

KENDALI OTOMATIS TINGKAT KETINGGIAN AIR DAN NUTRISI PADA HIDROPONIK MENGGUNAKAN METODE *FINITE STATE MACHINE*

Andi Ray Hutaeruk^{1*}

¹Teknik Elektro; Institut Teknologi Del; Jl. Sisingamangaraja, Sitoluaman, Laguboti, Toba, Sumatera Utara, Indonesia, 22381

Received: 2 Januari 2025
Accepted: 14 Januari 2025
Published: 20 Januari 2025

Keywords:

Finite State Machine;
Hidroponik; Ketinggian Air;
Nutrisi; Sistem Otomatis;

Correspondent Email:

andihutaeruk2@gmail.com

Abstrak Hidroponik menjadi solusi inovatif dalam menghadapi tantangan keterbatasan lahan untuk bercocok tanam di daerah perkotaan. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem kendali otomatis berbasis Arduino Uno dengan pendekatan *Finite State Machine* (FSM) untuk mengelola ketinggian air dan kepekatan nutrisi dalam sistem hidroponik rakit apung. Sistem dirancang menggunakan sensor ultrasonik untuk memantau ketinggian air dan sensor TDS untuk mengukur konsentrasi nutrisi. Data yang diperoleh digunakan oleh FSM untuk mengatur pompa air dan pompa nutrisi secara otomatis. Prototipe sistem terdiri dari wadah hidroponik, pompa, sensor, dan mikrokontroler yang saling terhubung melalui relay. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu berfungsi sesuai desain, yakni mengaktifkan atau mematikan pompa berdasarkan kondisi ketinggian air dan tingkat kepekatan nutrisi. Sistem ini mempermudah petani dalam mengelola kebutuhan tanaman tanpa memerlukan pengawasan intensif, meningkatkan efisiensi perawatan, serta memastikan kondisi optimal bagi tanaman hidroponik sepanjang waktu. Kesimpulannya, sistem kendali otomatis ini memberikan kontribusi signifikan dalam meningkatkan efisiensi dan efektivitas bercocok tanam hidroponik, terutama di ruang terbatas.

Abstract. Hydroponics is an innovative solution to address the challenge of limited agricultural land, especially in urban areas. This study aims to develop an automatic control system based on Arduino Uno using a Finite State Machine (FSM) approach to manage water level and nutrient concentration in a floating raft hydroponic system. The system is designed with an ultrasonic sensor to monitor water level and a TDS sensor to measure nutrient concentration. The FSM processes the data obtained to control the water and nutrient pumps automatically. The prototype system consists of a hydroponic container, pumps, sensors, and a microcontroller connected via relays. Testing results indicate that the system operates as designed, activating or deactivating pumps based on water level and nutrient concentration conditions. This system simplifies plant care, reduces the need for intensive monitoring, and ensures optimal conditions for hydroponic plants at all times. In conclusion, this automated control system significantly contributes to enhancing the efficiency and effectiveness of hydroponic farming, particularly in limited spaces.

1. PENDAHULUAN

Seiring dengan bertambahnya populasi manusia setiap tahunnya, kebutuhan ruang hunian dan area pembangunan lainnya juga turut meningkat. Populasi manusia diperkirakan akan terus mengalami peningkatan meningkat [1], [2]. Perluasan wilayah pemukiman yang masif untuk menampung jumlah penduduk akan berdampak pada berkurangnya lahan pertanian untuk bercocok tanam. Kurangnya lahan pertanian ini akan mempengaruhi produksi bahan pangan untuk dikonsumsi manusia. Hal ini menjadi tantangan besar, terutama bagi masyarakat yang tinggal dipertanian atau daerah pemukiman yang padat dengan lahan terbatas bahkan tidak memiliki lahan untuk bercocok tanam. Salah satu solusi bagi masyarakat yang ingin bercocok tanam dengan masalah lahan tersebut adalah menggunakan sistem hidroponik [3].

