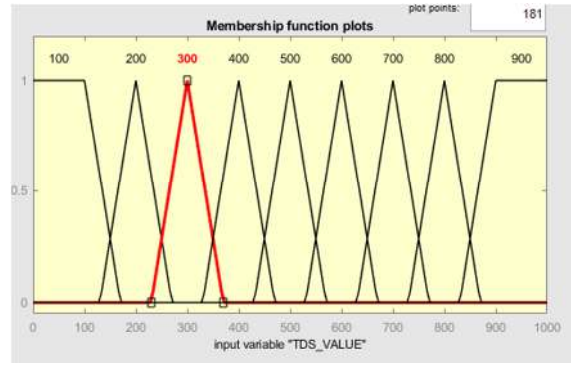
Output fuzzy logic yang dihasilkan oleh Arduino pada kasus ini ditampilkan pada serial monitor (gambar 16). Hasil delay peristaltic pump yang dihasilkan oleh Arduino menggunakan metode kontrol fuzzy logic mamdani sama dengan hasil perhitungan fuzzy logic pada aplikasi MATLAB. Berdasarkan hal tersebut hasil fuzzy logic dengan nilai delay 1048 milisekon diharapkan dapat menurunkan nilai kadar pH menjadi 6,5. Setelah melakukan pengkondisian nilai pH dengan aktifnya peristaltic pump selama 1048 milisekon, nilai kadar nutrisi berada dalam angka 6,61. Hasil pengujian memperlihatkan nilai kondisi akhir kadar pH sebesar 6,61 yang berarti tingkat akurasi dari proses pengkondisian sebesar 98,3%.



Gambar 16 Fuzzy Output Serial Monitor

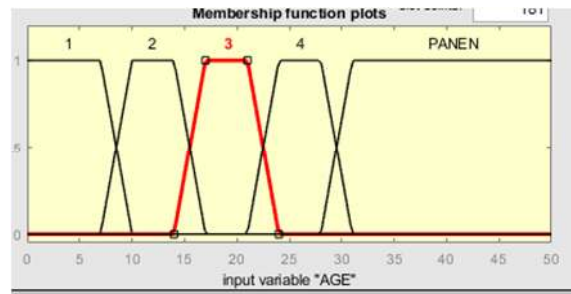
- Pengujian dengan Perhitungan Manual
Kasus yang akan diuji yaitu saat input umur hari ke-20 dan input sensor TDS pada nutrisi air sistem hidroponik sebesar 368 PPM.

1. Fuzzifikasi



Gambar 17. Himpunan Input TDS Fuzzy Logic

Dengan input kadar nutrisi sebesar 368 PPM maka himpunan yang memenuhi yaitu himpunan “300” dan himpunan “400” (gambar 17).



Gambar 18. Himpunan Input TDS Fuzzy Logic

Dengan input umur ke-20 maka himpunan yang memenuhi yaitu himpunan minggu ke-“3” (gambar 18).

2. Implikasi

Tabel 10. Implikasi Nutrisi

No	Himpunan Fuzzy Input TDS	Himpunan Fuzzy Input Umur	Himpunan Fuzzy Output pompa A dan B
1.	100	1	331
2.	200	1	221
3.	300	1	110
4.	400	1	0
5.	100	2	663
6.	200	2	553
7.	300	2	442
8.	400	2	331
9.	500	2	221
10.	600	2	110

No	Himpunan Fuzzy Input TDS	Himpunan Fuzzy Input Umur	Himpunan Fuzzy Output pompa A dan B
11.	700	2	0
12.	100	3	663
13.	200	3	553
14.	300	3	442
15.	400	3	331
16.	500	3	221
17.	600	3	110
18.	700	3	0
19.	100	4	884
20.	200	4	774
21.	300	4	663
22.	400	4	553
23.	500	4	442
24.	600	4	331
25.	700	4	221
26.	800	4	110
27.	900	4	0

Dari masing-masing *fuzzy logic rules* yang dibuat, maka proses implikasi fungsi menggunakan metode MIN, yaitu:

- a. Jika himpunan *fuzzy input* TDS adalah "300" dan himpunan *fuzzy input* Umur adalah "3", maka *delay peristaltic pump* Nutrisi A dan Nutrisi B berada pada himpunan *fuzzy Output* pompa A dan B adalah "442".

$$\alpha_1 = \mu_{300}(x) \cap \mu_3(x)$$

$$\alpha_1 = \text{MIN}(\mu_{300}(368); \mu_3(20))$$

$$\alpha_1 = \text{MIN}(0,03; 1) = 0,03$$

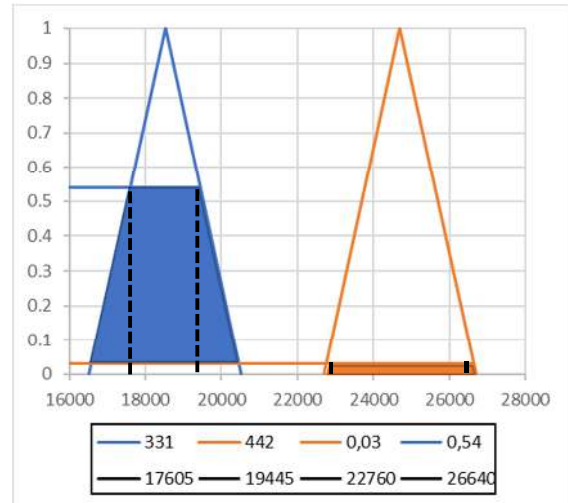
- b. Jika himpunan *fuzzy input* TDS adalah "400" dan himpunan *fuzzy input* Umur adalah "3", maka *delay peristaltic pump* Nutrisi A dan Nutrisi B berada pada himpunan *fuzzy output* pompa A dan B adalah "331".

