



Perancangan Robot Penyiraman pada Tanaman Tomat *Beef* dengan sistem pengambil keputusan menggunakan Metode *Forward Chaining*

Baginda Oloan Siregar¹, Daren Sulistio²

¹Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

²Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

¹bagindasiregar@ft.unsri.ac.id

ABSTRACT

Plants, especially tomatoes, have high economic value and require regular maintenance, especially watering, to maintain optimal growth. This study developed an automatic tomato plant watering robot named "Farmbot" based on the forward chaining method, which allows for intelligent monitoring and regulation of water needs. The application of forward chaining as a rule-based expert system simplifies decision-making in watering, and this tool has the potential to be applied to other plants by reconfiguring environmental parameters. This study was conducted to prove the reliability of the forward chaining method in the process of designing a plant watering robot. The main microcontroller used in this study is the NodeMCU ESP32, then for the input device uses a soil moisture sensor to generate humidity data and a DS18B20 temperature sensor to generate temperature data on the soil. Various facts and rules are used to control the movement and watering process on the Farmbot robot. The results of this study show that the accuracy of the forward chaining method is 75.472% which is a good result and is not far from the fuzzy logic method which produces an MAE value of 4.5535 and has an accuracy value in the range of 92.149%. From these results, it can be concluded that the forward chaining method can be relied upon as a method for designing watering robots.

Keywords: Watering Robot, Forward Chaining, NodeMCU ESP32, Beef Tomato, South Sumatra.

ABSTRAK

Tanaman, khususnya tomat, memiliki nilai ekonomis tinggi dan membutuhkan pemeliharaan rutin, terutama penyiraman, untuk menjaga pertumbuhan optimal. Penelitian ini mengembangkan robot penyiram tanaman tomat *beef* otomatis bernama "Farmbot" berbasis metode *forward chaining*, yang memungkinkan monitoring dan pengaturan kebutuhan air secara cerdas. Penerapan *forward chaining* sebagai sistem pakar *rule-based* mempermudah pengambilan keputusan dalam penyiraman, dan alat ini berpotensi diterapkan pada tanaman lain dengan konfigurasi ulang parameter lingkungan. Penelitian ini dilakukan untuk membuktikan keandalan metode *forward chaining* dalam proses perancangan robot penyiram tanaman. Mikrokontroler utama yang digunakan pada penelitian ini adalah NodeMCU ESP32, lalu untuk perangkat input menggunakan sensor kelembapan tanah untuk menghasilkan data kelembapan dan sensor suhu DS18B20 untuk menghasilkan data suhu pada tanah. Berbagai fakta dan aturan digunakan untuk mengendalikan proses pergerakan dan penyiraman pada robot *Farmbot*. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa akurasi dari metode *forward chaining* yaitu sebesar 75,472% merupakan hasil yang baik dan tidak terpaut jauh dari metode *fuzzy logic* yang menghasilkan nilai MAE sebesar 4,5535 dan memiliki nilai akurasi pada kisaran 92,149%. Dari hasil tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa metode *forward chaining* dapat diandalkan sebagai metode perancangan robot penyiram.

Kata kunci: Robot Penyiram, *Forward Chaining*, NodeMCU ESP32, Tomat *Beef*, Sumatera Selatan.

1. PENDAHULUAN

Metode *forward chaining*, salah satu teknik dalam sistem pakar yang bekerja berdasarkan aturan IF-THEN dan bersifat *data driven*. Metode ini dipilih karena mudah dipahami, cocok untuk data diskrit, dan efektif dalam menghasilkan solusi secara bertahap [3]. Beberapa penelitian sebelumnya telah mengimplementasikan metode serupa pada sistem navigasi robot. Penelitian yang dilakukan saat ini kami lakukan dalam bidang pertanian menjadi

peluang baru [4]. Berangkat dari hal tersebut, penelitian ini merancang “*Farmbot*”, yaitu robot penyiram tanaman otomatis yang mengintegrasikan metode forward chaining untuk mendukung otomatisasi pertanian.

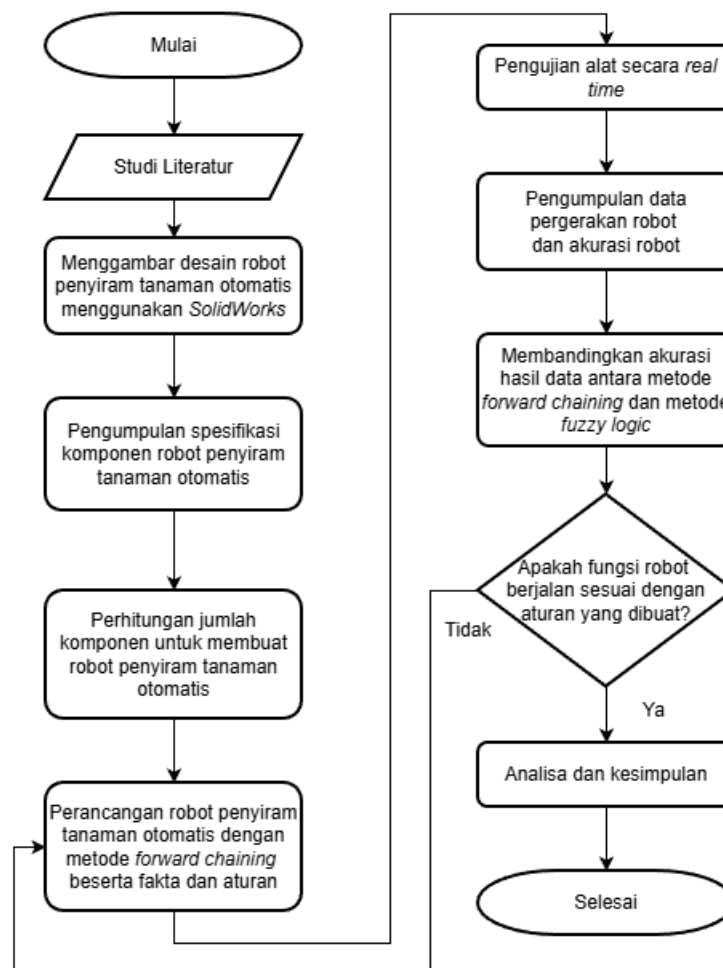
Karena pertanian memiliki peranan penting dalam kehidupan manusia dan keseimbangan ekosistem, mulai dari penyedia oksigen hingga pemenuhan kebutuhan pangan, obat-obatan, dan bahan industri. Salah satu komoditas hortikultura bernilai ekonomis tinggi di Indonesia adalah tomat karena kandungan nutrisinya dan memiliki beberapa varietas yang produksinya fluktuatif dari tahun ke tahun. Penurunan produktivitas tomat umumnya dipengaruhi oleh faktor cuaca yang tidak menentu serta tantangan petani dalam menangani penyakit tanaman [1].

