

Rancang Bangun Otomatisasi Hidroponik *Deep Flow Technique* Menggunakan Logika Fuzzy Sugeno Berbasis *Internet Of Things*

Akhmad Wahyu Dani^{1*}, Farrah Aisyah Putri², Fadli Sirait¹, Said Attamimi¹

¹Teknik Elektro, Universitas Mercu Buana, Jakarta

²PT. Sucofindo, Bekasi

*wahyu.dani@mercubuana.ac.id

Abstrak— Penurunan kualitas lingkungan hidup merupakan sebuah permasalahan yang sedang di hadapi oleh masyarakat. Pembangunan kawasan perumahan yang tidak memperhatikan Ruang Terbuka Hijau memberi dampak terhadap penurunan kualitas lingkungan hidup. Untuk itu, pekarangan rumah dimanfaatkan guna meningkatkan kualitas lingkungan hidup masyarakat. Namun dengan lokasi rumah yang berada di perkotaan belum tentu menyediakan pekarangan yang luas untuk bercocok tanam. Untuk itu diperlukan metode penanaman yang lebih berkelanjutan yang dikenal dengan hidroponik. Hidroponik merupakan metode budidaya tanaman dengan menggunakan sejumlah air yang kaya akan nutrisi sebagai media tanamnya. Hidroponik termasuk smart gardening dimana dapat diintegrasikan pada IoT, sehingga penelitian ini berfokus pada pembuatan otomatisasi hidroponik menggunakan metode logika fuzzy berbasis IoT. Prototipe ini berfungsi untuk dan mengatur jumlah air, nutrisi dan pH pada tangki nutrisi berdasarkan hasil pembacaan sensor. Untuk menghasilkan keluaran yang terkuantifikasi, metode Logika Fuzzy Sugeno digunakan pada sistem ini. Berdasarkan hasil dari fuzzifikasi dan inferensi pada metode tersebut, menghasilkan nilai keluaran pada motor pompa air, motor pompa nutrisi, motor pompa pH Up dan motor pompa pH Down berupa waktu dengan satuan detik. Dengan menerapkan logika fuzzy pada pengendalian nutrisi pada tanaman hidroponik, pertumbuhan tanaman menggunakan kendali logika fuzzy lebih optimal dibandingkan tanpa kendali logika fuzzy. Kemudian respon waktu pada pengendalian tinggi air mencapai kestabilan yaitu 41 detik. Respon waktu pada pengendalian TDS mencapai kestabilan yaitu 51,96 detik. Respon waktu pada pengendalian pH mencapai kestabilan yaitu 5,48 detik. Nilai output pada Arduino memiliki keakuratan sebesar 99,77% terhadap nilai output yang disimulasikan menggunakan Matlab. Prototipe ini dapat dipantau secara jarak jauh dengan menggunakan platform ThingSpeak dimana dalam pengiriman data dari Arduino ke ThingSpeak membutuhkan waktu 11,2 detik.

Article History:

Received: May 31, 2023

Revised: July 4, 2023

Accepted: July 8, 2023

Published: July 21, 2023

Kata Kunci— Air; Arduino; Fuzzy Sugeno; Hidroponik, IoT; pH; TDS.

DOI: 10.22441/jitkom.v7i2.002

I. PENDAHULUAN

Penurunan kualitas lingkungan hidup merupakan sebuah permasalahan yang sedang di hadapi oleh masyarakat. Pembangunan kawasan perumahan yang tidak memperhatikan Ruang Terbuka Hijau (RTH) memberi dampak terhadap penurunan kualitas lingkungan hidup [1]. Untuk itu, pekarangan rumah dimanfaatkan guna meningkatkan kualitas lingkungan hidup masyarakat. Menurut data dari Badan Litbang Pertanian, sekitar 10 juta hektar lahan pekarangan berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai Kawasan Rumah Pangan Lestari (KRPL) [2]. Namun dengan lokasi rumah yang berada di perkotaan belum tentu menyediakan pekarangan yang luas untuk bercocok tanam.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, diperlukan sistem budidaya tanaman yang lebih berkelanjutan yang dikenal dengan metode hidroponik. Hidroponik adalah budidaya tanaman dengan menggunakan sejumlah air yang kaya akan

nutrisi, sehingga tidak menggunakan tanah sebagai media tanamnya [3]. Pada metode hidroponik, larutan nutrisi disediakan dalam jumlah yang tepat dan terkontrol dengan cara mensirkulasikan kembali larutan nutrisi yang telah digunakan. Selain itu, sirkulasi dapat dilakukan dengan metode tertutup guna menghindari kontak air dengan udara, sehingga akan mengurangi evaporasi. Upaya ini merupakan salah satu cara pengelolaan air yang bertujuan untuk meningkatkan efisiensi penggunaan air [4].

Revolusi industri saat ini telah memasuki Revolusi Industri 4.0. Revolusi Industri 4.0 telah menyentuh berbagai aspek terutama di bidang pertanian. Hidroponik pun merupakan salah satu tren terbaru dalam *smart gardening* yang terdiri dari penggunaan alat berteknologi dari geolokasi hingga *big data*, *artificial intelligence*, IoT (*Internet of Things*) dan *drone* untuk mencapai hasil panen yang lebih besar. Maka dari itu, pada penelitian ini akan merancang dan membangun sebuah sistem

otomatisasi pengaturan nutrisi menggunakan sensor HC-SR04, sensor TDS dan sensor pH. Perangkat kendali yang digunakan yaitu Arduino Mega 2560 serta menggunakan platform ThingSpeak untuk melakukan pemantauan terhadap nutrisi secara *realtime*.

II. LITERATURE REVIEW

Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Gista N. Maulidya, Fauziah, dan Nur Hayati, 2020 [5]. Penelitian ini membahas pada pengaturan jumlah air dalam tangki berdasarkan hasil pembacaan sensor HC-SR04. Sistem ini diintegrasikan dengan logika fuzzy dengan fungsi keanggotaan *low* dengan rentang 0-5 cm, *medium* dengan rentang 5-10 cm dan *high* dengan rentang 10- 14 cm.

