

Rancang Bangun Sistem EBB And Flow Berbasis Internet of Things

Nizar Agil Fahreza^{1*}

¹Teknik Elektro, Universitas Mercu Buana, Jakarta

*nizarafahreza13@gmail.com

Abstrak— Penelitian ini bertujuan merancang sistem kendali otomatis pada budidaya tanaman hidroponik menggunakan teknik Ebb and Flow dengan fokus pada sirkulasi nutrisi serta pengendalian kandungan nutrisi dan pH larutan dengan menggunakan sistem kendali Fuzzy Mamdani. Sistem dikembangkan berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan pemrosesan utama menggunakan ESP32 yang terintegrasi dengan beberapa sensor, yaitu lima sensor ultrasonik untuk membaca ketinggian air pada bak tanaman, bak larutan, penampungan nutrisi A, penampungan nutrisi B, penampungan larutan alkali, dan penampungan larutan *acidic*. Selain itu terdapat sensor pH-4502C untuk mendeteksi keasaman larutan, sensor suhu tipe NTC untuk mendeteksi temperature larutan, serta sensor TDS untuk mengukur kandungan nutrisi. Data hasil pembacaan sensor dan hasil dikirim secara real time ke Firebase. Sementara aktuator yang digunakan pompa submersible digunakan untuk mengalirkan larutan, pompa DC untuk digunakan membuang larutan, serta empat pompa DC yang digunakan untuk memasukan larutan nutrisi A, nutrisi B, larutan alkali, dan larutan asam. Dalam pemantauan dan pengendalian jarak jauh menggunakan aplikasi Android yang dibangun dengan bahasa pemrograman Kotlin dengan dukungan Pustaka KOIN, MPAndroidChart, dan Livedata. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan proses Ebb and Flow secara otomatis melalui tahapan sirkulasi, banjir dan drainase, dengan kendali nutrisi menghasilkan kesalahan maksimum 2.16% dan minimum 0.32%, serta kesalahan pengendalian pH maksimum 5.43% dan minimum 1.16%. Dengan demikian, sistem ini terbukti efektif dalam mengotomatisasi proses budidaya hidroponik sekaligus meningkatkan efisiensi pemantauan serta pengendalian jarak jauh.

Kata Kunci— *hidroponik, Ebb and Flow, Internet of Things, fuzzy Mamdani, sistem kendali otomatis*

DOI: 10.22441/jte.2026.v17i2.009

I. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara agraris yang memiliki daya dukung tanah yang subur. Akan tetapi, terjadi penurunan pada tahun 2019 sampai 2023 lahan sawah sebesar 1,06% [1]. Salah satu penyebabnya penurunan ini disebabkan oleh penggunaan peptisida yang berakibat pada penurunan kondisi kesuburan tanah [2]. Hal ini yang mengakibatkan petani lebih memilih untuk budidaya tanaman dengan metode hidroponik yang tidak menggunakan tanah sebagai media tanamannya.

Hidroponik merupakan pola bercocok tanam dengan penggunaan media air yang telah dicampurkan dengan nutrisi mikro dan makro yang dibutuhkan oleh tanaman [3]. Berkembangnya saat ini sehingga banyak sekali metode yang

digunakan dalam budidaya tanaman hidroponik. Salah satu metodenya yaitu Ebb and Flow. Metode Ebb and Flow atau bisa disebut juga metode flood and drain merupakan metode yang memberikan nutrisi pada tanaman dengan membanjirkan bak tanaman dalam level dan waktu tertentu. Setelah itu membuang larutan pada bak tanaman sampai habis. Pada kondisi banjir tanaman diberikan waktu untuk melakukan penyerapan nutrisi, sementara kondisi drain dilakukan untuk memberikan tanaman untuk menyerap oksigen yang dibutuhkan untuk perkembangannya [4]

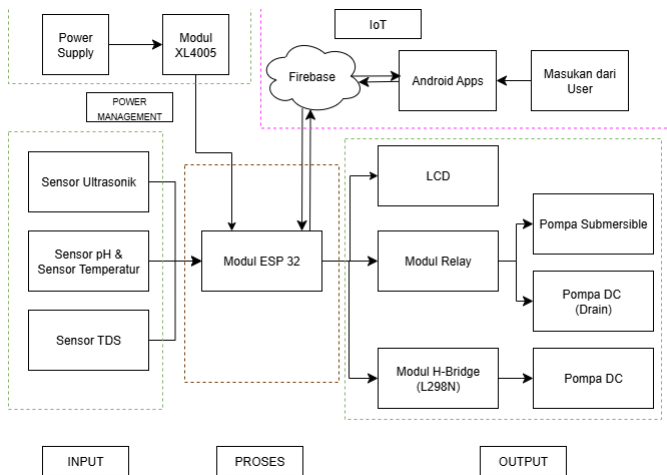
Kekurangan dari metode Ebb and Flow yaitu proses sirkulasi harus berjalan bergantian sesuai dengan interval yang sesuai dengan kebutuhan tanaman serta pemantauan yang rutin [5]. Selain itu penggunaan larutan nutrisi secara terus menerus dapat mengakibatkan penurunan nilai ppm pada larutan dan berpotensi berkurangnya kualitas tanaman yang dihasilkan [6].

Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem kendali otomatis pada budidaya tanaman hidroponik menggunakan teknik Ebb and Flow dengan focus pada sirkulasi dan kendali ppm serta pH pada larutan yang diberikan pada tanaman dengan pemantauan dan kendali dari jarak jauh [7-11].

II. METODOLOGI PENELITIAN

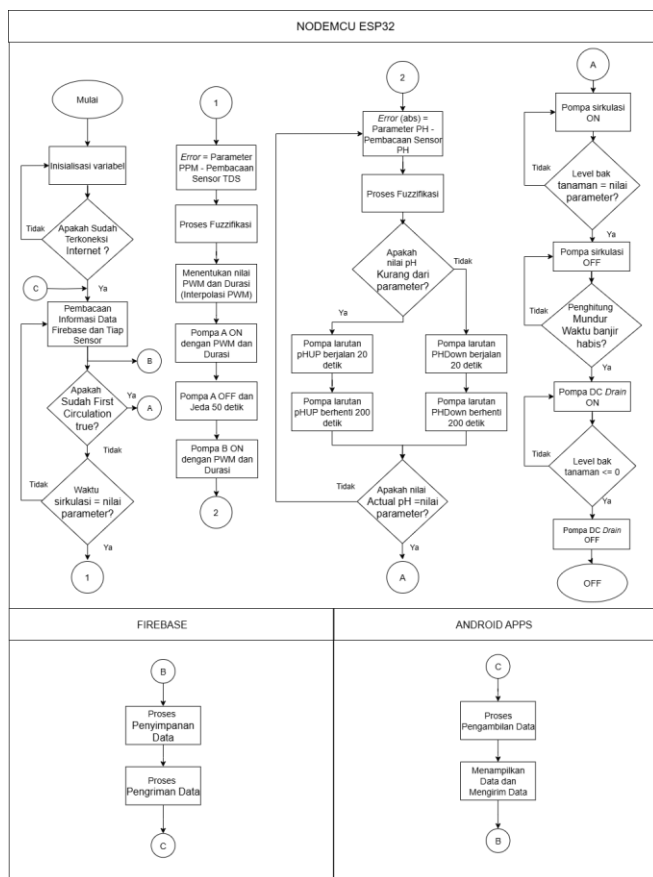
A. Diagram Blok Sistem

Perancangan diagram blok sistem yang akan menjadi kerangka gambaran dalam pembuatan alat sesuai dengan tujuan yang ditetapkan. Pada Gambar 1 dijelaskan bahwa sebagai *input* adalah sensor ultasonik, sensor pH, sensor temperature, dan sensor TDS yang diproses oleh mikrokontroler ESP32 yang terhubung ke internet. Kemudian data akan diproses pada Firebase. Sebagai *output* menggunakan modul relay yang digunakan untuk mengendalikan pompa submersible dan pompa dc, serta terdapat modul H-Bridge yang digunakan untuk mengendalikan kecepatan pompa dc dalam mengalirkan 4 larutan yaitu nutrisi A, nutrisi B, larutan alkali dan larutan *acidic*. Data – data pada Firebase dapat dipantau dan dikendalikan menggunakan aplikasi Android secara real-time. Pada power Management terdapat penggunaan power supply 12V serta modul XL4005 untuk menurunkan tegangan 5V.



Gambar 1. Blok Diagram Sistem

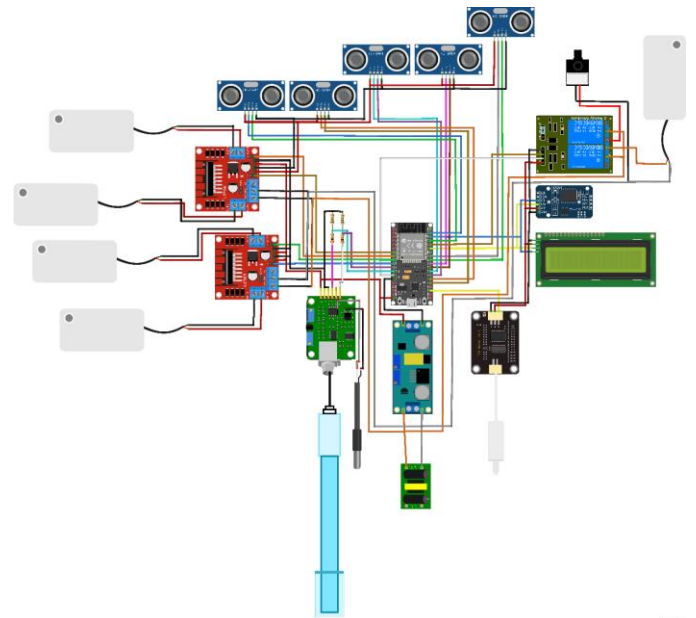
Sistem ini bekerja dengan membaca data dari sensor pH, sensor TDS, suhu dan ultrasonik melalui ESP32, yang mengubah sinyal analog menjadi data dan menampilkannya pada LCD. Data juga dikirim melalui internet ke Firebase setelah inisialisasi WiFi SSID, password, dan username. Data pada Firebase ditampilkan secara real-time di aplikasi Android. Sistem kendali sirkulasi larutan dan kandungan pH dan nutrisi dilakukan secara otomatis. Pengendalian nutrisi dan pH dilakukan dengan bantuan fuzzy Mamdani. Flowchart sistem dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Flowchart Sistem