Kata "Hidroponik" didefinisikan sebagai segala cara untuk menanam tanaman melalui media yang tidak termasuk penggunaan tanah tetapi melibatkan nutrisi anorganik atau larutan nutrisi [4], [5]. Dalam budidaya hidroponik, tanaman memperoleh nutrisi melalui larutan yang mengelilingi akar. Penyerapan nutrisi biasanya sebanding dengan konsentrasi nutrisi dalam larutan di dekat akar. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi hasil panen seperti salinitas, oksigenasi, suhu, pH dan konduktivitas larutan nutrisi, intensitas cahaya, fotoperiode dan kelembaban udara [6]. Kelebihan bercocok tanam menggunakan hidroponik selain dari faktor lahan adalah hemat air, meminimalisir kegagalan panen dan tidak mencemari tanah. Selain itu, hidroponik dapat digunakan dalam ruangan dengan atap tembus cahaya sehingga tidak terpengaruh oleh kondisi cuaca, memberikan jaminan kontinuitas pertumbuhan tanaman sepanjang tahun. Salah satu tipe hidroponik adalah rakit apung dengan sistem sirkulasi air dalam wadah [7].

Sistem hidroponik rakit apung memiliki sejumlah kelebihan yang membuatnya unggul dibandingkan metode hidroponik lainnya. Pertama, sistem ini menawarkan efisiensi tinggi dalam penggunaan air karena larutan nutrisi yang dipompa ke akar tanaman terus didaur ulang dalam sirkulasi tertutup. Kedua, sistem ini memberikan stabilitas kondisi lingkungan perakaran, seperti suhu dan kadar oksigen, yang sangat penting untuk pertumbuhan tanaman.

Ketiga, desain yang sederhana memungkinkan penerapan di berbagai lokasi, termasuk area perkotaan dengan lahan terbatas. Keempat, rakit apung lebih fleksibel dalam menyesuaikan kebutuhan nutrisi tanaman karena larutan nutrisi dapat diatur dengan mudah sesuai dengan fase pertumbuhan tanaman. Terakhir, sistem ini dapat meningkatkan produktivitas tanaman secara signifikan karena mengurangi risiko kegagalan akibat kondisi cuaca ekstrem atau fluktuasi lingkungan yang tidak terkontrol.

Budidaya hidroponik seperti ini memerlukan perawatan intensif seperti pengukuran dan pengaturan tingkat air serta kepekatan nutrisi. Hal ini bisa menjadi kendala lain bagi masyarakat yang memiliki rutinitas padat sehingga sulit untuk merawat tanaman secara langsung. Oleh karena itu, diperlukan sistem kendali otomatis untuk mengelola tingkat air dan nutrisi agar budidaya hidroponik dapat berjalan tanpa perlu pemantauan manual secara intensif. Sistem otomatis menawarkan solusi untuk meningkatkan efisiensi dan efektivitas dalam perawatan tanaman hidroponik, sehingga dapat menghemat waktu, tenaga, dan biaya operasional.

Ada beberapa penelitian terdahulu yang telah membahas pengendalian otomatis dari perawatan hidroponik. Untuk mengendalikan nutrisi, pada penelitian [8] menggunakan kendali berdasarkan *ontology*, pada penelitian [9] menggunakan *soft computing*, pada penelitian [10] menggunakan metode fuzzy, dan pada penelitian [11] menggunakan multiple linear regression. Selain itu pada penelitian [12] menggunakan metode fuzzy untuk mengendalikan *electrical conductivity* dan pH hidroponik. Pada penelitian [13] merancang pengendalian pH dan penyiraman tanaman hidroponik. Pada penelitian [14] merancang prototipe pemberian nutrisi sistem *wick* hidroponik. Pada penelitian-penelitian tersebut belum mengatur ketinggian air. Padahal pengendalian air pada hidroponik seperti rakit apung cukup diperlukan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem kendali otomatis untuk mengatur konsentrasi nutrisi sekaligus ketinggian air dalam sistem hidroponik sistem ini dirancang berbasis Arduino Uno dengan menggunakan metode FSM. Sistem ini dirancang dengan sensor ultrasonik untuk memantau ketinggian air dan sensor TDS untuk

mengukur kepekatan nutrisi. Dengan pendekatan FSM, sistem dapat melakukan pengendalian secara dinamis sesuai dengan kondisi real-time, yang diharapkan mampu mendukung terciptanya model hidroponik yang lebih adaptif dan efisien dalam memelihara tanaman di ruang terbatas.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. *Finite State Machine (FSM)*

