



Implementasi *Fuzzy Logic Control* Metode Mamdani pada Pengatur Nilai Ph Air dan Nutrisi Hidroponik

Huban Kabir^{1*}, Yusep Romario², Sadiana Putra³

¹⁻³Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Elektro, Universitas Subang, Indonesia

Email: hubankabir@unsub.ac.id¹, yusepromario4@gmail.com², sadianaputra@unsub.ac.id³

*Penulis Korespondensi: hubankabir@unsub.ac.id

Abstract. In this study, a device was designed and implemented to control the water pH and nutrient density (concentration) in a hydroponic system using the Mamdani method of fuzzy logic, thus maintaining nutrient solution parameters within an optimal range for plant growth. This system relies on three input values obtained from a water pH sensor, a nutrient TDS sensor, and a flow meter. These three sensors are used to control four peristaltic motors, each of which functions to increase and decrease the pH and nutrient levels in the solution. The speed of the peristaltic pump motor, when the water pH is set at 6.5 and the nutrient concentration is set at 700 ppm, is influenced by the difference between the sensor reading and the set point. The greater the difference, the higher the peristaltic pump motor speed. Conversely, the smaller the difference between the sensor reading and the set point, the lower the peristaltic pump motor speed. Furthermore, the amount of water flowing through the pipe also influences the peristaltic pump motor speed.

Keywords: DC Motor; Fuzzy Logic; Hydroponics; Mamdani Method; PWM.

Abstrak. Pada penelitian ini dirancang dan direalisasikan sebuah alat untuk mengontrol nilai pH air serta kerapatan (konsentrasi) nutrisi pada sistem hidroponik dengan menerapkan logika fuzzy metode Mamdani, sehingga parameter larutan nutrisi dapat dipertahankan pada rentang secara optimal untuk pertumbuhan tanaman. Sistem ini mengacu pada tiga nilai input yang diperoleh dari sensor pH air, sensor TDS nutrisi, dan sensor flow meter. Ketiga sensor tersebut digunakan untuk mengendalikan empat motor peristaltik yang masing-masing berfungsi sebagai penaik dan penurun nilai pH serta kadar nutrisi pada larutan. Kecepatan motor pompa peristaltik pada pengaturan kestabilan nilai pH air sebesar 6,5 dan konsentrasi nutrisi sebesar 700 ppm dipengaruhi oleh selisih antara nilai pembacaan sensor dengan nilai set point. Semakin besar selisih tersebut, maka semakin tinggi kecepatan putaran motor pompa peristaltik. Demikian sebaliknya, semakin kecil selisih antara nilai pembacaan sensor dan nilai set point, maka semakin rendah kecepatan putaran motor pompa peristaltik. Selain itu, besarnya debit air yang mengalir pada pipa turut memengaruhi kecepatan putaran motor pompa peristaltik.

Kata Kunci: Fuzzy Logic; Hidroponik; Metode Mamdani; Motor DC; PWM.

1. LATAR BELAKANG

Perkembangan pertanian saat ini semakin maju banyak bermunculan inovasi-inovasi terbaru di bidang pertanian (Efendi & Sagita, 2022; Vyas & Singh, 2025). Salah satu metode pertanian yang diminati saat ini adalah bercocok tanam dengan metode hidroponik (Putriani *et al.*, 2023). Hidroponik sendiri dipilih selain mudah untuk dapat dipraktikkan juga tidak memerlukan perawatan yang begitu rumit, serta tanaman hidroponik bisa di tanam pada area atau lokasi yang terbatas contoh pada halaman rumah atau dak cor lantai atas yang tidak terpakai (Ramdhani, 2025). Hidroponik mempunyai berbagai kelebihan apabila dibandingkan dengan bercocok tanam sistem konvensional, antara lain adalah tidak menuntut lahan yang luas sehingga memungkinkan diterapkan oleh masyarakat perkotaan dengan ketersediaan lahan kosong yang terbatas; Lokasi penanaman bisa di mana saja; pilihan jenis tanaman yang bisa ditanam memang sangat beragam; Tingkat pertumbuhan yang lebih cepat sehingga lebih cepat

dipanen; Teknis perawatannya relatif tidak sulit sehingga bisa dipraktikkan oleh hampir semua orang (Sharma *et al.*, 2025).