Keberhasilan budidayanya bergantung pada faktor lingkungan seperti intensitas cahaya matahari dan kecukupan air. Pengelolaan penyiraman yang tepat sangat penting, sehingga diperlukan pemantauan rutin terhadap kondisi tanaman. Untuk menjawab kebutuhan tersebut, penelitian ini mengembangkan robot penyiraman tomat otomatis berbasis sensor suhu dan kelembapan, yang dapat dikonfigurasi untuk jenis tanaman lain [2].

2. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini, dilakukan berbagai tahapan penelitian, yaitu studi literatur, penggambaran desain alat, pengumpulan data dan spesifikasi alat, perancangan alat, dan pengujian alat. Untuk diagram alir mekanisme dari penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1 yang ada dibawah.

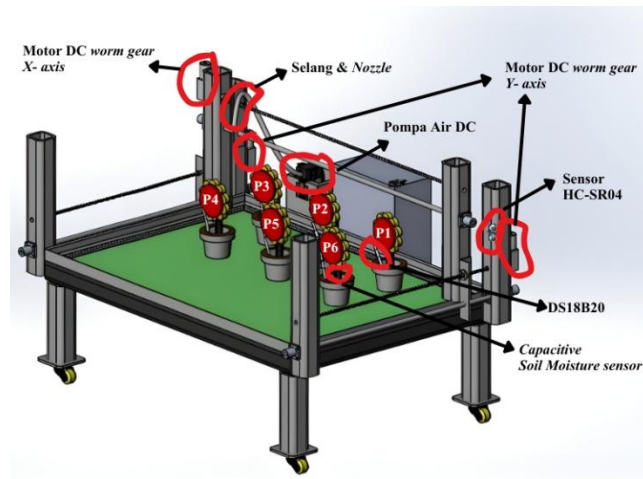
2.1. Diagram Alir Penelitian



Gambar 1. Flowchart Penelitian

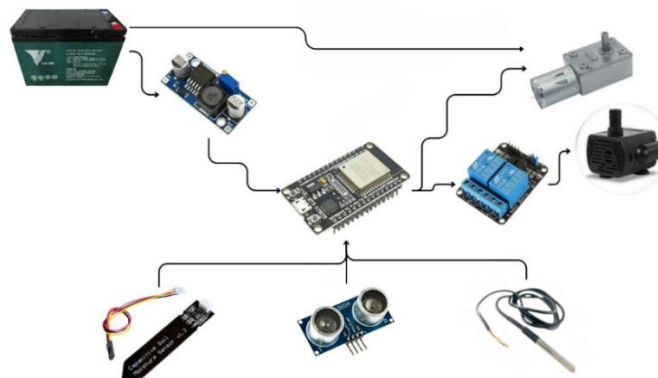
2.2. Desain Robot *Farmbot*

Desain robot *Farmbot* dibuat dengan program *SolidWorks* yang digunakan pada perangkat laptop Dell G15 *Ryzen Edition* dengan OS *Windows 11*. Desain robot *Farmbot* yang terdapat pada Gambar 2 ini merupakan representasi dari bentuk robot *Farmbot* yang akan dibuat.

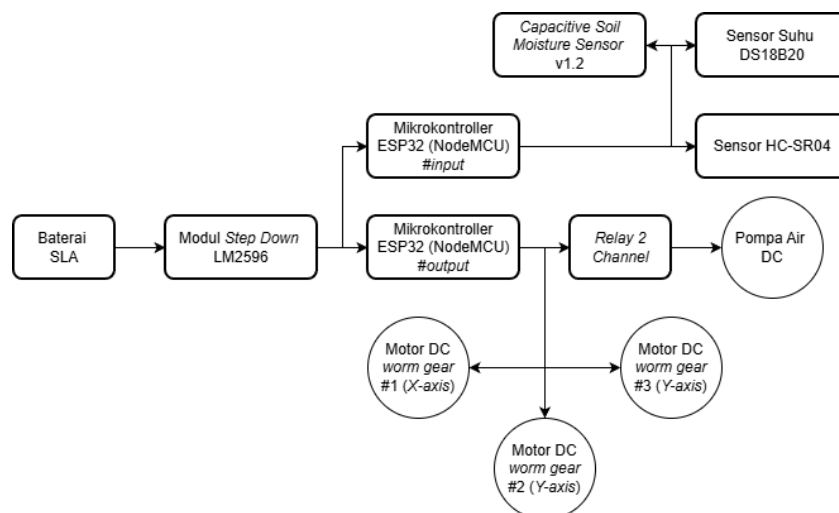


Gambar 2. Desain Robot Farmbot

2.3. Pengumpulan Data dan Spesifikasi Komponen



Gambar 3. Komponen dan Rancangan Rangkaian Robot Farmbot



Gambar 4. Diagram Blok Rangkaian Robot Farmbot

Adapun pengumpulan data dilakukan dengan beberapa ketentuan sebagai berikut:

- Pengendali utama dari beberapa sensor dan aktuator yang digunakan adalah Mikrokontroler ESP32 atau NodeMCU.
- Seluruh komponen elektrik robot *Farmbot* ditenagai oleh 1 buah baterai SLA (*Sealed Lead Acid*) dengan tegangan 12V.