Finite State Machine (FSM) adalah model komputasi yang digunakan untuk mendesain sistem yang terdiri dari sejumlah keadaan terbatas (*states*), serta transisi antar keadaan berdasarkan input yang diterima menggunakan arah panah [15]. FSM umumnya digunakan untuk kontrol sistem dinamis, di mana sistem berada dalam satu keadaan tertentu pada suatu waktu dan dapat berpindah ke keadaan lain berdasarkan kondisi tertentu. FSM memiliki tiga komponen utama: status (*states*), input (*signals* atau *triggers*), dan transisi (*rules* untuk berpindah antar status). Dalam pengendalian otomatis, FSM memungkinkan pengaturan alur kerja sistem dengan cara yang jelas dan terstruktur, serta memudahkan dalam perancangan sistem kontrol yang berhubungan dengan kondisi sistem yang berubah-ubah seiring waktu. Sehingga FSM sangat berguna dalam berbagai aplikasi otomasi, termasuk sistem hidroponik yang memerlukan respons dinamis terhadap berbagai parameter.

2.2. *Hidroponik*

Hidroponik adalah metode budidaya tanaman tanpa menggunakan tanah, di mana akar tanaman dibiarkan terendam dalam larutan nutrisi yang mengandung unsur hara yang dibutuhkan tanaman. Metode ini menawarkan berbagai kelebihan, termasuk efisiensi penggunaan air yang lebih baik, dapat dilakukan di lahan terbatas, serta menghasilkan produk pertanian dengan kualitas tinggi. Salah satu keuntungan utama dari hidroponik adalah kemampuannya untuk memberikan kontrol penuh terhadap nutrisi tanaman, karena semua unsur hara disediakan dalam larutan yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan tanaman. Penelitian menunjukkan bahwa sistem hidroponik dapat meningkatkan hasil panen dan mengurangi risiko kegagalan.

2.3. *Sistem Rakit Apung*

Sistem ini adalah salah satu tipe sistem hidroponik yang menggunakan rakit untuk mengapungkan tanaman di permukaan air yang mengandung larutan nutrisi. Sistem ini beroperasi dengan cara mengalirkan larutan nutrisi secara terus menerus melalui akar tanaman yang terendam dalam larutan tersebut, sementara rakit apung berfungsi sebagai media yang mendukung tanaman tetap berada di permukaan. Kelebihan dari sistem rakit apung adalah efisiensinya dalam penggunaan air dan nutrisi, karena larutan nutrisi terus dipompa kembali ke wadah hidroponik melalui sirkulasi tertutup, mengurangi pemborosan dan memastikan ketersediaan nutrisi yang optimal untuk tanaman.

3. METODE PENELITIAN

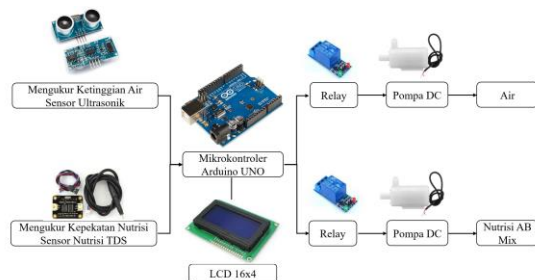
3.1. *Desain Perangkat Keras*

Penelitian ini bertujuan untuk membangun sebuah sistem pengendali ketinggian dan nutrisi air yang dapat beroperasi secara otonom. Tabel 1 memperlihatkan spesifikasi fungsi dari sistem yang akan dibuat.

Tabel 1. Spesifikasi Produk

No	Hal	Perincian
1	<i>Distance Detection</i>	Sistem menerima data dari sensor ultrasonik yang digunakan untuk mengetahui jarak antara sensor dan permukaan air
2	<i>Nutrition Detection</i>	Sistem menerima data dari sensor TDS meter yang digunakan untuk mengetahui tingkat kepekatan nutrisi pada air
3	<i>Water Pump</i>	Sistem mengendalikan pompa yang mengalirkan air ke wadah hidroponik
4	<i>Nutrition Pump</i>	Sistem mengendalikan pompa yang mengalirkan nutrisi ke wadah
5	<i>LCD Display</i>	Sistem akan menampilkan hasil pengukuran sensor dan menampilkan status pompa air dan nutrisi