Kunci dari bertanam hidroponik terletak pada kecukupan nilai nutrisi serta kadar pH yang sesuai dengan jenis tanaman yang sedang di tanam pada media hidroponik. Kadar pH yang di sarankan untuk tanaman hidroponik bernilai 5,5 - 6,5 (Fitriady *et al.*, 2019). Nutrisi yang diberikan untuk tanaman akan sangat berhubungan pH air atau derajat dari keasaman air. Tingkat pH air akan mempengaruhi daya larut unsur hara pada tanaman yang berakibat pada kualitas kesuburan tumbuh dan kembang tanaman tersebut (Aulia, 2025). Nilai pH secara konstan akan dapat mencegah reaksi kimia yang negatif dalam larutan nutrisi hidroponik hingga berdampak pada kualitas dari tanaman (Aulia, 2025; Sembiringm *et al.*, 2025). pH adalah singkatan dari “potential hydrogen” yang berarti merupakan jumlah konsentrasi ion hidrogen yang bermuatan positif relatif terhadap ion hidroksil bermuatan negatif dalam suatu zat (Putra & Pambudi, 2017; Utomo *et al.*, 2019). banyak penggiat hidroponik di Indonesia masih mengandalkan metode manual untuk memeriksa PPM nutrisi dan pH air, yang sering menyebabkan ketidakstabilan parameter akibat keterbatasan waktu dan akurasi pengukuran (Wardani *et al.*, 2023). Metode ini rentan terhadap kesalahan manusia dan fluktuasi lingkungan seperti hujan asam, sehingga hasil panen kurang optimal.

Dalam sistem yang akan dibuat ini bermaksud memudahkan petani hidroponik untuk mengatur nilai PPM nutrisi dan pH air pada media hidroponik, penerapan sistem fuzzy pada alat ini di harapkan mampu mengendalikan kadar PPM nutrisi serta nilai pH air tetap setabil sesuai dengan setpoint yang dapat di atur oleh petani hidroponik. Petani hanya bertugas mengisi nutrisi terlarut ke dalam botol nutrisi yang telah disediakan serta mengatur setpoint nilai nutrisi sesuai dengan jenis dan usia tanaman, selanjutnya sistem akan menggantikan tugas petani dalam mengatur nilai nutrisi pada alur distribusi larutan nutrisi.

2. LANDASAN TEORI

Hidroponik Rakit Apung

Hidroponik rakit apung atau *Floating Raft Hydroponic System* adalah menanam tanaman pada suatu rakit berupa panel tanam yang dapat mengapung diatas permukaan larutan nutrisi dengan akar menjuntai ke dalam air (Kurniawan & Lestari, 2020). Sistem pemberian air dengan menggunakan sub irigasi larutan yaitu larutan unsur hara disuplai melalui pompa secara teratur (Utomo *et al.*, 2019).

Fuzzy logic Metode Mamdani

Sistem fuzzy Mamdani dikenal mudah diterapkan karena prosesnya intuitif dan berbasis aturan linguistik sederhana. Empat tahapan utamanya mencakup fuzzifikasi hingga defuzzifikasi untuk mengubah input crisp menjadi output crisp. Beberapa tahapan untuk proses fuzzy mamdani (Simanjuntak & Fauzi, 2017), sebagai berikut: a) pembentukan himpunan Fuzzy Pada Metode Mamdani, baik variabel input maupun variabel output dibagi menjadi satu atau lebih himpunan fuzzy; b) aplikasi fungsi implikasi Pada Metode Mamdani, fungsi implikasi yang digunakan adalah Min; c) komposisi Aturan Tidak seperti penalaran monoton, apabila sistem terdiri dari beberapa aturan, maka inferensi diperoleh dari kumpulan dan korelasi antar aturan; d) penegasan (*defuzzy*) Input dari proses defuzzy adalah suatu himpunan fuzzy yang diperoleh dari komposisi aturan-aturan fuzzy, sedangkan output yang dihasilkan merupakan suatu bilangan pada domain himpunan fuzzy tersebut. Sehingga jika diberikan suatu himpunan fuzzy dengan range tertentu, maka harus dapat diambil suatu nilai crisp tertentu sebagai output. Ada beberapa metode defuzzy yang bias digunakan pada komposisi aturan mamadani, yaitu centroid, bosektor, mean of maximum, largest of maximum dan smallest of maximum (Priyo, 2017).