Kemudian penelitian dari M. Daud, V. Handika, dan A. Bintoro [6]. Penelitian ini membahas pengaturan PWM pada motor pompa berdasarkan hasil pembacaan sensor YL-39 yang dikombinasikan dengan sensor YL-69 dan sensor DHT-11. Metode ini menghasilkan pengukurannya sebagai berikut: (1) pada suhu 30°C dan RH 74%, PWM *duty cycle* 0%, pompa mati. (2) Pada suhu 30°C dan RH 50%, *duty cycle* 33,33%, pompa bekerja lambat. (3) Pada suhu 30 °C, RH 30%, *duty cycle* 69,7%, pompa bekerja sedikit cepat. (4) Pada suhu 30 °C, RH 0,1%, *duty cycle* 98%, pompa bekerja cepat.

Berikutnya dari H. Fakhurroja, S. A. Mardhotillah, O. Mahendra, A. Munandar, M. I. Rizqyawan, dan R. P. Pratama [7]. Penelitian ini membahas pada pengaturan pompa pH dan *blower* berdasarkan hasil pembacaan sensor pH dan sensor DHT-22. Dalam penelitiannya, metode yang digunakan yaitu logika fuzzy Sugeno sebagai algoritma kendali pada sistem ini. Data aktual berupa nilai pH dan kelembapan dikirim setiap 40 detik dan ditampilkan pada platform IoT ubidots.

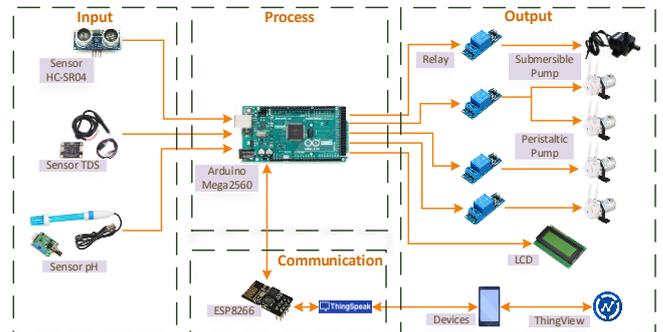
Berikutnya dari F. Ruscio, P. Paoletti, J. Thomas, P. Myers, dan S. Fichera [8]. Penelitian ini membahas sistem *monitoring* hasil pembacaan sensor EC, sensor pH, sensor DS18B20, sensor HC-SR04 dan sensor BME280 berupa nilai EC, pH, suhu larutan, ketinggian air, kelembapan dan suhu lingkungan. Platform yang digunakan pada sistem *monitoring* menggunakan database MySQL yang diintegrasikan dengan PHP.

Dan yang terakhir yaitu dari Sukmana [9]. Penelitian ini membahas mengenai sistem kendali pada pengaturan jumlah air dan nutrisi yang berasal dari hasil pembacaan sensor HC-SR04 dan sensor TDS. Penelitian ini menggunakan model matematika *sliding modes strategy*, dimana model matematika ini digunakan untuk optimasi dalam memperoleh data *input* yang selalu berubah menjadi data yang stabil. Metode kendali yang digunakan pada sistem menggunakan logika fuzzy Tsukamoto.

III. METODOLOGI PENELITIAN

Sistem ini dirancang untuk menghasilkan otomatisasi [10] pada budidaya tanaman dengan metode hidroponik. Dengan melibatkan logika fuzzy Sugeno, sistem ini dapat mengendalikan kebutuhan air, nutrisi dan pH yang dibutuhkan. Untuk itu, digunakan 3 buah sensor yang terdiri dari sensor HC-SR04, sensor TDS dan sensor pH sebagai variabel *input* dalam

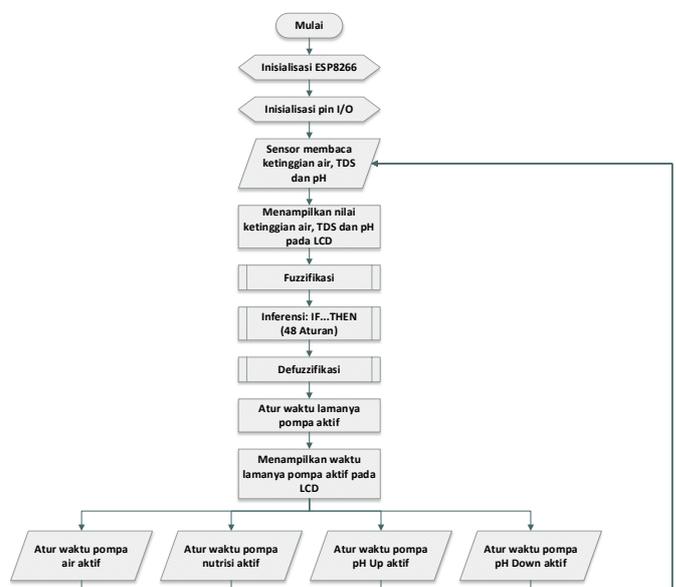
sistem. Data hasil pembacaan sensor tersebut diolah pada Arduino Mega 2560. Hasil dari perhitungan fuzzy pada Arduino digunakan untuk mengendalikan berbagai pompa serta menampilkan data dari ketinggian air, TDS dan pH pada layar LCD.



Gambar 1. Gambaran Umum Sistem Kendali

A. Diagram Alir Sistem

Diagram alir sistem kendali terdapat pada Gambar 2.