Pada Gambar 1 memperlihatkan desain blok diagram *hardware* sistem secara keseluruhan. Desain blok diagram ini dibagi menjadi 3 bagian. Bagian pertama adalah sensor yang akan digunakan sebagai masukan data. Sensor yang digunakan adalah sensor ultrasonik sebagai masukan data berupa ketinggian air atau jarak sensor terhadap air dan sensor TDS Meter sebagai masukan data berupa tingkat kepekatan nutrisi pada air. Bagian kedua adalah bagian mikrokontroler yang digunakan untuk mengolah data dan mengambil keputusan untuk mengaktifkan aktuator. Bagian ketiga adalah bagian aktuator yang digunakan sebagai keluaran sistem. Aktuator yang digunakan adalah 2 Pompa DC sebagai alat untuk mengalirkan nutrisi maupun air ke wadah hidroponik. Namun kedua aktuator ini akan diaktifkan melalui relay 5 Volt DC. Relay digunakan untuk memungkinkan petani mengganti pompa dengan jenis yang lebih tinggi maupun menggunakan pompa dengan tegangan 220 V AC.



Gambar 1. Desain Blok Diagram Perangkat Keras

3.2. Model FSM Sistem

Pada Gambar 2 memperlihatkan Desain *Finite State Machine* sistem yang telah dirancang. FSM dirancang untuk mengendalikan sistem agar dapat berjalan dengan baik, jelas dan terstruktur. FSM memiliki masukan berupa bilangan real yang merupakan hasil pembacaan sensor ultrasonik dan tds meter nutrisi. Untuk keluaran FSM memiliki 4 keadaan yakni Pompa Air Hidup, Pompa Air Mati, Pompa Nutrisi Hidup, dan Pompa Nutrisi Mati. Pada FSM ini terdapat 5 State yakni, Idle, Siaga Air, Siaga Nutrisi, Siaga Darurat dan Normal.

Ada beberapa kondisi yang dapat dipenuhi oleh sistem pada awal diaktifkan sesuai prosedur FSM yang telah dirancang. Pada saat sistem menerima data bahwa hidroponik

kekurangan air maka pompa untuk mengalirkan air diaktifkan. Kekurangan air pada sistem ini disebabkan karena jarak sensor dan air lebih dari 2 cm. Kemudian air pada hidroponik akan diisi sesuai ketentuan ketinggian air. Pada saat sistem menerima data bahwa hidroponik kekurangan nutrisi maka pompa untuk mengalirkan nutrisi diaktifkan. Kekurangan nutrisi ada sistem ini disebabkan karena tds meter mengukur data kurang dari 1000 ppm. Kemudian nutrisi pada hidroponik akan dipenuhi sesuai ketentuan tingkat kepekatan nutrisi air. Saat hidroponik kekurangan air dan nutrisi maka kedua pompa yakni pompa air dan pompa nutrisi akan diaktifkan. Dan kondisi terakhir adalah ketika air dan nutrisi sesuai ketentuan maka dapat dinyatakan bahwa kondisi sedang normal. Ada beberapa perubahan yang terjadi selain keempat kondisi tersebut, karena pada proses pertumbuhan tanaman yang membutuhkan waktu maka terkadang akan kekurangan air maupun kekurangan nutrisi. Sehingga sistem akan melakukan perubahan state setiap ada perubahan nilai pengukuran sensor.