Sensor pH

Sensor pH mengukur kadar keasaman atau kebasaan larutan cair pada skala 0-14, sangat penting untuk hidroponik guna menjaga nutrisi tanaman optimal. Spesifikasi yang disebutkan mencakup modul power 5V, rentang pH 0-14, suhu operasional 0-60°C, akurasi ± 0.1 pH pada 25°C, dan waktu respon <1 menit, sesuai standar sensor seperti pH-4502 C (Kurniawan & Lestari, 2020).

Sensor Tds meter

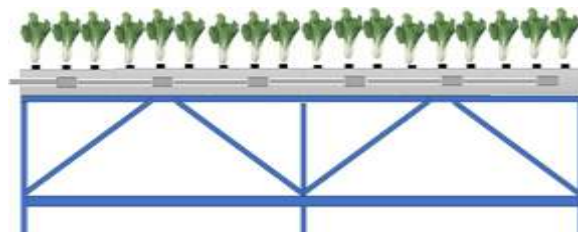
Sensor ini menggunakan metode *Electrical Conductivity*, di mana dua buah probe (elektroda) yang dihubungkan untuk mendapatkan nilai konduktansi larutan yang akan diukur. Probe tersebut diberi beda potensial listrik (berbentuk sinusoida) akan dapat mengalir arus listrik. Konduktansi suatu larutan akan sebanding dengan ionion dalam larutan tersebut.

3. METODE PENELITIAN

Rangkaian pemroses sinyal menyediakan tegangan AC konstan ke probe untuk mengukur konduktansi larutan secara akurat, kemudian dikonversi menjadi sinyal tegangan yang dapat diproses lebih lanjut (Alfisyah, 2019). Pada bab ini akan di jelaskan alur perancangan media tanam, perancangan sistem control, serta perancangan perangkat keras.

Perancangan media tanam hidroponik

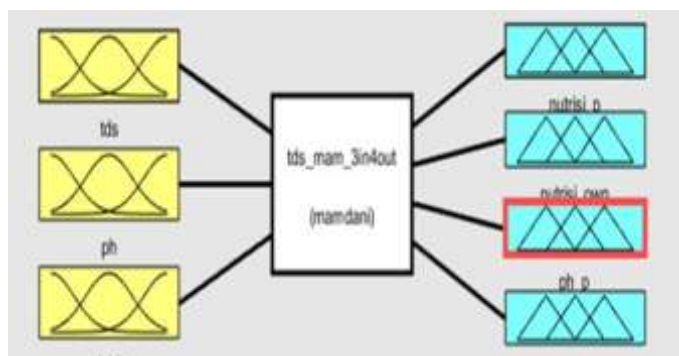
Media tanam yang di buat ialah hidroponik sistem rakit apung Gambar.1 yang mana sistem ini lebih bisa d unggulkan untuk kualitas dari tanaman yang di tanam, ada 6 buah bak yang di isi nutrisi setiap bak beisi 12 netpot yang terapung menggunakan steropom tinggi nutrisi pada bak adalah 15 cm, kemudian untuk distribusi nutrisi dihubungkan dengan pipa peralon ½” secara terus menerus air bersirkulasi mengandalkan dorongan dari pompa.



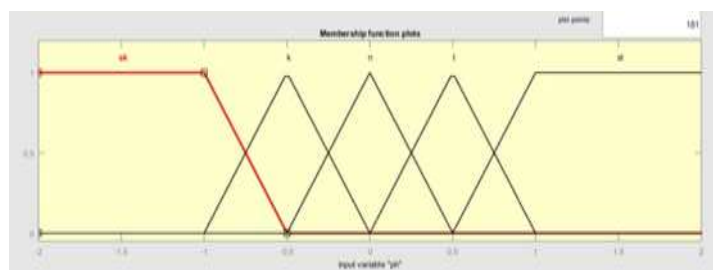
Gambar 1. Pemodel Media Tanam Rakit Apung.