- c. Tegangan dari baterai tersebut diturunkan dengan menggunakan modul *step-down* untuk menyesuaikan dengan tegangan pada komponen lain.
- d. Sensor yang digunakan pada robot *Farmbot* sebagai patokan untuk proses pengendalian penyiraman adalah sensor *capacitive soil moisture* untuk mengukur kelembapan tanah dan sensor suhu digital DS18B20.
- e. Pompa air DC digunakan untuk memindahkan air dengan tekanan yang ditingkatkan berdasarkan kemampuan dari motor.
- f. *Relay 2 channel* digunakan untuk mengendalikan fungsi dari pompa air DC dengan nilai biner 0 dan 1.
- g. Sensor HC-SR04 digunakan untuk mengarahkan posisi *nozzle* robot menuju ke posisi tertentu yang telah ditentukan jaraknya.
- h. Motor DC *worm gear* digunakan untuk menggerakkan robot menuju posisi yang telah ditentukan.
- i. *Motor Driver* BTS7960 digunakan untuk mengendalikan fungsi motor DC *worm gear* dengan nilai kendali PWM (*Pulse Width Modulation*).
- j. Untuk komponen dan rangkaian robot terdapat pada Gambar 3 dan untuk diagram blok rangkaian robot terdapat pada Gambar 4.

2.4. Perancangan Robot

Robot *Farmbot* dirancang melalui tahapan penentuan fakta dan aksi menggunakan metode *forward chaining*, dengan fakta disusun berdasarkan kondisi optimal pertumbuhan tomat, khususnya rentang suhu ideal 25–28°C dan kelembapan 60–80%. Fakta diklasifikasikan dalam tiga kategori kelembapan ($\leq 60\%$, 60–80%, dan $> 80\%$), kemudian digunakan untuk membentuk aturan pengendalian penyiraman, di mana robot menyiram tanaman hanya ketika kelembapan berada pada kategori $\leq 60\%$ atau 60–80%, dan melewati penyiraman jika kelembapan $> 80\%$. Suhu dicatat sebagai data pendukung karena secara alami mengikuti kondisi kelembapan tanah. Struktur sistem terdiri atas tabel kode tanaman, kode aksi, kode fakta, serta tabel aturan yang masing-masing disajikan pada Tabel 1 hingga Tabel 4.

Tabel 1. Kode Tanaman

No	Kode Tanaman	Keterangan
1.	P1	Tanaman 1
2.	P2	Tanaman 2
3.	P3	Tanaman 3
4.	P4	Tanaman 4
5.	P5	Tanaman 5
6.	P6	Tanaman 6

Tabel 2. Kode Aksi

No	Kode Aksi	Keterangan
1.	W01	Kondisi idle
2.	W02	Siram P1
3.	W03	Siram P2
4.	W04	Siram P3
5.	W05	Siram P4
6.	W06	Siram P5
7.	W07	Siram P6

Tabel 3. Kode Fakta

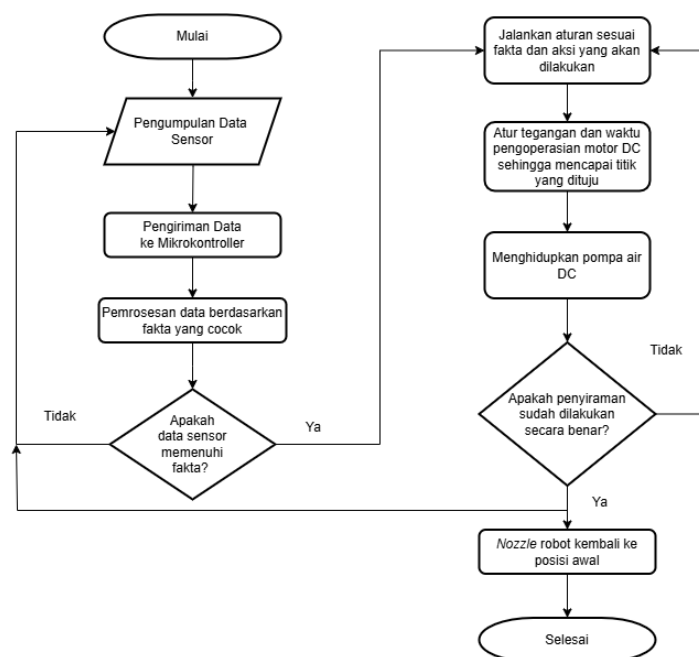
No	Kode Fakta (Kondisi P1-P6)	Keterangan
1.	P1C1	Kelembapan $\leq 60\%$
2.	P1C2	Kelembapan 60% - 80%
3.	P1C3	Kelembapan $> 80\%$
4.	P2C1	Kelembapan $\leq 60\%$
5.	P2C2	Kelembapan 60% - 80%
6.	P2C3	Kelembapan $> 80\%$
7.	P3C1	Kelembapan $\leq 60\%$
8.	P3C2	Kelembapan 60% - 80%
9.	P3C3	Kelembapan $> 80\%$
10.	P4C1	Kelembapan $\leq 60\%$
11.	P4C2	Kelembapan 60% - 80%
12.	P4C3	Kelembapan $> 80\%$
13.	P5C1	Kelembapan $\leq 60\%$
14.	P5C2	Kelembapan 60% - 80%
15.	P5C3	Kelembapan $> 80\%$
16.	P6C1	Kelembapan $\leq 60\%$