B. Perancangan Skematik

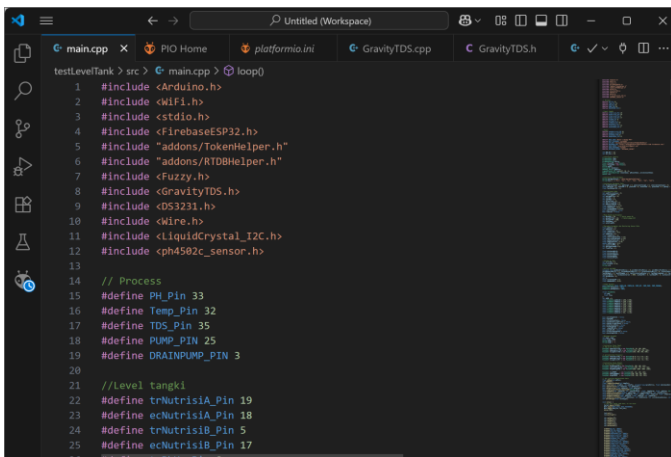
Dari skematik rangkaian dapat dilihat pada Gambar 3 bahwa Pada perancangan perangkat keras, sensor pH-4502, sensor suhu, dan sensor Total Dissolved Solid dihubungkan ke pin analog NodeMCU ESP32. Karena tegangan kerja maksimum ESP32 adalah 3,3 V, maka sensor pH-4502 dan sensor suhu dilengkapi rangkaian pembagi tegangan dengan rasio 1/3 agar output tetap berada dalam batas yang dapat diproses. Sensor ultrasonik terhubung melalui pin PWM, sedangkan aktuator berupa pompa submersible dan katup solenoid dikendalikan menggunakan modul relay dengan catu daya sesuai spesifikasi masing-masing komponen. Untuk pompa arus searah, pengendalian dilakukan menggunakan modul H-bridge yang dihubungkan ke pin digital ESP32. Sistem ini menggunakan catu daya utama 12 V, kemudian diturunkan menjadi 5 V melalui modul konverter DC-DC agar sesuai dengan kebutuhan rangkaian tertentu. NodeMCU ESP32 berfungsi memproses data hasil pembacaan sensor dan mengendalikan aktuator sesuai logika sistem yang ditetapkan. Seluruh data sensor dikirimkan secara real time ke basis data Firebase melalui koneksi internet, sehingga informasi dapat ditampilkan pada aplikasi smartphone. Selain itu, aplikasi smartphone juga menyediakan fitur input yang dikirim ke Firebase dan kemudian diteruskan ke ESP32, sehingga sistem mampu menghasilkan keluaran sesuai dengan perintah maupun kebutuhan pengguna.



Gambar 3. Rangkaian Skematik Alat

C. Perancangan Software

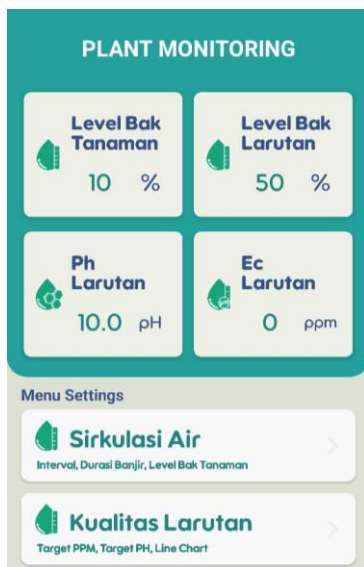
Proses perancangan perangkat lunak yang ditanamkan pada mikrokontroler. Program ditulis dalam bahasa C/C++ menggunakan PlatformIO IDE yang terintegrasi dengan Visual Studio Code. Perintah yang ditulis kemudian dikompilasi dan diunggah ke mikrokontroler ESP32. Pemilihan Board Manager disesuaikan dengan jenis mikrokontroler agar sistem dapat berjalan sesuai rancangan.