Perancangan Sistem Control Fuzzy Logic Control

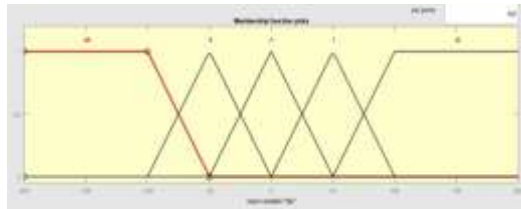
Pembentukan himpunan fuzzy pada bagian input terdiri dari tiga variabel masukan, yaitu nilai pH air, PPM nutrisi, dan debit air, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2. Untuk variabel pH dan nutrisi, masing-masing ditetapkan lima himpunan fuzzy, seperti terlihat pada Gambar 3 dan Gambar 4, yaitu SR (Sangat Rendah), R (Rendah), N (Normal), T (Tinggi), dan ST (Sangat Tinggi). Nilai pada masing-masing himpunan fuzzy tersebut diperoleh dari selisih antara nilai setpoint dan hasil pembacaan sensor.



Gambar 2. Fuzzy Mamdani.

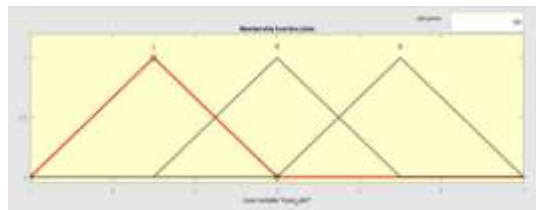


Gambar 3. Membership Function pH Air.



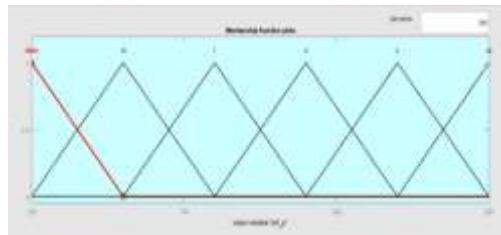
Gambar 4. Membership Function TDS.

Input debit air pada sistem Fuzzy Logic Control metode Mamdani untuk hidroponik dibagi menjadi tiga himpunan fuzzy, yaitu L (lambat), S (sedang), dan D (deras), sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5 yang mengilustrasikan fungsi keanggotaan berbentuk trapezoidal dan triangular.



Gambar 5. Membership Function Debit Air.

Untuk himpunan fuzzy (output) di bagi menjadi 6 himpunan Gambar.6 yaitu D (diam) sl (sangat lambat) L (lambat) N (normal) C (cepat) SC(sangat cepat).



Gambar 6. Membership function Motor Pump.

Setelah pembentukan himpunan fuzzy, langkah selanjutnya dalam fuzzy logic Mamdani adalah penerapan fungsi implikasi aturan (inference) dan komposisi aturan untuk menghasilkan output agregat sebelum defuzzifikasi. Dalam sistem hidroponik dibuat dengan 75 kompisi aturan, masing-masing dipengaruhi oleh input flow meter (debit air), memproses kombinasi error pH/TDS dan debit untuk menentukan kecepatan pompa presisi. Untuk detail dapat di lihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Implikasi Aturan.

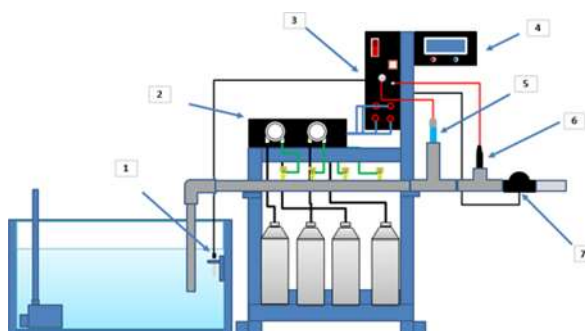
Pada tahap terakhir adalah merubah himpunan fuzzy menjadi bilangan real, dengan cara defuzzifikasi atau penegasan, pada penelitian ini menggunakan metode Centroid. Adapun untuk hasil dapat di lihat pada Gambar.8



Gambar 8. Hasil Defuzzifikasi.