No	Kode Fakta (Kondisi P1-P6)	Keterangan
17.	P6C2	Kelembapan 60% - 80%
18.	P6C3	Kelembapan >80%

Tabel 4. Aturan (Rule)

No	Aturan (Rule)
1.	IF P1C1, THEN W02
2.	IF P1C2, THEN W02
3.	IF P1C3, THEN W01
4.	IF P2C1, THEN W03
5.	IF P2C2, THEN W03
6.	IF P2C3, THEN W01
7.	IF P3C1, THEN W04
8.	IF P3C2, THEN W04
9.	IF P3C3, THEN W01
10.	IF P4C1, THEN W05
11.	IF P4C2, THEN W05
12.	IF P4C3, THEN W01
13.	IF P5C1, THEN W06
14.	IF P5C2, THEN W06
15.	IF P5C3, THEN W01
16.	IF P6C1, THEN W07
17.	IF P6C2, THEN W07
18.	IF P6C3, THEN W01

Tahap perakitan robot *Farmbot* dilakukan setelah penyusunan fakta dan rule, dengan konfigurasi tanaman tomat *beef* tersusun dalam tiga baris vertikal dan dua baris horizontal, serta sebuah pilar penyangga *nozzle* penyiram yang dapat bergerak vertikal dan horizontal menggunakan motor DC *worm gear* sesuai aturan yang telah ditetapkan. Perakitan mengikuti rangkaian pada Gambar 3, di mana mikrokontroler ESP32, *development board*, baterai, *relay 2 channel*, dan modul *step-down* ditempatkan di pusat kendali, sedangkan setiap tanaman dilengkapi sensor suhu DS18B20 dan sensor *capacitive soil moisture*. Proses penyiraman, yang dapat dilihat pada Gambar 5 diawali dengan pengumpulan data suhu dan kelembapan udara dan tanah yang kemudian diproses oleh ESP32 untuk dicocokkan dengan fakta tanaman, sehingga *nozzle* bergerak menuju tanaman yang memenuhi kriteria penyiraman. Pergerakan motor dikendalikan melalui pengaturan PWM dan sensor HC-SR04 digunakan untuk menentukan posisi tanaman. Setelah *nozzle* mencapai tanaman, pompa air diaktifkan hingga kondisi penyiraman terpenuhi, lalu alat menuju tanaman berikutnya atau kembali ke posisi awal jika seluruh proses telah selesai.



Gambar 5. Flowchart Sistem

2.5. Pengujian Alat

Pengujian robot *Farmbot* dilakukan dengan mengamati pergerakan *nozzle* penyiram, meliputi durasi perpindahan antar tanaman dan akurasi posisi, selama 14 hari berdasarkan waktu dan frekuensi penyiraman. Data hasil kinerja robot dengan metode *forward chaining* kemudian dibandingkan dengan metode *fuzzy logic*, di mana kelembapan sebelum dan sesudah penyiraman serta durasi penyiraman diolah untuk memperoleh nilai MAE (*Mean Absolute Error*) dan akurasinya. Nilai akurasi dari kedua data tersebut dicari menggunakan rumus yang tertera pada persamaan 1.

$$akurasi = \frac{J_{benar}}{J_{total}} \times 100\% \quad (1)$$

Dengan J_{benar} adalah jumlah keputusan hasil *forward chaining* yang sesuai dengan kondisi sebenarnya dan J_{total} adalah jumlah pengujian. Hasil perbandingan kedua metode tersebut selanjutnya digunakan untuk menilai tingkat keandalan robot *Farmbot* yang dirancang menggunakan metode *forward chaining*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Perhitungan Komponen *Farmbot*

Tabel 5 menunjukkan jumlah komponen yang digunakan pada *Farmbot* yang digunakan untuk menyiram enam buah tanaman tomat.

Tabel 5. Jenis dan Jumlah Komponen pada Farmbot

No	Jenis Komponen	Jumlah (pcs)
1.	Mikrokontroller ESP32	2 pcs
2.	Sensor Suhu DS18B20	6 pcs
3.	Capacitive Soil Moisture Sensor	6 pcs
4.	Relay 2 Channel	1 pcs
5.	Motor DC Worm Gear	3 pcs
6.	Pompa Air DC	1 pcs
7.	Modul Step Down LM2596	1 pcs
8.	Motor Driver BTS7960	3 pcs

3.2. Perancangan Robot *Farmbot*

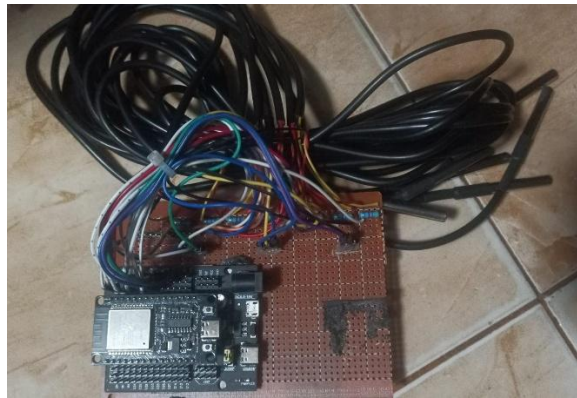
Proses pembuatan robot *Farmbot* dimulai dengan membuat kerangka robot yang memiliki dimensi panjang 1 meter, lebar 1 meter, dan tinggi 1 meter (tanpa roda). Kerangka robot *Farmbot* dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Kerangka Robot Farmbot

Setelah kerangka robot selesai dibuat, dilakukan pengujian sensor kelembapan tanah, sensor suhu DS18B20, dan sensor HC-SR04 untuk memastikan kinerja dan akurasinya, kemudian seluruh sensor dihubungkan ke *input* ESP32 menggunakan kabel *jumper* dan kabel pita, termasuk pemasangan modul *step-down* LM2596, yang prosesnya tertera pada Gambar 7. Proses perancangan dilanjutkan dengan *wiring* komponen *output*, yang dapat dilihat pada Gambar 8, yaitu motor DC *worm gear* yang disambungkan ke motor *driver* BTS7960 untuk pengendalian melalui

PWM sebelum terhubung ke *output* ESP32, serta pemasangan pompa air DC yang dikendalikan melalui relay 2 channel menggunakan sinyal biner.