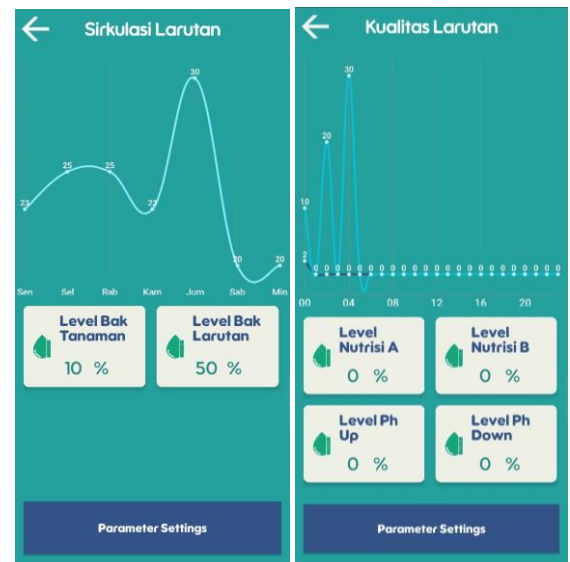
Gambar 4. Coding PlatformIO IDE

D. Perancangan Aplikasi Android

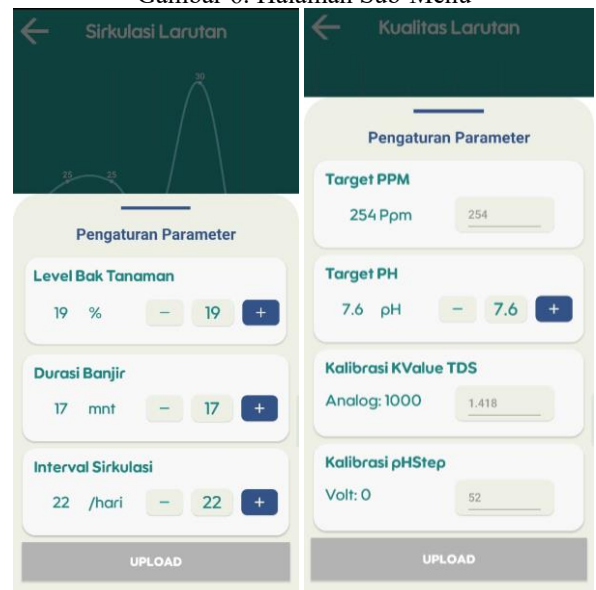
Aplikasi Android dirancang untuk memantau data sensor secara real time dan mengendalikan sistem hidroponik. Pada Gambar 5 tampilan utama menampilkan data sensor serta navigasi ke sub-menu sirkulasi dan kualitas larutan. Pada Gambar 6 sub-menu sirkulasi menampilkan jumlah siklus harian dan ketinggian air, sedangkan sub-menu kualitas larutan menampilkan data pH, Total Dissolved Solid, serta ketinggian nutrisi. Pada Gambar 7 parameter seperti level bak, durasi banjir, target pH, dan ppm dapat diatur melalui bottom sheet. Aplikasi memanfaatkan LiveData untuk pembaruan data otomatis dari Firebase, KOIN untuk dependency injection, dan MPAndroidChart untuk visualisasi grafik, sehingga monitoring dan pengendalian dapat dilakukan secara interaktif dan efisien.



Gambar 5. Halaman Utama



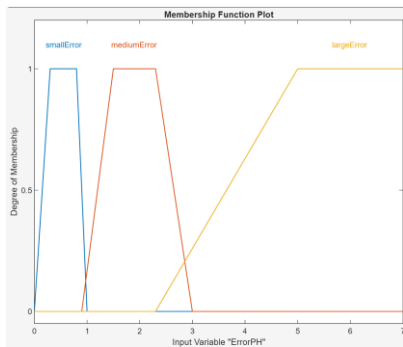
Gambar 6. Halaman Sub-Menu



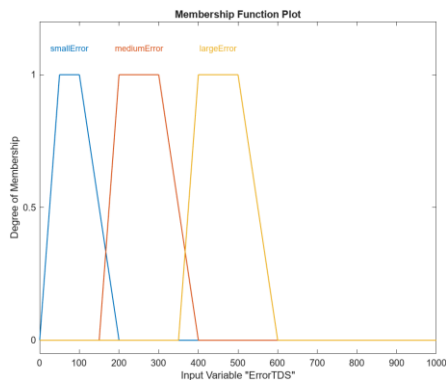
Gambar 7. Halaman Pengaturan Parameter

E. Perancangan Sistem Kendali Fuzzy

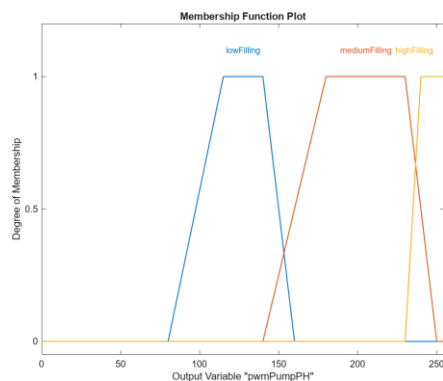
Sistem kendali fuzzy dalam mengendalikan kandungan pH dan nutrisi dirancang dengan input yang digunakan merupakan nilai error yang dihasilkan dari pengurangan nilai pembacaan sensor dan nilai target. Sementara untuk masing masing output untuk sistem kendali pH menghasilkan nilai PWM dalam mengendalikan kecepatan motor pompa, sedangkan pada sistem kendali nutrisi menghasilkan nilai volume yang dibutuhkan untuk menyesuaikan dengan target yang diberikan.