$$\alpha_1 = \mu_{400}(x) \cap \mu_3(x)$$

$$\alpha_1 = \text{MIN}(\mu_{400}(368); \mu_3(20))$$

$$\alpha_1 = \text{MIN}(0,54; 1) = 0,54$$

Proses implikasi menghasilkan batas-batas Area Pada *Output Delay Peristaltic Pump* Nutrisi A dan Nutrisi B yang harus dicari terlebih dahulu titik potongnya.



Gambar 19. Himpunan Fuzzy Baru

Berdasarkan Gambar 19 yang merupakan hasil dari inferensi dari kedua *input* TDS dan Umur sebesar 368 dan 20. Berikut merupakan fungsi himpunan fuzzy yang baru berdasarkan kurva gabungan pada gambar 20.

Nilai Z merupakan *Crisp Output* atau bilangan tegas pada *output* yang dihasilkan dari proses defuzzifikasi. Nilai Z pada penelitian ini memiliki satuan ms, karena *output fuzzy logic* pada alat ini merupakan *delay peristaltic pump* dalam satuan milisekon. Nilai Z didapatkan berdasarkan perhitungan titik perpotongan t1, t2, t3, dan t4.

Tabel 11. Titik Potong Himpunan Baru

Titik Potong (t)	Nilai Titik Potong
1	17605
2	19445
3	22760
4	26640

3. Defuzzifikasi

Defuzzifikasi pada penelitian ini menggunakan metode Centroid dengan hasil sebagai berikut.

Tabel 12. Momen Setiap Area

Momen (M)	Nilai Titik Potong
1	5028642
2	184006440
3	5775138
4	20466
5	2875080
6	23994

Tabel 13. Luas Alas Setiap Area

Luas Alas	Nilai Titik Potong
1	291,6
2	993,6
3	291,6
4	0,9
5	116,4
6	0,9

Persamaan Deffuzuifikasi Akhir

$$Z^* = \frac{\sum \text{Momen}}{\sum \text{Luas}}$$

$$Z^* = \frac{2141984}{113}$$

$$= 18955,61 \text{ ms}$$

Output delay peristaltic pump Nutrisi A dan B yang dihasilkan pada proses perhitungan manual ketika *input* TDS 368 PPM dan Umur 20 adalah sebesar 18.955,61 ms. Sedangkan, *fuzzy logic* yang ditanam di alat sebagai metode kontrol menghasilkan *Output delay peristaltic pump* Nutrisi A dan B *input* TDS 368 PPM dan Umur 20 adalah sebesar 18.935,48. Berdasarkan hasil perhitungan manual dan hasil *fuzzy logic* pada alat memiliki *error* sebesar 0,106 %.

4. Kesimpulan

Alat kontrol TDS dan pH air pada sistem hidroponik dengan metode kontrol *fuzzy logic* mamdani menggunakan mikrokontroller Arduino Mega 2560 dapat bekerja dengan baik, *peristaltic pump* sebagai aktuator penyalur dan pendosis juga bekerja dengan baik. *Peristaltic pump* dapat menyalurkan air sebanyak 5 ml dalam waktu aktif selama 1,9 detik, menyalurkan larutan sebanyak 10 ml selama 3,8 detik dan menyalurkan larutan sebanyak 15 ml selama 5,7 detik. Akurasi

Sensor TDS dalam mendeteksi nilai TDS air sebesar 97,47%. Akurasi sensor pH dalam mendeteksi nilai pH air sebesar 97,97%. Akurasi metode kontrol *fuzzy logic* mamdani berdasarkan pengujian dan perhitungan manual terhadap satu sampel pada tanaman berumur 3 minggu dengan 368 PPM sebesar 99,894 %.

5. Saran

Pengembangan penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan menggunakan RTC sebagai *input* waktu untuk mengganti *input* umur *fuzzy logic*.