Gambar 7. Proses Wiring ESP32 bagian Input



Gambar 8. Proses Wiring ESP32 bagian Output

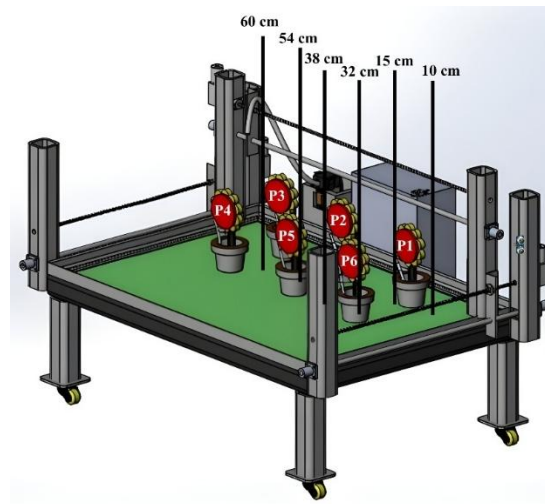
Gambar 9 menunjukkan proses selanjutnya setelah proses *wiring* selesai. Seluruh komponen dirakit ke kerangka robot, dengan komponen sensitif seperti ESP32, *motor driver*, *relay*, dan modul *step-down* ditempatkan pada PCB dan dimasukkan ke dalam box pelindung. Sensor HC-SR04 dipasang pada setiap sumbu robot, sementara sensor kelembapan dan suhu ditempatkan pada pot tanaman. Motor DC *worm gear* dipasang pada *linear rail shaft* untuk memastikan pergerakan yang tepat, menggunakan satu motor untuk sumbu X dan dua motor untuk sumbu Y guna mengatasi beban lengan robot. Pompa air DC dihubungkan ke *nozzle* melalui selang dan ditempatkan pada wadah berisi air sebagai sumber penyiraman.



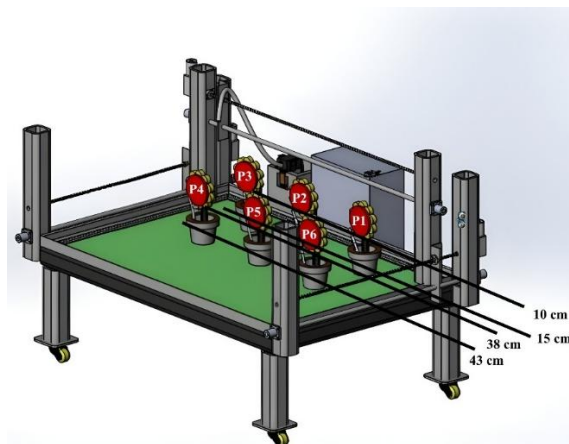
Gambar 9. Hasil Perakitan Robot Farmbot

3.3. Pengujian Robot *Farmbot*

Setelah perakitan selesai, robot *Farmbot* diuji untuk memastikan seluruh fungsi bekerja dengan baik, meliputi pembacaan sensor, pergerakan pada sumbu X dan Y, serta fungsi pompa air DC. Pengujian dimulai dengan memprogram ESP32 menggunakan Arduino IDE agar mampu membaca seluruh pin, kemudian memantau data sensor melalui aplikasi *Visual Studio Code*, termasuk kelembapan dan suhu tiap tanaman, suhu lingkungan, jarak sumbu X dan Y, kondisi berjalan, nilai PWM, serta nilai relay. Gambar 10 dan Gambar 11 masing-masing menjelaskan mengenai pergerakan robot pada sumbu X dan Y yang diuji dengan mengukur jarak antar tanaman dan memasukkannya ke dalam kode, di mana setiap tanaman memiliki dua batas jarak yang dibaca sensor HC-SR04 untuk memastikan *nozzle* bergerak tepat pada posisi tanaman. Pengendalian motor DC dilakukan melalui pengaturan PWM, sementara pengujian pompa air DC dilakukan dengan mengatur nilai relay. Proses penyiraman dikendalikan menggunakan metode *forward chaining*, di mana pompa aktif jika kelembapan belum memenuhi fakta, dan mati ketika batas kelembapan tercapai sebelum robot melanjutkan ke tanaman berikutnya.



Gambar 10. Patokan Jarak Antar Pot pada Sumbu X



Gambar 11. Patokan Jarak Antar Pot pada Sumbu Y

3.4. Pengumpulan Data

Pengumpulan data hasil dari pergerakan robot *Farmbot* dilakukan pada rentang waktu 14 hari, dengan jadwal penyiraman 1 hingga 2 kali per hari. Data yang dikumpulkan adalah waktu, kelembapan sebelum dan sesudah penyiraman, letak *nozzle*, dan jarak yang dibaca oleh sensor HC-SR04. Data tersebut dikumpulkan dalam satu file .csv yang dibuat secara otomatis dengan menggunakan code untuk mengumpulkan data dan menuliskannya pada file .csv. Tabel 6 hingga Tabel 19 memperlihatkan hasil dari pengumpulan data hari ke-1 hingga hari ke-14.