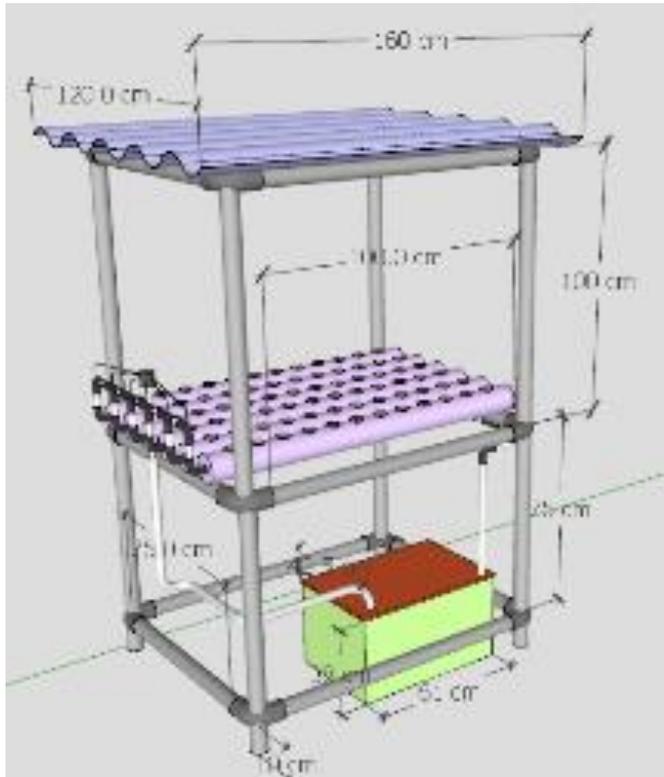
Gambar 2. Diagram Alir Sistem

Sistem ini menggunakan sensor HC-SR04, sensor TDS dan sensor pH untuk memperoleh nilai dari tinggi air, kadar kepekatan larutan dan pH pada tangki nutrisi. Sistem ini menggunakan metode logika fuzzy Sugeno sebagai metode pengendali. Untuk melakukan kemudahan dalam hal pemantauan, digunakan platform ThingSpeak yang dapat diakses pada PC dan *smartphone* melalui aplikasi ThingView.

B. Perancangan Instalasi Hidroponik

Rangka pada instalasi hidroponik dengan sistem DFT akan dibuat dari pipa berdiameter 1 in dengan dimensi 100 cm x 75 cm x 175 cm. Kemudian, digunakan atap PVC *fiberglass* transparan agar tanaman terlindungi dari cahaya matahari yang ekstrim dan nutrisi dalam *gully* tetap stabil ketika hujan tiba. Tangki larutan nutrisi yang digunakan sebagai tempat penampungan nutrisi berdimensi 61 cm x 42.5 cm x 38 cm.

Dalam proses irigasi, air yang berasal dari tangki larutan nutrisi akan dialiri menuju tanaman menggunakan pompa air. Sebelum air menuju ke tanaman, air tersebut akan ditampung sementara di dalam pipa *manifold* dengan 6 lubang agar teririgasi secara merata.

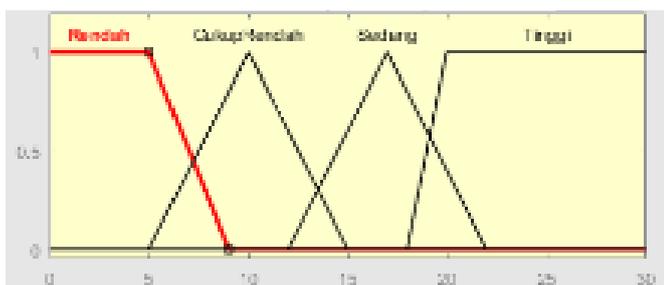


Gambar 3. Rancangan Instalasi Hidroponik DFT

C. Perancangan Logika Fuzzy

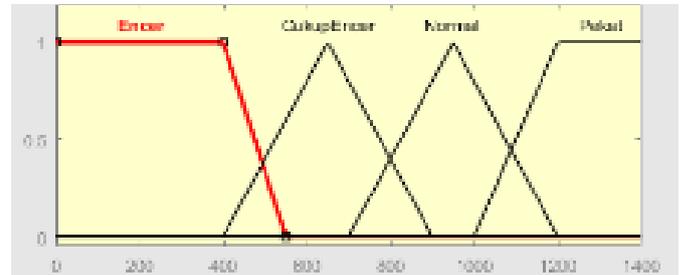
Perancangan logika fuzzy akan dibagi menjadi 3 tahap, yaitu fuzzifikasi, inferensi dan defuzzifikasi. Fuzzifikasi merupakan proses pemetaan nilai tegas dari *input* menjadi himpunan fuzzy menggunakan fungsi keanggotaan. Variabel *input* yang digunakan berasal dari nilai tinggi air, nilai TDS dan nilai pH. Sedangkan variabel *output* yang digunakan terdiri dari pompa air, pompa nutrisi ABmix, pompa pH Up dan pompa pH Down.

Variabel *input* terdiri dari variabel tinggi air, TDS dan pH. Variabel tinggi air terdiri dari rentang nilai antara 0 hingga 30 cm. Variabel tinggi air terdiri dari 4 himpunan keanggotaan yaitu Rendah (R), Cukup Rendah (CR), Sedang (S) dan Tinggi (T) yang masing-masing himpunan dibangun dengan fungsi keanggotaan berupa kurva trapesium dan kurva segitiga.



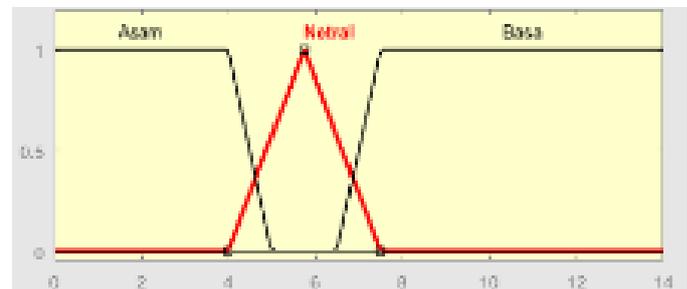
Gambar 4. Fungsi Keanggotaan Tinggi Air (cm)

Variabel TDS terdiri dari rentang nilai antara 0-1400 ppm. Variabel TDS terdiri dari 4 himpunan keanggotaan yaitu Encer (E), Cukup Encer (CE), Normal (NL) dan Pekat (P) yang masing-masing himpunan dibangun dengan fungsi keanggotaan berupa kurva trapesium dan kurva segitiga.