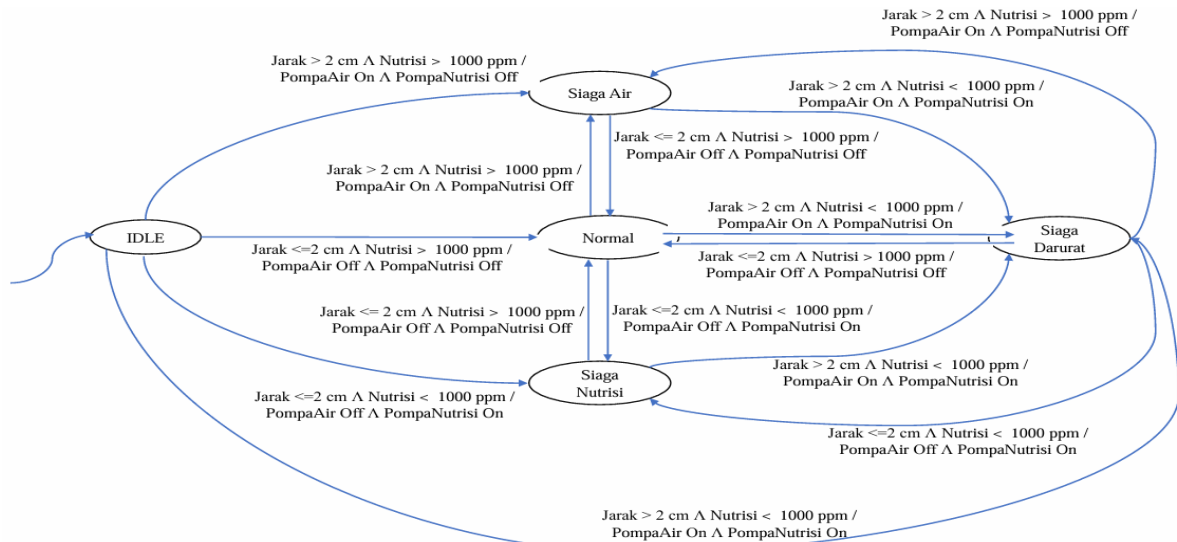
3.3. Pseudocode

Berikut ini merupakan gambaran langkah-langkah yang perlu dimuat dalam kode program untuk sistem kendali otomatis menggunakan FSM.

```

Initialize LCD, sensors, and actuators
Repeat forever:
    Read nutrition from TDS sensor and
    distance from ultrasonic sensor
    If TDS value >= 1000:
        If distance <= 2:
            Set system to "Normal" (Turn off
            pumps, show "Water Pump=Off", "Nutrition
            Pump=Off")
        Else:
            Set system to "Siaga Air" (Turn on
            water pump, show "Water Pump=On",
            "Nutrition Pump=Off")
        Else:
            If distance < 3:
                Set system to "Siaga Nutrisi" (Turn
                on nutrition pump, show "Water Pump=Off",
                "Nutrition Pump=On")
            Else:
                Set system to "Siaga Darurat" (Turn
                on both pumps, show "Water Pump=On",
                "Nutrition Pump=On")
  
```

Input : Jarak, Nutrisi
 Output : Pompa Air On, PompaAir Off, PompaNutrisi On, Pompa Nutrisi Off
 State : Idle, Siaga Air, Siaga Nutrisi, Normal, Siaga Darurat
 Initial State: Idle



Gambar 2. Desain Finite State Machine Sistem

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada Gambar 3 memperlihatkan hasil rancangan alat yang telah berhasil dibangun. Rancangan ini berupa sebuah *prototype* yang menggambarkan secara visual dan praktis mekanisme kerja sistem yang telah dirancang. Prototype ini terdiri dari beberapa komponen utama yang saling terintegrasi untuk mendukung kelancaran proses hidroponik otomatis. Terdapat wadah utama yang digunakan untuk menampung air hidroponik, yang dirancang dengan kapasitas yang cukup untuk memenuhi kebutuhan tanaman dalam sistem hidroponik tersebut. Selain itu, terdapat wadah terpisah untuk menyimpan air bersih dan wadah lainnya untuk menyimpan larutan nutrisi yang akan digunakan oleh tanaman.

Pada *prototype* ini, pompa air dan pompa nutrisi dipasang di dalam wadah air dan wadah larutan nutrisi masing-masing, dengan pengaturan yang memungkinkan aliran air dan nutrisi disalurkan dengan baik ke wadah hidroponik sesuai kebutuhan. Sensor ultrasonik dipasang tepat di atas wadah hidroponik untuk mengukur ketinggian air secara akurat, sementara sensor TDS (*Total Dissolved Solids*) diletakkan pada posisi yang memungkinkan untuk memantau tingkat kepekatan nutrisi dalam larutan yang ada di dalam wadah. Kedua

sensor ini memberikan umpan balik yang diperlukan untuk mengatur sistem dengan tepat.