6. Daftar Pustaka

- [1] S. Roidah, "Pemanfaatan Lahan dengan Menggunakan Sistem Hidroponik," *Jurnal Universitas Tulungagung BONOROWO*, vol. 1, no. 2, pp. 43 - 49, 2014.
- [2] K. Herwibowo and N. S. Budiana, *Hidroponik Sayuran untuk Hobi dan Bisnis*, Jakarta : Penebar Swadaya, 2014.
- [3] P. Lingga, *Hidroponik: Bercocok Tanam tanpa Tanah*, Jakarta: Niaga Swadaya, 2004.
- [4] M. A. Nahdi, T. Y. Putro and Y. Sudarsa, "IoT Based Hydroponic Plant Nutrient Monitoring and Control System," *Prosiding Industrial Research*, pp. 201 - 207, 2019.
- [5] A. M. Syafar and N. Fuadi, "IMULASI KENDALI CERDAS LEVEL NUTRISI HIDROPONIK PADA," *Jurnal INSTEK: Informatika Sains dan Teknologi*, vol. 5, no. 2, pp. 209 - 218, 2020.
- [6] D. R. Wati and W. Sholihah, "Pengontrol pH dan Nutrisi Tanaman Selada pada Hidroponik Sistem NFT Berbasis Arduino," *Jurnal Multinetics*, vol. 7, no. 1, pp. 12-21, 2021.
- [7] R. G. Calibra, I. Ardiansah and N. Bafdal, "Pengendalian Kualitas Air untuk Tanaman Hidroponik Menggunakan Raspberry Pi dan Arduino Uno," *Jurnal*

- Teknik Informatika dan Sistem Informasi*, vol. 7, no. 1, pp. 240-250, 2021.
- [8] J. C. V. Puno, J. J. I. Haban, J. D. Alejandrino, A. A. Bandala and E. P. Dadios, "Design of A Nutrient Film Technique Hydroponics System with Fuzzy Logic Control," *IEEE Region 10 Annual International Conference, Proceedings/TENCON*, pp. 403-408, 2020.
- [9] S. Nurmuslimah, "Aplikasi Fuzzy Logic Mamdani Untuk Perkembangan Pertumbuhan Anak Berdasarkan BGM-KMS," *Integer Journal*, vol. 1, no. 1, pp. 59-66, 2016.
- [10] M. Abrori and A. H. Primahayu, "Aplikasi Logika Fuzzy Metode Mamdani dalam Pengambilan Keputusan Penentuan Jumlah Produksi," *Kaunia*, vol. 11, no. 2, pp. 91-99, 2015.
- [11] R. L. Alam and A. Nasuha, "Sistem Pengendali pH Air dan Pemantauan Lingkungan Tanaman Hidroponik menggunakan Fuzzy Logic Controller berbasis IoT," *Electronics, Informatics, and Vocational Education (ELINVO)*, vol. 5, no. 1, pp. 11-20, 2020.
- [12] A. N. Sholihah, T. Tohir and A. R. Al Tahtawi, "Kendali TDS Nutrisi Hidroponik Deep Flow Technique Berbasis IoT menggunakan Fuzzy Logic," *Jurnal Ilmiak Telekomunikasi, Elektronika, dan Listrik Tenaga (JITEL)*, vol. 1, no. 2, pp. 89-98, September 2021.
- [13] F. Suryatini, S. Pancono, S. B. Bhaskoro and P. M. Saraswati Muljono, "Sistem Kendali Nutrisi Hidroponik berbasis Fuzzy Logic berdasarkan Objek Tanam," *Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, vol. 9, no. 2, pp. 263-278, 2021.
- [14] E. S. Indriani, A. Qurthobi and D. Darmawan, "Perancangan Kontrol Suhu Larutan Nutrisi pada Sistem Hidroponik menggunakan Kontrol Logika Fuzzy; Studi Kasus Selada Keriting (*Lactuca Sativa L.*)," in *e-Proceeding of Engineering*, Universitas Telkom, 2020.
- [15] I. Asbangnirwana, Endryansyah, P. W. Rusimamto and M. S. Zuhrie, "Pengendalian Suhu Air Nutrisi Pada Hidroponik NFT (Nutrient Film Technique) Berbasis Fuzzy Logic Controller," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 11, no. 108-116, p. 1, 2022.
- [16] R. Hartono and A. Malik, "Sistem Otomatis Pembuatan Nutrisi Ideal untuk Tanaman Pakcoy Menggunakan Kendali Logika Fuzzy," *Telekontran : Jurnal Ilmiah Telekomunikasi, Kendali dan Elektronika Terapan*, vol. 9, no. 2, pp. 154-164, 2021.
- [17] Randis, R., Syaeful Akbar, and Rony Darmawan. "Implementasi Sistem Safety Device Engine Oil Level Pc 200-7 Berbasis Arduino." *Media Mesin: Majalah Teknik Mesin* 19.2 (2019): 90-98.
- [18] Randis, Randis, and Syaeful Akbar. "Rancang Bangun Alat Ukur Gaya Dorong Dan Kecepatan Putaran Motor Brushless." *Din. J. Ilm. Tek. Mesin* 9.2 (2018).
- [19] Yanti, Nur, Taufik Nur, and Randis Randis. "Implementation of Fuzzy Logic in Fish Dryer Design." *ILKOM Jurnal Ilmiah* 14.1 (2022): 39-51.
- [20] Baharuddin, Randis, and Taufik Hidayat. "Atmega Microcontroller 2560 Based Safety System of Monitor Panel and Controller on a Small Excavator." *Jurnal Rekayasa Mesin* 11.3 (2020): 367-374.