Gambar 5. Fungsi Keanggotaan TDS (ppm)

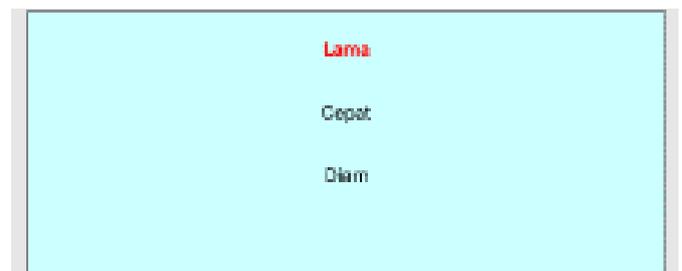
Variabel pH terdiri dari rentang nilai antara 0-14. Variabel pH terdiri dari 3 himpunan keanggotaan yaitu Asam (A), Netral (N) dan Basa (B) yang masing-masing himpunan dibangun dengan fungsi keanggotaan berupa kurva trapesium dan kurva segitiga.



Gambar 6. Fungsi Keanggotaan pH

Variabel *output* terdiri dari variabel pompa air, pompa nutrisi ABmix, pompa pH Up dan pompa pH Down. Variabel pompa air dan pompa ABmix masing-masing terdiri dari 3 himpunan keanggotaan yaitu Diam (D), Cepat (C) dan Lama (L). Variabel pompa pH Up dan pompa pH Down masing-masing terdiri dari 2 himpunan keanggotaan yaitu Non Aktif (NA) dan Aktif (AK).

Variabel pompa air terdiri dari 3 himpunan keanggotaan yaitu Diam (D), Cepat (C) dan Lama (L) yang masing-masing memiliki nilai 0 detik, 15 detik dan 30 detik.



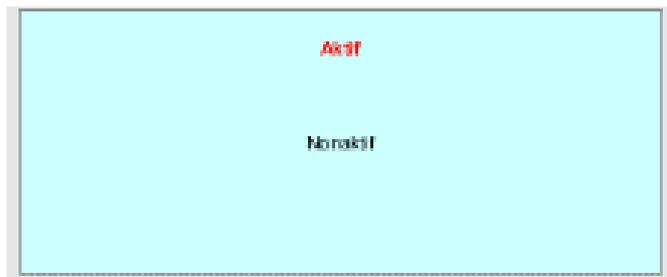
Gambar 7. Fungsi Keanggotaan Pompa Air (detik)

Variabel pompa nutrisi ABmix terdiri dari 3 himpunan keanggotaan yaitu Diam (D), Cepat (C) dan Lama (L) yang masing-masing memiliki nilai 0 detik, 10 detik dan 20 detik.



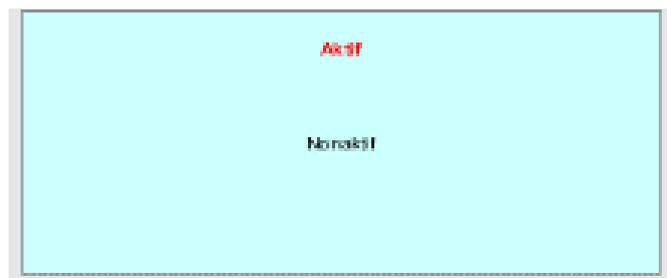
Gambar 8. Fungsi Keanggotaan Pompa Nutrisi (detik)

Variabel pompa pH Up terdiri dari 2 himpunan keanggotaan yaitu Aktif (A) dan Non Aktif (NA) yang masing-masing memiliki nilai 0 detik dan 5 detik.



Gambar 9. Fungsi Keanggotaan Pompa pH Up (detik)

Variabel pompa pH Down terdiri dari 2 himpunan keanggotaan yaitu Aktif (A) dan Non Aktif (NA) yang masing-masing memiliki nilai 0 detik dan 5 detik.



Gambar 10. Fungsi Keanggotaan Pompa pH Down (detik)

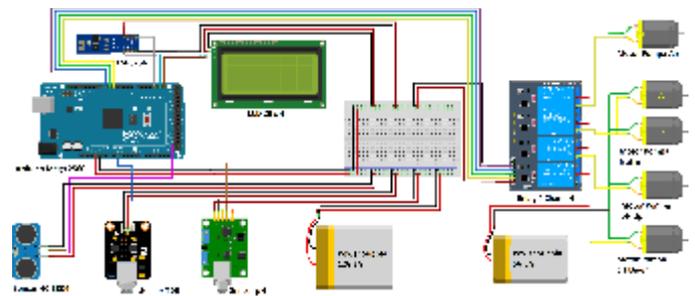
Langkah berikutnya yaitu pembentukan aturan yang dikenal dengan sistem inferensi fuzzy. Sistem inferensi fuzzy berfungsi sebagai penalaran terhadap nilai *input* dari sensor, sehingga dapat disimpulkan menjadi sebuah informasi. Jumlah aturan pada sistem inferensi fuzzy berdasarkan pada jumlah himpunan dan variabel *input* fuzzy. Aturan tersusun oleh himpunan keanggotaan *input* sehingga menghasilkan jawaban berdasarkan himpunan keanggotaan *output*. Berdasarkan dari jumlah variabel dan himpunan keanggotaan pada variabel *input*, maka aturan yang terbentuk sejumlah 48 aturan.

Kemudian pada tahap defuzzifikasi, metode *Weighted Average* digunakan dengan prosedur pengambilan rata-rata menggunakan pembobotan berupa derajat keanggotaan.

D. Perancangan Perangkat Kendali

Sesuai pada Gambar 1, maka dapat diuraikan rangkaian dan konfigurasi sistem pada penelitian ini. Perancangan perangkat kendali terdiri dari sensor HC-SR04, sensor TDS, sensor pH, Arduino Mega, Relay 4 Channel, modul ESP8266 [11],

beberapa pompa, catu daya 15 5A, catu daya 12V 5A dan LCD yang kemudian perangkat tersebut ditempatkan pada panel akrilik.