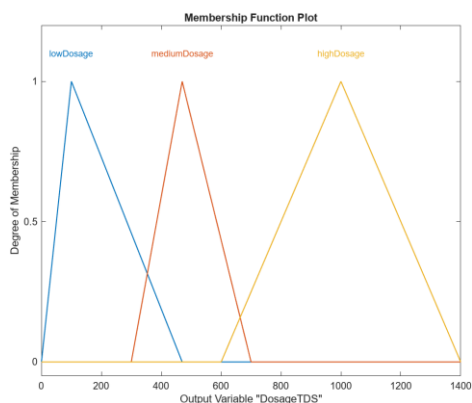
Gambar 8. Membership Variabel Input Sistem Kendali pH



Gambar 9. Membership Variabel Input Sistem Kendali Nutrisi



Gambar 10. Membership Variabel Output Sistem Kendali pH



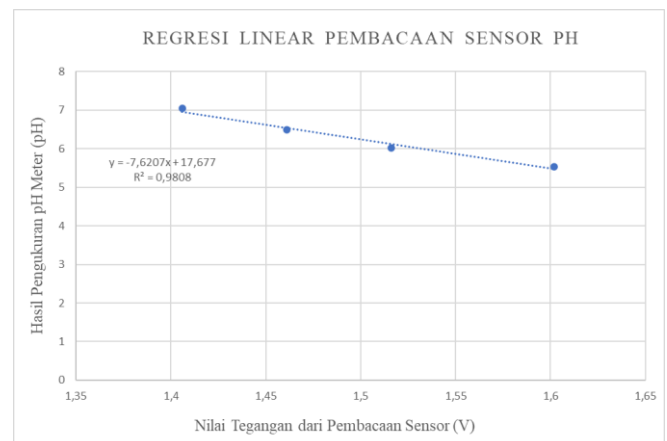
Gambar 11. Membership Variabel Ouput Sistem Kendali Nutrisi

III. HASIL DAN ANALISA

Setelah dilaksanakan perancangan pada alat, tahap berikutnya yaitu melakukan pengujian dan 137ctual137. Diawali dengan pengujian sensor pH dan sensor TDS dengan menggunakan beberapa sampel yang sudah diukur menggunakan pH meter dan TDS meter untuk dilakukan kalibrasi dengan metode regresi linear dan polynominal. Berikut hasil pengujian yang sudah dilakukan.

Tabel 1. Pengambilan Data Sampel Sensor PH

Nilai Tegangan dari Pembacaan Sensor (volt)	Hasil Pengukuran pH Meter (pH)
1,406	7,04
1,461	6,5
1,516	6,02
1,602	5,54



Gambar 12. Regresi linear terhadap data pengukuran pH

Adapun hasil untuk pengujian TDS sebelumnya ditentukan nilai kValue dengan rumus, berikut:

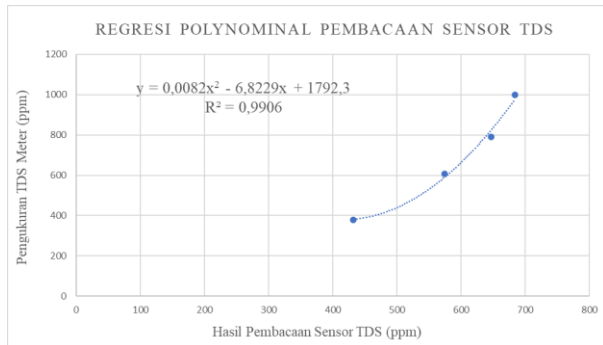
$$KValue = \frac{TDSValue \times 0,5}{\left(\frac{133,42 \times Voltage^3 - 255,86 \times Voltage^2 + 857,39 \times Voltage}{(1 + 0,02 \times (temperature - 25))} \right)}$$

Keterangan : *analog value* 137ctual nilai hasil dari pembacaan sensor yang dikonversikan ke nilai 137ctual137 oleh ESP32.KValue merupakan nilai konstanta yang diperlukan dalam mengkonversi pembacaan sensor ke satuan ppm. TDSValue merupakan hasil pengukuran 137ctual dengan alat ukur TDS meter digital.

Temperature merupakan hasil pengukuran sensor temperature terhadap larutan

Tabel 2. Pengambilan Data Sampel Sensor TDS

Hasil Pembacaan Sensor TDS (ppm)	Hasil Pengukuran TDS Meter (ppm)
684	998
647	790
574	607
432	379



Gambar 13. Regresi polynominal terhadap data pengukuran TDS

Setelah nilai pH dan TDS terkalibrasi maka selanjutnya tahapan pengujian sensor dan berikut ini adalah yang penulis dapatkan:

Tabel 3. Hasil Pembacaan Sensor pH setelah kalibrasi

No.	Pengukuran Larutan 1			Pengukuran Larutan 2			Pengukuran Larutan 3			Pengukuran Larutan 4		
	PH meter (pH)	Sensor PH (pH)	Error (%)	PH meter (pH)	Sensor PH (pH)	Error (%)	PH meter (pH)	Sensor PH (pH)	Error (%)	PH meter (pH)	Sensor PH (pH)	Error (%)
1	7,04	7,03	-0,13	6,5	6,54	0,66	6,02	5,99	-0,55	5,54	5,50	-0,74
2	7,04	7,00	-0,56	6,5	6,70	3,01	6,02	6,08	0,97	5,54	5,48	-1,15
3	7,04	6,90	-1,97	6,5	6,54	0,66	6,02	6,15	2,11	5,54	5,45	-1,56
4	7,04	6,77	-3,81	6,5	6,46	-0,63	6,02	6,14	1,98	5,54	5,47	-1,29
5	7,04	6,97	-1,00	6,5	6,48	-0,27	6,02	6,20	2,99	5,54	5,51	-0,60
6	7,04	6,90	-1,97	6,5	6,49	-0,16	6,02	6,19	2,87	5,54	5,47	-1,29
7	7,04	6,89	-2,08	6,5	6,62	1,84	6,02	6,28	4,26	5,54	5,50	-0,74
8	7,04	7,12	1,17	6,5	6,38	-1,25	6,02	6,13	1,85	5,54	5,42	-2,11
9	7,04	7,02	-0,35	6,5	6,49	-0,16	6,02	6,06	0,59	5,54	5,45	-1,56
10	7,04	7,05	0,09	6,5	6,52	0,31	6,02	6,06	0,72	5,54	5,45	-1,70
11	7,04	7,08	0,52	6,5	6,69	2,89	6,02	5,86	-2,70	5,54	5,49	-0,88
12	7,04	7,06	0,30	6,5	6,58	1,25	6,02	5,83	-3,21	5,54	5,51	-0,60
13	7,04	6,95	-1,21	6,5	6,63	2,07	6,02	5,80	-3,59	5,54	5,48	-1,15
14	7,04	6,95	-1,21	6,5	6,60	1,48	6,02	5,81	-3,46	5,54	5,47	-1,29
15	7,04	7,02	-0,35	6,5	6,58	1,25	6,02	5,84	-2,96	5,54	5,46	-1,43
16	7,04	7,08	0,52	6,5	6,54	0,66	6,02	5,87	-2,45	5,54	5,49	-0,88
17	7,04	7,05	0,20	6,5	6,61	1,72	6,02	5,89	-2,20	5,54	5,50	-0,74
18	7,04	6,97	-1,00	6,5	6,52	0,31	6,02	5,91	-1,82	5,54	5,47	-1,29
19	7,04	6,97	-1,00	6,5	6,49	-0,16	6,02	5,96	-0,93	5,54	5,42	-2,11
20	7,04	7,08	0,63	6,5	6,53	0,43	6,02	6,00	-0,30	5,54	5,42	-2,25
Nilai Rata-Rata	7,04	6,97	-1,06	6,50	6,54	0,65	6,02	6,13	1,78	5,54	5,47	-1,27

Tabel 4. Hasil Pembacaan Sensor TDS setelah kalibrasi

No.	Pengukuran Larutan 1			Pengukuran Larutan 2			Pengukuran Larutan 3			Pengukuran Larutan 4		
	TDS meter (ppm)	Sensor TDS (ppm)	Error (%)	TDS meter (ppm)	Sensor TDS (ppm)	Error (%)	TDS meter (ppm)	Sensor TDS (ppm)	Error (%)	TDS meter (ppm)	Sensor TDS (ppm)	Error (%)
1	407	410	0,84	607	605	-0,38	790	832	5,26	998	1005	0,67
2	407	411	1,04	607	594	-2,14	790	843	6,74	998	987	-1,15
3	407	410	0,64	607	599	-1,26	790	835	5,75	998	991	-0,70
4	407	407	0,06	607	602	-0,82	790	832	5,26	998	1009	1,13
5	407	409	0,44	607	591	-2,57	790	835	5,75	998	991	-0,70
6	407	411	1,04	607	599	-1,26	790	839	6,24	998	987	-1,15
7	407	412	1,26	607	602	-0,82	790	843	6,74	998	1009	1,13
8	407	410	0,64	607	594	-2,14	790	839	6,24	998	982	-1,60
9	407	407	0,06	607	599	-1,26	790	843	6,74	998	1000	0,21
10	407	408	0,24	607	602	-0,82	790	835	5,75	998	996	-0,24
11	407	413	1,47	607	591	-2,57	790	843	6,74	998	987	-1,15
12	407	410	0,64	607	607	0,07	790	839	6,24	998	1000	0,21
13	407	409	0,44	607	589	-3,00	790	847	7,24	998	987	-1,15
14	407	410	0,84	607	597	-1,70	790	839	6,24	998	982	-1,60
15	407	410	0,64	607	599	-1,26	790	851	7,74	998	973	-2,50
16	407	412	1,26	607	591	-2,57	790	828	4,77	998	978	-2,05
17	407	411	1,04	607	602	-0,82	790	828	4,77	998	982	-1,60
18	407	412	1,26	607	597	-1,70	790	835	5,75	998	978	-2,05
19	407	411	1,04	607	599	-1,26	790	843	6,74	998	973	-2,50
20	407	414	1,69	607	605	-0,38	790	859	8,74	998	996	-0,24
Average	407	410	0,63	607	599	-1,26	790	838	6,05	998	996	-0,24

Adapun pengujian sistem kendali fuzzy pada pengendalian pH dan nutrisi. Berikut hasilnya:

Tabel 5. Pengujian Sistem Kendali Fuzzy pH

No	Error pH (Input Fuzzy)	Output Crisp Fuzzy		Error Output Crisp (%)	Jenis Larutan yang Diberikan	Siklus Pengendalian Larutan (kali)	Target Kendali pH (pH)	Nilai Kandungan pH pada Larutan				Error Kendali Fuzzy (%)
		ESP32 (PWM)	Matlab (PWM)					Sebelum Fuzzifikasi		Setelah Fuzzifikasi		
								pH Meter (pH)	Pembacaan Sensor (pH)	pH Meter (pH)	Pembacaan Sensor (pH)	
1	0.63	123	123	0.00	PHDOWN	2	6.32	7.04	6.95	6.37	6.28	0.63
	0.09	120	120	0.00	PHDOWN							
2	0.51	125	123	0.00	PHUP	2	6.59	6.37	6.28	6.53	6.66	1.06
	0.15	121	121	0.00	PHUP							
3	1.31	198	198	0.00	PHDOWN	2	5.81	7.21	7.12	5.85	5.78	0.52
	0.19	121	122	0.82	PHDOWN							
4	1.02	196	196	0.00	PHUP	2	6.8	5.85	5.78	6.78	6.83	0.44
	0.11	121	121	0.00	PHUP							
5	0.94	123	123	0.00	PHDOWN	2	6.20	7.25	7.14	6.13	6.18	0.32
	0.18	122	122	0.00	PHDOWN							
6	0.29	137	139	1.44	PHUP	2	6.47	6.13	6.18	6.42	6.51	0.62
	0.16	122	122	0.00	PHUP							
7	0.96	152	151	0.66	PHDOWN	2	5.55	6.42	6.51	5.56	5.48	1.26
	0.1	121	121	0.00	PHDOWN							
8	1.45	198	199	0.50	PHUP	2	6.93	5.56	5.48	7.01	7.08	2.16
	0.08	121	121	0.00	PHUP							

Tabel 6. Pengujian Sistem Kendali Fuzzy TDS

No.	Error TDS (Input Fuzzy)	Output Crisp Fuzzy		Error Output Crisp (%)	Target Kendali Nutrisi (ppm)	Nilai Kandungan Nutrisi pada Larutan		Error Kendali Fuzzy (%)
		ESP32 (ml)	Matlab (ml)			Sebelum Fuzzifikasi (ppm)	Setelah Fuzzifikasi (ppm)	
1	50	190	190	0,00	418	370	439	5,02
2	200	491	490	0,20	639	439	652	2,03
3	158	278	279	0,36	810	652	854	5,43
4	113	191	192	0,52	967	854	998	3,21
5	411	1000	1000	0,00	771	360	791	2,59
6	323	491	491	0,00	687	364	695	1,16
7	183	470	471	0,21	878	695	901	2,62

Adapun pengujian sirkulasi larutan yang dilakukan dengan menguji otomatisasi dalam beberapa asper seperti interval, level larutan pada bak tanaman, dan durasi banjir dengan parameter target yang sudah ditentukan.

Tabel 7. Hasil Pengujian Sistem Sirkulasi Berdasarkan Parameter

No	Tinggi Larutan Aktual (cm)	Batas Larutan (cm)	Tinggi Larutan		Error (%)
			Target (%)	Aktual (%)	
1	4,1	15	30	27,33	91,11
2	5,15	15	40	34,33	85,83
3	7	15	50	46,73	93,47
4	7,8	15	60	52,00	86,67
5	10,1	15	70	67,33	96,19
6	12	15	80	80,00	100,00

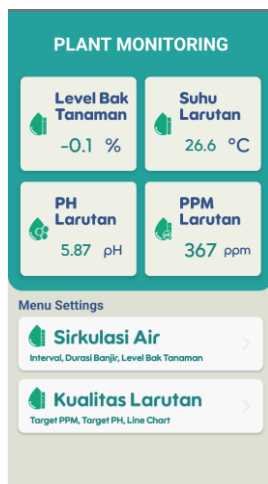
Tabel 8. Hasil Pengujian Level Larutan Berdasarkan Target Parameter

No	Tinggi Larutan Aktual (cm)	Batas Larutan (cm)	Tinggi Larutan		Error (%)
			Target (%)	Aktual (%)	
1	4,1	15	30	27,33	91,11
2	5,15	15	40	34,33	85,83
3	7	15	50	46,73	93,47
4	7,8	15	60	52,00	86,67
5	10,1	15	70	67,33	96,19
6	12	15	80	80,00	100,00

Tabel 9. Hasil Pengujian Durasi Banjir Berdasarkan Target Parameter

No	Durasi Banjir			Error (%)
	Target (detik)	Aktual Stopwatch (detik)	Aktual Alat (detik)	
1	60	60	60	0.0
2	120	120	120	0.0
3	180	180	180	0.0
4	240	240	240	0.0
5	300	300	300	0.0
6	360	360	360	0.0