Tabel 6. Pengumpulan Data Hari ke-1

Waktu	Posisi	Jarak 1 (cm)	Jarak 2 (cm)	%Kelembapan Sebelum	%Kelembapan Sesudah	Ket.
13:32:43 – 13:32:53	P2	36	13	21	100	Gagal

Tabel 7. Pengumpulan Data Hari ke-2

Waktu	Posisi	Jarak 1 (cm)	Jarak 2 (cm)	%Kelembapan Sebelum	%Kelembapan Sesudah	Ket.
14:57:32 – 14:57:41	P3	55	12	24	83	Gagal
15:34:06 – 15:34:12	P6	10	42	41	53	Gagal

Tabel 8. Pengumpulan Data Hari ke-3

Waktu	Posisi	Jarak 1 (cm)	Jarak 2 (cm)	%Kelembapan Sebelum	%Kelembapan Sesudah	Ket.
13:19:41 – 13:19:46	P2	38	14	56	100	Gagal
13:20:00 – 13:20:08	P3	58	14	31	87	Gagal
13:20:54 – 13:21:01	P4	59	38	38	93	Gagal
16:34:25 – 16:34:31	P1	13	12	51	80	Berhasil
16:36:27 – 16:36:34	P5	36	39	25	77	Berhasil
16:37:15 – 16:37:20	P6	15	39	7	20	Gagal

Tabel 9. Pengumpulan Data Hari ke-4

Waktu	Posisi	Jarak 1 (cm)	Jarak 2 (cm)	% Kelembapan Sebelum	% Kelembapan Sesudah	Ket.
12:20:53 – 12:20:59	P1	11	11	56	86	Gagal
12:21:25 – 12:21:37	P2	38	11	0	73	Berhasil
12:21:53 – 12:22:02	P3	56	11	23	100	Gagal
12:22:13 – 12:22:19	P4	56	38	29	82	Gagal
12:23:00 – 12:23:09	P5	35	40	25	77	Berhasil
12:23:56 – 12:24:06	P6	14	40	1	77	Berhasil
14:15:31 – 14:15:40	P2	32	11	7	79	Berhasil
14:16:17 – 14:16:24	P3	59	11	17	68	Berhasil
14:16:43 – 14:16:48	P4	59	38	44	71	Berhasil
14:17:12 – 14:17:19	P5	38	38	49	77	Berhasil
14:17:33 – 14:17:39	P6	15	38	37	69	Berhasil

Tabel 10. Pengumpulan Data Hari ke-5

Waktu	Posisi	Jarak 1 (cm)	Jarak 2 (cm)	% Kelembapan Sebelum	% Kelembapan Sesudah	Ket.
11:13:25 – 11:13:32	P1	10	12	47	75	Berhasil
11:13:51 – 11:14:02	P2	35	12	21	89	Gagal
11:14:33 – 11:14:40	P3	57	13	16	63	Berhasil
11:15:16 – 11:15:25	P4	58	40	23	78	Berhasil
11:15:48 – 11:15:55	P5	36	39	9	54	Gagal

11:16:15 – 11:16:22	P6	15	40	10	61	Berhasil
------------------------	----	----	----	----	----	----------

Tabel 11. Pengumpulan Data Hari ke-6

Waktu	Posisi	Jarak 1 (cm)	Jarak 2 (cm)	% Kelembapan Sebelum	% Kelembapan Sesudah	Ket.
13:42:18 – 13:42:26	P1	12	11	42	79	Berhasil
13:42:47 – 13:42:59	P2	37	11	4	74	Berhasil
13:43:13 – 13:43:21	P3	57	11	33	67	Berhasil
13:44:00 – 13:44:05	P4	56	40	49	70	Berhasil
13:44:32 – 13:44:39	P5	37	40	11	68	Berhasil
13:45:01 – 13:45:08	P6	13	40	8	49	Gagal

Tabel 12. Pengumpulan Data Hari ke-7

Waktu	Posisi	Jarak 1 (cm)	Jarak 2 (cm)	% Kelembapan Sebelum	% Kelembapan Sesudah	Ket.
13:45:21 – 13:45:24	P1	12	12	56	67	Berhasil
13:47:47 – 13:48:01	P2	34	12	8	61	Berhasil
13:49:37 – 13:49:45	P3	57	12	26	69	Berhasil
13:51:11 – 13:51:23	P4	58	39	33	60	Berhasil
13:54:47 – 13:54:59	P5	37	40	19	87	Gagal
13:56:39 – 13:56:45	P6	14	39	0	43	Gagal
16:20:07 – 16:20:11	P2	35	13	57	68	Berhasil
16:21:55 – 16:22:03	P3	56	13	27	64	Berhasil
16:23:00 – 16:23:07	P5	36	42	36	62	Berhasil
16:23:32 – 16:23:43	P6	15	42	6	63	Berhasil

Tabel 13. Pengumpulan Data Hari ke-8

Waktu	Posisi	Jarak 1 (cm)	Jarak 2 (cm)	%Kelembapan Sebelum	%Kelembapan Sesudah	Ket.
11:39:32 – 11:39:41	P1	15	14	57	100	Gagal
11:40:02 – 11:40:09	P2	33	14	33	60	Berhasil
11:40:38 – 11:40:45	P3	55	14	23	73	Berhasil
11:41:03 – 11:41:18	P4	55	42	33	60	Berhasil
11:41:38 – 11:41:49	P5	39	41	25	68	Berhasil
11:42:15 – 11:42:22	P6	13	42	16	75	Berhasil
13:48:38 – 13:48:49	P1	13	15	43	67	Berhasil
13:48:56 – 13:49:17	P2	37	15	48	87	Gagal
13:49:32 – 13:49:46	P3	59	15	11	79	Berhasil
13:50:11 – 13:50:22	P4	60	40	12	83	Gagal
13:51:04 – 13:51:12	P6	14	40	11	68	Berhasil