Gambar 11. Single Line Diagram Sistem Kendali

E. Perancangan Program Arduino

Setelah melakukan perancangan logika fuzzy pada Matlab, desain rancangan tersebut dikonversi ke bahasa C sehingga dapat diolah menggunakan Arduino IDE. Perancangan program pada Arduino IDE menggunakan beberapa *library* untuk dapat mengakses modul elektronika yang digunakan pada sistem.

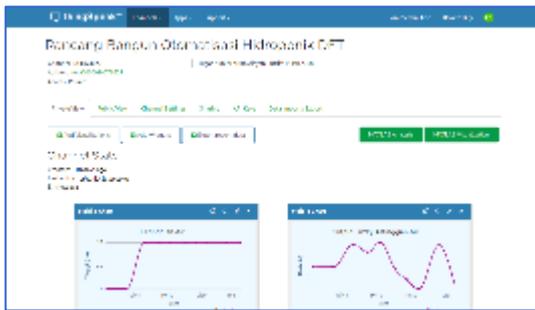
Tabel 1. Daftar *Library* pada Arduino IDE

No.	<i>Library</i>	Fungsi
1	fis_header.h	Konverter file .fis pada Matlab ke bahasa C pada Arduino
2	Wire.h	Mengaktifkan komunikasi serial I2C
3	LiquidCrystal_I2C.h	Mengakses LCD menggunakan komunikasi serial I2C
4	GravityTDS.h	Mengakses sensor TDS
5	KRwifi.h	Mengakses modul WiFi ESP8266
6	Ultrasonic.h	Mengakses sensor HC-SR04

Seluruh sistem, baik hasil perhitungan menggunakan logika fuzzy, inialisasi pin *input* dan *output*, menghubungkan ke WiFi hingga menghubungkan ke ThingSpeak dikendalikan menggunakan mikrokontroler Arduino Mega 2560. Hasil pembacaan sensor, baik sensor HC-SR04, sensor TDS dan sensor pH dikirim secara serial ke Arduino Mega 2560. Kemudian oleh Arduino, data-data tersebut diolah menggunakan logika fuzzy Sugeno berdasarkan hasil simulasi pada Matlab menjadi sebuah nilai *output* yang akan diteruskan ke beberapa pompa. Seluruh proses tersebut juga dikirim ke ThingSpeak sebagai media untuk menampilkan data secara *realtime*.

F. Perancangan Aplikasi ThingSpeak

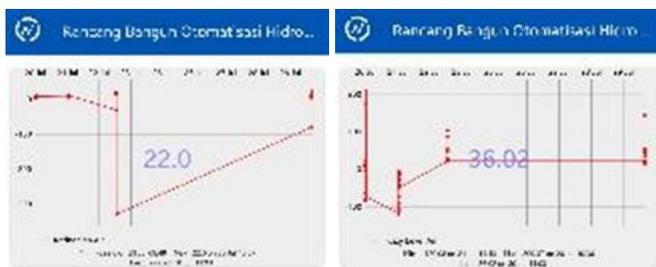
Dalam merancang IoT pada sistem ini, digunakan *platform* ThingSpeak sebagai media untuk menerima informasi berupa data *input* dan *output* yang berasal dari mikrokontroler. Dalam menggunakan ThingSpeak, dibutuhkan instruksi program dengan mencantumkan nama web server dan token API (*Application Programming Interface*) pada *sketch* program di Arduino IDE.



Gambar 12. Tampilan ThingSpeak

G. Perancangan Aplikasi ThingView

Aplikasi ThingView berguna untuk memudahkan mengakses dan memvisualisasikan data dari ThingSpeak pada *smartphone*. Untuk dapat mengakses aplikasi ini, dibutuhkan *Channel ID* dan token API. *Channel ID* dan token API dapat diperoleh pada *platform* ThingSpeak. Perancangan dimulai dengan mengunduh aplikasi ThingView pada *smartphone*. Kemudian tambahkan *channel* dengan memasukkan *channel ID* dan API Keys. Setelah itu, pilih simpan dan sistem dapat diakses melalui ThingView pada *smartphone*.



Gambar 13. Tampilan ThingView

IV. HASIL DAN ANALISA

Bagian ini merupakan hasil dari perancangan, baik prototipe maupun perancangan sistem kendali.

A. Pengujian Sensor HC-SR04

Pengujian dilakukan dengan cara membandingkan hasil pengukuran antara sensor HC-SR04 dengan nilai aktual yang diukur dengan penggaris. Pengujian sensor bertujuan untuk mengetahui keakuratan dari sensor HC-SR04 sehingga dalam sistem kendali hidroponik menggunakan logika fuzzy, pengukuran ketinggian air dalam tangki nutrisi dapat digantikan oleh sensor HC-SR04.



Gambar 14. Pengujian Sensor HC-SR04

Berikut adalah hasil pengujian sensor HC-SR04 dengan penggaris dengan jarak percobaan yang berbeda-beda.

Tabel 2. Hasil Pengujian Sensor HC-SR04

No.	Jarak	Sensor HC-S404	Penggaris	Persentase
1	3 cm	3 cm	3 cm	0%
2	6 cm	6 cm	6 cm	0%
3	12 cm	12 cm	12 cm	0%
4	18 cm	18 cm	18 cm	0%
5	21 cm	21 cm	21 cm	0%
6	24 cm	24 cm	24 cm	0%
7	30 cm	30 cm	30 cm	0%
8	36 cm	36 cm	36 cm	0%
9	42 cm	42 cm	42 cm	0%
10	45 cm	45 cm	45 cm	0%
Persentase Rata-Rata Kesalahan				0%
Persentase Akurasi				100%

Berdasarkan hasil pengujian tersebut, dari total 10 percobaan, diperoleh persentase rata-rata kesalahan sebesar 0%, sehingga sensor HC-SR04 memiliki keakuratan sebesar 100%.