Komponen lainnya, seperti pompa dan relay, diletakkan di bawah wadah hidroponik agar tidak mengganggu aliran sistem dan memudahkan instalasi serta pemeliharaan. Desain ini bertujuan untuk memastikan stabilitas dan efisiensi operasional sistem hidroponik yang dapat bekerja secara otomatis dan sesuai dengan parameter yang telah ditentukan oleh pengguna. Dengan pemrograman yang tepat, sistem ini dapat menyesuaikan aliran air dan nutrisi sesuai dengan kondisi yang terdeteksi oleh sensor, sehingga mendukung pertumbuhan tanaman dengan optimal dalam ruang terbatas.



Gambar 3. Hasil Rancangan Alat

Pada Gambar 4, tampilan LCD menunjukkan informasi hasil pengukuran yang diperoleh dari kedua sensor, yaitu sensor ultrasonik untuk mengukur ketinggian air dan sensor TDS untuk mengukur tingkat kepekatan nutrisi dalam sistem hidroponik. Berdasarkan data yang diterima, sistem akan menentukan status kedua pompa: pompa air dan pompa nutrisi. Tampilan ini juga berfungsi untuk menginformasikan kondisi sistem berdasarkan FSM yang digunakan. Setiap perubahan kondisi yang terdeteksi oleh sensor akan menghasilkan perubahan status pada LCD, misalnya, jika ketinggian air lebih rendah dari batas yang ditentukan, status "Siaga Air" akan ditampilkan, dan pompa air akan aktif.

FSM berperan dalam mengontrol alur kerja sistem berdasarkan input sensor, sehingga menghasilkan kondisi yang tepat. Jika kedua sensor menunjukkan nilai yang tidak sesuai dengan batas yang telah ditentukan, seperti kekurangan air atau nutrisi, status pada LCD akan memperlihatkan kondisi seperti "Siaga Darurat", yang menandakan bahwa kedua pompa harus bekerja. Sebaliknya, jika kondisi normal tercapai, status "Normal" akan muncul dan kedua pompa akan dimatikan. Melalui tampilan ini, pengguna dapat dengan mudah memantau dan memahami kondisi sistem secara real-time, serta mengetahui apakah pompa beroperasi sesuai dengan kebutuhan tanaman hidroponik.



Gambar 4. Tampilan LCD

Pada Tabel 2 menampilkan hasil pengujian sistem yang mencakup berbagai parameter penting yang dipantau selama operasional. Tabel ini merangkum pembacaan data dari kedua sensor, yaitu sensor ultrasonik yang digunakan untuk mengukur ketinggian air, dan sensor TDS yang mengukur kepekatan nutrisi

dalam larutan hidroponik. Data yang tertera menunjukkan nilai ketinggian air dalam satuan cm dan konsentrasi TDS dalam satuan ppm. Berdasarkan data ini, sistem secara otomatis menentukan kondisi yang tercapai dalam sistem hidroponik, yang kemudian digunakan untuk mengaktifkan atau mematikan pompa air dan pompa nutrisi sesuai dengan kebutuhan tanaman.

Setiap baris dalam tabel mewakili pengujian yang berbeda, dengan kolom-kolom yang menggambarkan nilai sensor, status kedua pompa (air dan nutrisi), serta status state berdasarkan model FSM yang telah dirancang. FSM ini bertujuan untuk mengelola operasional sistem berdasarkan input sensor, dengan menghasilkan empat state utama: "Pompa Air Hidup", "Pompa Air Mati", "Pompa Nutrisi Hidup", dan "Pompa Nutrisi Mati". Misalnya, ketika ketinggian air rendah dan konsentrasi TDS juga rendah, sistem akan memasukkan status "Siaga Darurat", yang mengaktifkan kedua pompa untuk memastikan pasokan air dan nutrisi yang cukup. Tabel ini memberikan gambaran yang jelas mengenai bagaimana sistem merespons data sensor dalam waktu nyata dan memastikan pengendalian otomatis yang efisien dalam memelihara tanaman hidroponik.