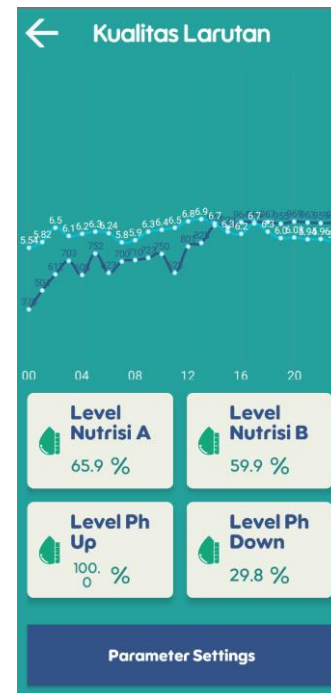
Pada pengujian aplikasi Android, pada Gambar 14 halaman utama aplikasi ditampilkan data – data saat pembacaan terakhir atau terkini dari pembacaan sensor. Selanjutnya pada Gambar 15, pada sub-menu sirkulasi larutan terlihat data dan grafik sirkulasi terkini. Dan Pada Gambar 16, pada sub-menu kualitas larutan terlihat data dan grafik kandungan pH dan nutrisi, serta masing – masing penampungan pH dan nutrisi.



Gambar 14. Halaman Utama



Gambar 15. Data dan Grafik Pada Sub-Menu Sirkulasi Larutan



Gambar 16. Data dan Grafik Pada Sub-Menu Kualitas Larutan

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan menunjukkan bahwa alat dapat bekerja sesuai dengan rancangan, yaitu mampu melakukan proses sirkulasi larutan, banjir, dan drain pada bak tanaman secara otomatis dengan interval yang ditentukan pengguna. Sistem dapat dipantau dan dikendalikan secara daring melalui aplikasi Android berbasis Internet of Things, dengan kemampuan membaca dan menulis data pada Firebase sesuai input pengguna. Pengujian kendali fuzzy pada kandungan pH menghasilkan nilai crisp yang sesuai dengan pengujian menggunakan Matlab, dengan tingkat kesalahan terbesar 2,16% dan terkecil 0,32%. Sementara itu, pengujian kendali fuzzy pada kandungan nutrisi juga menunjukkan hasil yang konsisten dengan Matlab, dengan tingkat kesalahan terbesar 5,43% dan terkecil 1,16%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian, "STATISTIK PERTANIAN," 2024.
- [2] www.distan.bulelengkab.go.id, "Pengaruh Penggunaan Pestisida Pada Tanah," <https://distan.bulelengkab.go.id/informasi/detail/artikel/engaruh-penggunaan-pestisida-pada-tanah-45>.
- [3] D. Nuswantara, A. B. Nugroho, and H. Setiawan, "DESAIN SISTEM MONITORING PENGONTROLAN SUHU, KELEMBABAN DAN SIRKULASI AIR OTOMATIS PADA TANAMAN ANGGREK HIDROPONIK BERBASIS ARDUINO UNO," 2020.
- [4] A. Swain, S. Chatterjee, M. Viswanath, A. Roy, and A. Biswas, "Hydroponics in vegetable crops: A review," ~ 629 ~ *The Pharma Innovation Journal*, vol. 10, no. 6, pp. 629–634, 2021, [Online]. Available: <http://www.thepharmajournal.com>
- [5] D. T. Santosh and D. Gaikwad, "Advances in Hydroponic Systems: Types and Management," *Advances in Agricultural Technology*, pp. 16–28, 2023, [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/370403663>

- [6] M. Siti, "6 Macam Teknik Hidroponik / Sistem Hidroponik," https://www.gramedia.com/best-seller/teknik-sistem-hidroponik/#6_Macam_Teknik_Hidroponik_Sistem_Hidroponik.
- [7] Aberathne B.M.P.P, "SRI LANKA INSTITUTE OF INFORMATION TECHNOLOGY Faculty of Engineering AUTOMATED HYDROPONIC GARDENING SYSTEM," 2018.
- [8] T., Kawinda, A., Muayyadi, and A. Mulyana, "Penerapan Teknologi Internet of Things Pada Hidroponik Cabai Rawit Dengan Sistem Dutch Bucket Menggunakan ESP32 Dan Blynk Application of Internet of Things Technology on Hydroponic of Chillies with Dutch Bucket System Using ESP32 And Blynk," 2022.
- [9] D. Supriadi and Toha, "RANCANG BANGUN ALAT PENGATUR NUTRISI HYDROPHONIC DEEP FLOW TECHNIQUE (DFT) BERBASIS INTERNET OF THINGS (IoT)," 2021. [Online]. Available: <https://www.rumah.com/panduan->
- [10] W. Atmadja, I. Alexander, S. Dewanto, A. Cahya Nugraha, and S. Gokparulian, "Indoor Hydroponic System Using IoT-Based LED," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, IOP Publishing Ltd, Mar. 2022. doi: 10.1088/1755-1315/998/1/012048.
- [11] M. R. Rahim and R. Mat Akir, "Automated pH Monitoring and Controlling for Hydroponics Cultivation," *Evolution in Electrical and Electronic Engineering*, vol. 2, no. 2, pp. 775–782, 2021, doi: 10.30880/eeee.2021.02.02.092.