B. Pengujian Sensor TDS

Pengujian dilakukan dengan cara membandingkan hasil pengukuran antara sensor TDS dengan nilai aktual yang diukur dengan TDS meter digital. Pengujian sensor bertujuan untuk mengetahui keakuratan dari sensor TDS sehingga dalam sistem kendali hidroponik menggunakan logika fuzzy, pengukuran kepekatan air dalam tangki nutrisi dapat digantikan oleh sensor TDS.



Gambar 15. Pengujian Sensor TDS

Berikut adalah tabel hasil pengujian sensor TDS dengan TDS Meter Digital dengan kepekatan larutan yang berbeda-beda.

Tabel 3. Hasil Pengujian Sensor TDS

No.	Jenis Larutan	Sensor TDS	TDS Meter Digital	Persentase
1	Larutan 1	71 ppm	66 ppm	8%
2	Larutan 2	137 ppm	132 ppm	4%
3	Larutan 3	249 ppm	240 ppm	4%
4	Larutan 4	373 ppm	358 ppm	4%
5	Larutan 5	426 ppm	412 ppm	3%
6	Larutan 6	478 ppm	453 ppm	6%
7	Larutan 7	584 ppm	533 ppm	10%
8	Larutan 8	664 ppm	632 ppm	5%
9	Larutan 9	756 ppm	693 ppm	9%
10	Larutan 10	1133 ppm	1074 ppm	5%
Persentase Rata-Rata Kesalahan				6%
Persentase Akurasi				94%

Berdasarkan hasil pengujian tersebut, dari total 10 percobaan, diperoleh persentase rata-rata kesalahan sebesar 6%, sehingga sensor TDS memiliki keakuratan sebesar 94%.

C. Pengujian Sensor pH

Pengujian dilakukan dengan cara membandingkan hasil pengukuran antara sensor pH dengan nilai aktual yang diukur dengan pH meter digital. Pengujian sensor bertujuan untuk mengetahui keakuratan dari sensor pH sehingga dalam sistem kendali hidroponik menggunakan logika fuzzy, pengukuran pH air dalam tangki nutrisi dapat digantikan oleh sensor pH. Pengujian dilakukan dengan pengambilan nilai hasil dari pembacaan sensor dan pH meter digital pada larutan pH Buffer 4,01 dan pH Buffer 6,86.



Gambar 16. Pengujian Sensor pH

Berikut adalah tabel hasil pengujian sensor pH dengan pH Meter Digital dengan nilai pH larutan yang berbeda-beda.

Tabel 4. Hasil Pengujian Sensor pH

No.	Jenis Larutan	Sensor pH	pH Meter Digital	Persentase
1	pH Buffer 4,01	4	4	8%
2	pH Buffer 6,86	9,83	6,9	4%
Persentase Rata-Rata Kesalahan				1%
Persentase Akurasi				99%

Berdasarkan hasil pengujian tersebut, dari percobaan tersebut diperoleh persentase rata-rata kesalahan sebesar 1%, sehingga sensor pH memiliki keakuratan sebesar 99%.

D. Pengujian Mikrokontroler dengan Matlab

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui keakuratan perhitungan logika fuzzy pada Arduino dengan cara membandingkan dengan hasil perhitungan pada Matlab. Pengujian dilakukan dengan menggunakan beberapa nilai pembacaan pada sensor HC-SR04, sensor TDS dan sensor pH. Kemudian dari hasil tersebut akan dibandingkan dengan hasil perhitungan pada Matlab untuk mengetahui keakuratan pada program logika fuzzy pada Arduino. Berikut adalah tabel hasil pengujian nilai *output* antara Arduino dengan Matlab.

Tabel 5. Hasil Pengujian Nilai *Output* Antara Arduino dengan Matlab

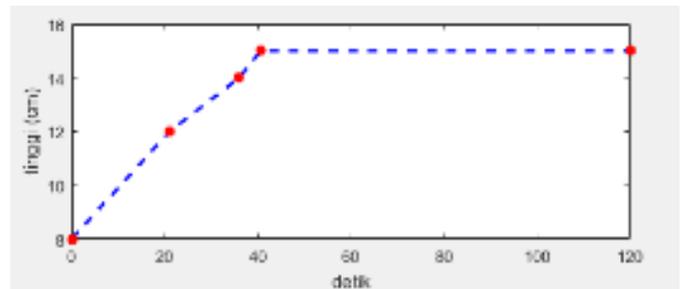
No.	Arduino/ Matlab	<i>Input</i>			<i>Output</i>				Persentase
		Tinggi Air (cm)	TDS (ppm)	pH	Pompa Air (detik)	Pompa ABmix (detik)	Pompa pH Up (detik)	Pompa pH Down (detik)	
1	Arduino	8	156,2	4,6	21	20	2,6	0	0,1%
	Matlab				21	20	2,61	0	

2	Arduino	12	411	4,8	15	18,76	1,64	0	0,05%
	Matlab				15	18,8	1,64	0	
3	Arduino	14	689,4	4,9	5,61	10	1,24	0	0,24%
	Matlab				5,62	10	1,25	0	
4	Arduino	15	834	5	0	3,2	0	0	0,76%
	Matlab				0	3,3	0	0	
5	Arduino	15	950	5	0	0	0	0	0%
	Matlab				0	0	0	0	
Persentase Rata-Rata Kesalahan									0,23%
Persentase Akurasi									99,77%

Dari total percobaan seperti pada tabel diatas, diperoleh persentase rata-rata kesalahan sebesar 0,23%, sehingga nilai *output* yang dihasilkan dari logika fuzzy pada Arduino memiliki keakuratan sebesar 99,77%.