Tabel 2. Hasil Pengujian

No	Air (cm)	Nutrisi (ppm)	Pompa Air	Pompa Nutrisi	Status
1	2	332	Off	On	Siaga Nutrisi
2	2	1274	Off	Off	Normal
3	4	1279	On	Off	Siaga Air
4	4	337	On	On	Siaga Darurat
5	2	1207	On	On	Siaga Nutrisi
6	4	1279	On	Off	Siaga Air
7	3	1284	On	Off	Siaga

					Air
8	3	686	On	On	Siaga Darurat
9	3	339	On	On	Siaga Darurat
10	2	1324	Off	Off	Normal

5. KESIMPULAN

Adapun kesimpulan pada penelitian ini adalah:

1. Sistem yang dirancang berhasil mengotomatisasi proses pemeliharaan tanaman hidroponik dengan memanfaatkan model finite state machine (FSM) untuk pengendalian dinamis pompa air dan nutrisi.
2. Dengan menggunakan sensor ultrasonik dan sensor TDS, sistem mampu memantau ketinggian air dan konsentrasi nutrisi secara real-time, serta menyesuaikan aliran air dan nutrisi sesuai dengan kebutuhan tanaman.
3. FSM yang diterapkan memungkinkan sistem untuk beroperasi secara efisien dalam empat kondisi utama: Siaga Air, Siaga Nutrisi, Siaga Darurat, dan Normal, yang diatur berdasarkan pembacaan sensor.
4. Penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan FSM dalam sistem kendali hidroponik otomatis dapat meningkatkan efisiensi, mengurangi intervensi manual, dan membantu petani dalam merawat tanaman hidroponik dengan lebih mudah dan efektif.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. D. United Nations Department of Economic and Social Affairs, "World Population Prospects 2024," 2024.
- [2] Badan Pusat Statistik (BPS), *Proyeksi Penduduk Indonesia 2015-2045*. Badan Pusat Statistik, 2015.
- [3] N. Dubey and V. Nain, "Hydroponic—the future of farming," *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology* 5.4, 2020.
- [4] M. Raviv, J. H. Lieth, and A. Bar-Tal, *Soilless Culture: Theory and Practice*. London, UK: Elsevier, 2019.
- [5] N. S. Gruda, *Advances in soilless culture and growing media in today's horticulture—An Editorial.* *Agronomy* 12.11 (2022): 2773. *Agronomy* 12.11, 2022.
- [6] J. E. Son, T. I. Ahn, and T. Moon, *Advances in nutrient management modelling and nutrient concentration prediction for soilless culture systems*. Burleigh Dodds Science Publishing, 2021.
- [7] A. Mariyappillai and G. Arumugam, *The techniques of hydroponic system*. Acta Scientific Agriculture 4.7, 2020.
- [8] A. Phutthisathian, N. Pantasen, and N. Maneerat, "Ontology-based nutrient solution control system for hydroponics," *2011 First International Conference on Instrumentation, Measurement, Computer, Communication and Control. IEEE*, 2011.
- [9] L. M. JSM and C. Sridevi, "Design of efficient hydroponic nutrient solution control system using soft computing- based solution grading," *2014 International Conference on Computation of Power, Energy, Information and Communication (ICCPEIC). IEEE*, 2014.
- [10] J. D., and Vega, J. A. Gonzaga, and L. G. Lim, "Fuzzy-based Automated Nutrient Solution Control for A Hydroponic Tower System," *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*, vol. 1, 2021.
- [11] H. et all Helmy, "Nutrient solution acidity control system on NFT-based hydroponic plants using multiple linear regression method," *2020 7th International Conference on Information Technology, Computer, and Electrical Engineering (ICITACEE). IEEE*, 2020.
- [12] C.-H. Chen, S.-Y. Jeng, and C.-J. Lin, "Fuzzy logic controller for automating electrical conductivity and pH in hydroponic cultivation," *Applied Sciences* 12.1, 2021.
- [13] P. N. S. WP, G. F. Nama, and M. Komarudin, "Sistem Pengendalian Kadar PH dan Penyiraman Tanaman Hidroponik Model Wick System," *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan* 10.1, 2022.
- [14] R. A. Panjaitan, "Prototype Sistem Pemberian Nutrisi Otomatis Pada Tanaman Hidroponik Selada Dengan Wick System Berbasis Internet Of Thing (IoT)," *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan* 12.2, 2024.
- [15] D. Harel, "Statecharts: A visual formalism for complex systems," *Science of computer programming* 8.3, pp. 231–274, 1987.