Tabel 14. Pengumpulan Data Hari ke-9

Waktu	Posisi	Jarak 1 (cm)	Jarak 2 (cm)	% Kelembapan Sebelum	% Kelembapan Sesudah	Ket.
11:38:45 – 11:39:04	P1	14	16	26	67	Berhasil
11:39:15 – 11:39:33	P2	37	16	40	77	Berhasil
11:39:53 – 11:40:01	P3	59	16	30	86	Gagal
11:40:19 – 11:40:30	P4	59	42	20	79	Berhasil
11:40:52 – 11:41:02	P5	34	44	40	64	Berhasil
16:20:30 – 16:20:37	P1	14	13	29	94	Gagal
16:21:02 – 16:21:16	P2	35	14	38	61	Berhasil
16:21:47 – 16:22:07	P3	56	14	25	60	Berhasil
16:22:21 – 16:22:28	P4	56	42	24	86	Gagal
16:22:52 – 16:23:11	P5	36	41	28	64	Berhasil
16:23:36 – 16:23:47	P6	14	41	40	80	Berhasil

Tabel 15. Pengumpulan Data Hari ke-10

Waktu	Posisi	Jarak 1 (cm)	Jarak 2 (cm)	% Kelembapan Sebelum	% Kelembapan Sesudah	Ket.
12:20:10 – 12:20:29	P1	14	12	34	89	Gagal
12:20:40 – 12:20:54	P2	36	12	20	90	Gagal
12:21:09 – 12:21:23	P3	57	12	37	66	Berhasil
12:21:37 – 12:21:45	P4	57	40	56	72	Berhasil
12:22:16 – 12:22:31	P5	35	41	35	69	Berhasil
12:22:55 – 12:23:07	P6	14	41	44	78	Berhasil
16:01:04 – 16:01:12	P3	58	9	46	75	Berhasil
16:06:48 – 16:07:00	P4	57	39	56	72	Berhasil
16:07:36 – 16:07:50	P5	32	39	41	80	Berhasil
16:08:12 – 16:08:23	P6	10	39	28	100	Gagal

Dari total 106 penyiraman yang dilakukan, terdapat 78 penyiraman berhasil dan 28 gagal, dengan rincian 23 kegagalan akibat kelembapan melebihi 80% dan 5 kegagalan akibat kelembapan kurang dari 60%. Hasil pengambilan data di atas menyatakan bahwa keberhasilan penyiraman sangat bergantung pada akurasi sensor kelembapan dalam proses penyiraman. Nilai akurasi pada penyiraman dengan metode *forward chaining* dapat dihitung pada persamaan 2 dan persamaan 3:

$$akurasi = \frac{J_{benar}}{J_{total}} \times 100\% \quad (2)$$

$$akurasi = \frac{(106-28)}{106} \times 100\% = 75,472\% \quad (3)$$

Nilai akurasi robot *Farmbot* berbasis *forward chaining* menunjukkan hasil positif dengan capaian di atas 70%, meskipun beberapa kegagalan penyiraman terjadi akibat berbagai faktor teknis seperti keterbatasan akurasi sensor kelembapan dan sensor jarak, posisi *nozzle* yang tidak tepat, serta jeda pengiriman data sensor yang relatif lambat. Kelembapan berlebih pada sebagian kasus juga dipengaruhi oleh ketidaktepatan posisi sensor dan variasi akurasi antar sensor, sementara pergeseran *nozzle* sekitar 1–2 cm dari posisi ideal turut memengaruhi hasil penyiraman. Namun demikian, sebagian besar penyiraman telah berjalan sesuai aturan yang ditetapkan, menunjukkan bahwa sistem bekerja dengan cukup andal.

3.5. Perbandingan Hasil Data dengan Metode *Fuzzy Logic*

Setelah memperoleh nilai akurasi metode *forward chaining* pada robot *Farmbot*, dilakukan perbandingan dengan metode *fuzzy logic* untuk menilai keandalannya. Proses perbandingan dilakukan menggunakan *Python* pada *Visual Studio Code* dengan *fuzzy logic* tipe 1 berpendekatan *multi-input* dan tujuh level keanggotaan kelembapan per level, yaitu *Extremely Low* (EL) (0% - 10%), *Very Low* (VL) (5% - 25%), *Low* (L) (20% - 40%), *Medium* (M) (35% - 60%), *High* (H) (55% - 75%), *Very High* (VH) (70% - 90%), dan *Extremely High* (EH) (85% - 100%). Data penyiraman diolah untuk menghasilkan nilai MAE melalui pembacaan file .csv dan pemrosesan *fuzzy logic*, menghasilkan MAE sebesar 4,5535. Nilai MAE tersebut kemudian dikonversi menjadi nilai akurasi agar dapat dibandingkan secara langsung dengan akurasi yang diperoleh dari metode *forward chaining*, pada persamaan 4 dan persamaan 5.

$$error = \frac{MAE}{range} \times 100\% = \frac{4.5535}{58} \times 100\% \approx 7,851\% \quad (4)$$

$$akurasi \approx 100 - error \approx 100 - 7,851 \approx 92,149\% \quad (5)$$

Range yang ada pada rumus 4 adalah *range* data durasi penyiraman (0-58) Berdasarkan hasil di atas, dapat diketahui bahwa nilai akurasi *fuzzy logic* berada pada kisaran 92,149%, lebih besar dibandingkan dengan *forward chaining* dengan nilai akurasi sebesar 75,472%, artinya nilai akurasi *forward chaining* belum sebaik dan seakurat metode *fuzzy logic*, namun nilai akurasi *forward chaining* dapat mendekati nilai akurasi dari metode *fuzzy logic*. Nilai akurasi *fuzzy logic* hanya sebagai pembandingan agar dapat mengetahui keandalan dari metode *forward chaining*. Berdasarkan perbandingan nilai akurasi tersebut dapat disimpulkan bahwa metode *forward chaining* dapat diandalkan dalam proses perancangan robot *Farmbot*.