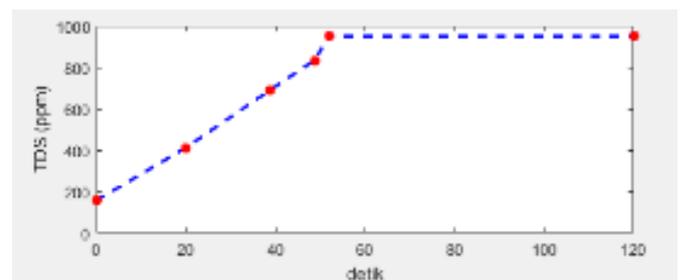
E. Pengujian Respon Waktu Sistem

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui respon waktu pada sistem kendali. Data yang digunakan yaitu berasal dari tabel 5 kemudian divisualisasikan ke dalam bentuk grafik untuk melihat durasi dari setiap pembacaan sensor mencapai keadaan tunak.



Gambar 17. Pengujian respon waktu pada tinggi air

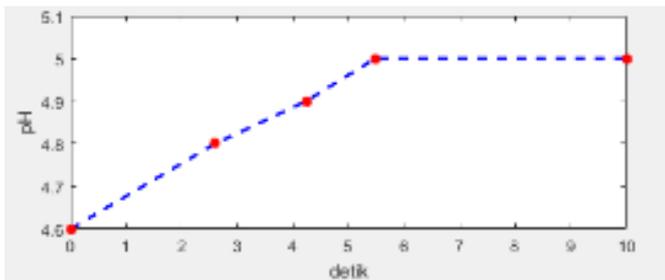
Berdasarkan hasil pengujian tersebut, ketika sensor membaca nilai tinggi air 8 cm, sistem kendali diaktifkan dan sistem mulai memberikan respon. Pada detik ke-41 respon sistem sudah dalam kondisi tunak dengan nilai tinggi air sekitar 15 cm. Dengan pengendali yang dirancang, nilai tinggi air mampu menuju rentang referensi dalam waktu 41 detik.



Gambar 18. Pengujian respon waktu pada TDS

Berdasarkan hasil pengujian tersebut, ketika sensor membaca nilai TDS 156,2 ppm, sistem kendali diaktifkan dan sistem mulai memberikan respon. Pada detik ke-51,96 respon

sistem sudah dalam kondisi tunak dengan nilai TDS sekitar 950 ppm. Dengan pengendali yang dirancang, nilai TDS mampu menuju rentang referensi dalam waktu 51,96 detik.



Gambar 19. Pengujian respon waktu pada pH

Berdasarkan hasil pengujian tersebut, ketika sensor membaca nilai pH 4,6, sistem kendali diaktifkan dan sistem mulai memberikan respon. Pada detik ke-5,48 respon sistem sudah dalam kondisi tunak dengan nilai pH sekitar 5. Dengan pengendali yang dirancang, nilai pH mampu menuju rentang referensi dalam waktu 5,48 detik.

F. Pengujian Pengiriman Data ke ThingSpeak

Skema pengujian dilakukan dengan membandingkan *timestamp* pada Arduino dengan grafik yang tampil pada ThingSpeak. Pengujian dilakukan sebanyak 5 kali percobaan untuk melihat rata-rata waktu yang dibutuhkan dari proses pengiriman data hingga data tersebut diterima oleh ThingSpeak. Berikut adalah tabel hasil pengujian pengiriman data dari Arduino ke ThingSpeak.

Tabel 6. Kecepatan Pengiriman Data ke ThingSpeak

No.	Timestamp Arduino	Timestamp ThingSpeak	Selisih
1	23:13:00	23:13:11	11 detik
2	23:14:08	23:14:19	11 detik
3	23:15:20	23:15:31	11 detik
4	23:16:29	23:16:41	12 detik
5	23:17:39	23:17:50	11 detik
Rata-Rata Waktu Pengiriman Data			11,2 detik

Berdasarkan uraian di atas, diperoleh rata-rata waktu pengiriman data dari Arduino ke ThingSpeak selama 11,2 detik. *Delay* ini dikarenakan oleh server yang terlebih dahulu harus memeriksa keberadaan sistem apakah sudah dalam satu jaringan atau tidak. Jika berada dalam satu jaringan yang sama, maka server akan langsung mengirim data ke ThingSpeak. Jika tidak, maka ThingSpeak tidak akan menampilkan data yang berasal dari perangkat tersebut.

G. Pengaruh Logika Fuzzy pada Pertumbuhan Tanaman

Pengujian ini dilakukan selama beberapa hari dengan membandingkan pertumbuhan tanaman bayam merah yang dikendalikan dengan logika fuzzy dengan tanpa kendali logika fuzzy. Sebelum melakukan pengujian, tanaman tersebut disemai secara bersamaan, diberikan nutrisi awal yang sama namun berbeda wadah penanaman setelah proses penyemaian.



Gambar 20. Pertumbuhan tanaman dengan kendali tanpa logika fuzzy dan kendali menggunakan logika fuzzy

Sampai pada hari terakhir pengujian, pertumbuhan tanaman terlihat seperti gambar di atas. Berikut ini adalah tabel perbandingan pertumbuhan tanaman dengan kendali tanpa logika fuzzy dan kendali menggunakan logika fuzzy.

Tabel 7. Hasil pertumbuhan tanaman dengan kendali tanpa logika fuzzy dan kendali menggunakan logika fuzzy

Hari ke-	Tinggi (cm)		Jumlah Daun (helai)		Lebar Daun (cm)	
	Tanpa Logika Fuzzy	Logika Fuzzy	Tanpa Logika Fuzzy	Logika Fuzzy	Tanpa Logika Fuzzy	Logika Fuzzy
1	6	6	4	4	2,5	2,5
2	6,2	6,5	4	4	2,6	2,7
3	6,5	7	4	4	2,7	2,8
4	6,8	7,4	4	5	2,8	3
5	7,2	7,9	4	5	2,9	3,1
6	7,5	8,2	5	5	3	3,3
7	7,8	8,5	5	6	3,1	3,5
8	8	9,2	5	6	3,2	3,8
9	8,3	9,8	6	6	3,3	4
10	8,6	10,3	6	7	3,4	4,2
11	9	11	6	7	3,5	4,5
12	9,2	11,8	6	7	3,6	4,7
13	9,6	12,5	7	8	3,7	5
14	10	13	7	8	3,8	5,1