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian kami, bahwa Metode *forward chaining* dapat digunakan dalam perancangan robot penyiram tanaman atau *Farmbot*, dengan memanfaatkan data jarak dan kelembapan sebagai dasar pengambilan keputusan. Dari 106 proses penyiraman, metode ini menghasilkan 78 keberhasilan dan 28 kegagalan, serta mencapai akurasi sebesar 75,472%. Meskipun akurasinya belum mampu melampaui metode *fuzzy logic* yang mencapai sekitar 92,149%, *forward chaining* tetap menunjukkan hasil yang cukup baik dan dapat dijadikan alternatif, terutama karena sifatnya yang berbasis logika pasti dan sesuai untuk sistem penyiraman otomatis dengan nilai kelembapan yang jelas. Perbedaan akurasi dipengaruhi oleh keterbatasan sensor dan penyederhanaan aturan penyiraman. , metode *forward chaining* dapat mendukung pengambilan keputusan pada robot penyiraman tanaman otomatis.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] Z. E. Fitri, R. Rizkiyah, A. Madjid, and A. M. N. Imron, "Penerapan Neural Network untuk Klasifikasi Kerusakan Mutu Tomat," *J. Rekayasa Elektr.*, vol. 16, no. 1, pp. 44–49, 2020, doi: 10.17529/jre.v16i1.15535.
- [2] F. Dhia, L. Nuzuliyah, and U. Erma, "Analisis Kelayakan Usaha Budidaya Tomat Beef Tought Boy Fight Sistem K-smart Greenhouse Feasibility Analysis of Beef Thought Boy Fight Tomato Cultivation Farming At K- smart Greenhouse," vol. 8, no. 1, pp. 9–18, 2024, doi: 10.51589/ags.v8i01.3738.
- [3] Nabil Azzaky and Anang Widianoro, "Alat Penyiram Tanaman Otomatis Berbasis Arduino menggunakan Internet Of Things (IOT)," *J-Eltrik*, vol. 2, no. 2, p. 48, 2021, doi: 10.30649/j-eltrik.v2i2.48.
- [4] O. Saputra, I. Fitri, and E. T. Esti Handayani, "Sistem Pakar Diagnosa Kerusakan Hardware Komputer Menggunakan Metode Forward Chaining dan Certainty Factor Berbasis Website," *J. JTIK (Jurnal Teknol. Inf. dan Komunikasi)*, vol. 6, no. 2, pp. 234–242, 2022, doi: 10.35870/jtik.v6i2.416.
- [5] A. D. Novianto, "Penyiraman Tanaman Metode Fuzzy Logic," *Alat Penyiram Tanam. Otomatis Berbas. IoT Menggunakan Metod. Fuzzy Log.*, vol. 5, no. 1, pp. 316–321, 2021, [Online]. Available: <https://proceeding.unpkediri.ac.id/index.php/inotek/article/view/974>
- [6] K. Salim and M. Iqbal, "SISTEM PAKAR NAVIGASI ROBOT KAKI ENAM DENGAN METODE INFERENSI FORWARD CHAINING," pp. 1–12, 2018.
- [7] S. Hardianti, A. Tenriawaru, and N. Ransi, "Sistem Pakar Diagnosa Penyakit Menular Pada Anak Menggunakan Metode Forward Chaining dan Backward Chaining," *Just TI (Jurnal Sains Terap. Teknol. Informasi)*, vol. 13, no. 2, p. 111, 2021, doi: 10.46964/justti.v13i2.625.
- [8] N. Latif, "Penyiraman Tanaman Otomatis Menggunakan Sensor Soil Moisture dan Sensor Suhu," *J. Ilm. Ilmu Komput.*, vol. 7, no. 1, pp. 16–20, 2021, doi: 10.35329/jiik.v7i1.180.
- [9] H. A. Wahid, J. Maulindar, and A. I. Pradana, "Rancang Bangun Sistem Penyiraman Tanaman Otomatis Aglonema Berbasis IoT Menggunakan Blynk dan NodeMCU 32," *Innov. J. Soc. Sci. Res.*, vol. 3, no. 2, pp.

- 6265– 6276, 2023.
- [10] M. R. dan A. F. F. Rojat, “Pengembangan Sistem Kendali Cerdas Dan Monitoring Pada Budidaya Buah Tomat,” *Portaldata.org*, vol. 2(7), no. 7, pp. 151–156, 2022.
 - [11] R. Pakpahan, “Analisa Pengaruh Implementasi Artificial,” *J. Inf. Syst. Informatics Comput.*, vol. 5, no. 2, pp. 506–513, 2021, doi: 10.52362/jisicom.v5i2.616.
 - [12] H. Saleem *et al.*, “A Comprehensive Review on the Application of Diagnostic Expert Systems in the Field of Agriculture,” vol. 12, no. 1, pp. 304–316, 2021.
 - [13] Resnawita and B. Hendrik, “Penggunaan Metode Systematic Literatur Review Untuk Menganalisis Artikel Sistem Pakar Metode Forward Chaining,” *J. Inf. Syst. Educ. Dev.*, vol. 1, no. 2, pp. 1–5, 2023, [Online]. Available: <https://scholar.google.com/>.
 - [14] M. R. Anwar, “Analysis of Expert System Implementation in Computer Damage Diagnosis with Forward Chaining Method,” *Int. Trans. Artif. Intell.*, vol. 1, no. 2, pp. 139–155, 2023, doi: 10.33050/italic.v1i2.213.
 - [15] A. Zein, C. Rozali, and F. Marwati, “Peran Artificial Intelligence (AI) Dalam Menentukan Resep Makanan Menggunakan Metoda Backward Chaining,” vol. 1, no. 1, pp. 62–70, 2024.