Berdasarkan hasil pengujian pada tabel diatas, terlihat pertumbuhan tanaman dengan kendali logika fuzzy lebih cepat tumbuh dibandingkan dengan pengendalian tanpa logika fuzzy. Pada hari terakhir pengujian, tinggi tanaman tanpa kendali logika fuzzy yaitu 10 cm, sedangkan tinggi tanaman menggunakan kendali logika fuzzy yaitu 13 cm. Kemudian jumlah daun tanpa kendali logika fuzzy yaitu berjumlah 7 helai, sedangkan jumlah daun pada tanaman yang menggunakan kendali logika fuzzy berjumlah 8 helai. Lebar daun pada tanaman tanpa menggunakan kendali logika fuzzy yaitu 3,8 cm, sedangkan pada tanaman yang menggunakan kendali logika fuzzy yaitu 5,1 cm. Dengan demikian, pertumbuhan tanaman menggunakan kendali logika fuzzy lebih optimal dibandingkan dengan pertumbuhan tanaman tanpa kendali logika fuzzy dengan selisih perbedaan pada tinggi tanaman yaitu 3 cm, jumlah daun yaitu 1 helai dan lebar daun yaitu 1,3 cm.

V. KESIMPULAN

Setelah melakukan perancangan hingga pengujian sistem kendali, maka dapat disimpulkan beberapa diantaranya yaitu berdasarkan hasil pengujian pada pertumbuhan tanaman

menggunakan kendali logika fuzzy lebih optimal dibandingkan tanpa kendali logika fuzzy. Respon waktu pada pengendalian tinggi air mencapai kestabilan yaitu 41 detik. Respon waktu pada pengendalian TDS mencapai kestabilan yaitu 51,96 detik. Respon waktu pada pengendalian pH mencapai kestabilan yaitu 5,48 detik. Nilai *output* pada Arduino memiliki keakuratan sebesar 99,77% terhadap nilai *output* yang disimulasikan menggunakan Matlab. Dari hasil pengujian komunikasi data, diperoleh rata-rata waktu pengiriman data dari Arduino ke ThingSpeak yaitu 11,2 detik. Dengan pengujian keseluruhan sistem, prototipe bekerja sesuai dengan program yang telah dirancang.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. S. Suryani, "Pengaruh Kualitas Lingkungan Terhadap Pemenuhan Kebutuhan Dasar di Provinsi Banten," *Aspir. J. Masal. Sos.*, vol. 9, no. 1, pp. 35–63, Jun. 2018, Accessed: Jul. 30, 2021. [Online]. Available: <https://jurnal.dpr.go.id/index.php/aspirasi/article/view/991>.
- [2] P. E. P. Ariati, N. P. C. D. Atmaja, and N. M. S. Utami, "Abdimas Hidroponik Sebagai Basis Peningkatan Perekonomian Masyarakat Pada Pkk Banjar Delod Pangkung Desa Sukawati, Kecamatan Sukawati Kabupaten Gianyar," *J. Bakti Sar. Media Publ. Penelit. dan Penerapan Ipteks*, vol. 7, no. 1, pp. 53–60, Mar. 2018, Accessed: Jul. 31, 2021. [Online]. Available: <https://e-journal.unmas.ac.id/index.php/baktisaraswati/article/view/151>.
- [3] V. R. Saraswathy, C. Nithiesh, S. Palani Kumaravel, and S. Ruphasri, "Integrating intelligence in hydroponic farms," *Int. J. Electr. Eng. Technol.*, vol. 11, no. 4, pp. 150–158, 2020, doi: 10.34218/IJEET.11.4.2020.017.
- [4] Agustina Henik, "Efisiensi penggunaan air pada budidaya *Amaranthus viridis* (bayam hijau L) secara hidroponik." <http://lontar.ui.ac.id/detail?id=130042&lokasi=lokal#> (accessed Jul. 31, 2021).
- [5] G. N. Maulidya, Fauziah, and N. Hayati, "Prototype Automatic Maintenance System on Hydroponic Plants Using Fuzzy and Arduino Uno Methods," vol. 4, no. 3, pp. 1849–1854, 2020.
- [6] M. Daud, V. Handika, and A. Bintoro, "Design and realization of fuzzy logic control for Ebb and flow hydroponic system," *Int. J. Sci. Technol. Res.*, vol. 7, no. 9, pp. 138–144, 2018.
- [7] H. Fakhurroja, S. A. Mardhotillah, O. Mahendra, A. Munandar, M. I. Rizqyawan, and R. P. Pratama, "Automatic pH and Humidity Control System for Hydroponics Using Fuzzy Logic," *2019 Int. Conf. Comput. Control. Informatics its Appl. Emerg. Trends Big Data Artif. Intell. IC3INA 2019*, pp. 156–161, 2019, doi: 10.1109/IC3INA48034.2019.8949590.
- [8] F. Ruscio, P. Paoletti, J. Thomas, P. Myers, and S. Fichera, "Low-Cost Monitoring System for Hydroponic Urban Vertical Farms," vol. 13, no. 10, pp. 267–271, 2019.
- [9] S. E. Sukmana, "Sliding Modes Strategy Implementation for Controlling Nutrition in Hydroponics Based IoT," vol. 4, no. 2, pp. 48–56, 2019.
- [10] J. Andika, E. Permana, and S. Attamimi, "Perancangan Sistem Otomatisasi dan Monitoring Perangkat Perawatan Tanaman Hias Berbasis Internet of Things," vol. 13, no. 2, pp. 100–100, May 2022, doi: <https://doi.org/10.22441/jte.2022.v13i2.007>.
- [11] A. Saputra, M. H. I. Hajar, and A. R. Bahrain, "Sistem Kontrol Pada Hydroponics Grow Room Dengan Menggunakan Module Esp8266-01," vol. 10, no. 1, pp. 16–16, Dec. 2019, doi: <https://doi.org/10.22441/jte.v10i1.003>.