Perancang Perangakt Keras

Sistem distribusi nutrisi merujuk pada pengelolaan larutan nutrisi dalam hidroponik atau fertigasi tetes untuk irigasi pertanian, yang sering dioptimalkan dengan fuzzy Mamdani mengingat konteks diskusi sebelumnya. Terdapat beberapa bagian dalam sistem alat yang telah dibuat, diantaranya: sensor suhu, box pompa *paristaltik*, box controller, box interface, sensor pH meter, sensor TDS, dan sensor *flow* meter.



Gambar 9. Sistem Injek Larutan.

Sensor dan encoder sebagai input, kemudian *microcontroller arduino* mega sebagai *proccesing*, LCD i2c sebagai interface antara sistem dengan pengguna kemudian motor driver sebagai penreima output dari proccesing yang dioleh oleh microcontroller beserta aturan fuzzy yang sudah di terapkan. output berupa signal PWM dari micro controller kemudian di olah kembali oleh motor driver untuk mengontrol kecepatan pada putara motor pompa paristaltik. Untuk keseluruhan alur proses dapat di lihat pada gambar 10.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian sistem distribusi nutrisi hidroponik berbasis fuzzy Mamdani memastikan semua komponen beroperasi secara optimal melalui serangkaian uji coba terstruktur. Proses ini mencakup kalibrasi sensor untuk akurasi pengukuran, verifikasi kontrol fuzzy, dan evaluasi performa tanaman secara keseluruhan. Pengujian error pada sistem distribusi nutrisi hidroponik berbasis fuzzy Mamdani mengevaluasi ketepatan sensor dan keandalan aktuator dalam menjalankan program kontrol. Besarnya error diukur melalui perbandingan nilai sensor dengan standar referensi, sementara kemampuan eksekusi dinilai dari respons waktu dan stabilitas output.

Pengujian Sensor dan Motor

Pengujian sensor Ph air

Pengujian sensor pH air menggunakan perbandingan antara modul sensor Arduino dan pH meter terstandar dengan media air RO dicampur buffer powder menunjukkan akurasi yang baik, dengan error rata-rata di bawah 1%. Data pada Tabel 1 mengonfirmasi reliabilitas sensor untuk aplikasi hidroponik fuzzy logic, di mana presisi pengukuran krusial untuk pengendalian pH 5.5-6.5. Dapat dilihat pada pengujian sensor pH air pada tabel Tabel 1.

Tabel 1. Data Pengujian Sensor pH Air.

No.	Butter	pH Meter	Sensor pH	Error (%)
1	4,01	3,98	3,92	1,53%
2	6,89	6,76	6,71	0,75%
3	9,18	9	8,98	0,22%

Sumber: Hasil Analisis

Error menurun seiring pH naik, rata-rata 0.83%, memenuhi standar hidroponik (<2%) untuk input fuzzy. Pengujian buffer standar (pH 4/7/10) ini umum untuk kalibrasi sensor sebelum integrasi dengan TDS dan flow meter. Sensor dengan error rendah ini mendukung respons fuzzy proporsional error, memastikan kestabilan nutrisi 700 ppm tanpa drift signifikan.

Pengujian sensor TDS

Pengujian menggunakan 5 sample larutan yang nilai nya sudah dirubah dengan mencampurkan nutrisi. Untuk hasil dapat di lihat pada tabel II.

Dari tabel II dapat dilihan kinerja sensor cukup baik dengan selisih pengukuran di angka 1 persen untuk nilai ppm kurang dari 700 ppm.

Tabel 2. Pengujian Sensor TDS.

No.	Simpl.E	TDS Meter	TDS Sensor	Error %
1	1	80	81	1%
2	2	120	119	-1%
3	3	417	420	1%
4	4	685	687	0%
5	5	985	988	0%

Sumber: Hasil Analisis

Pengukuran 4 buah motor paristaltik.

Ujicoba motor pompa pada sistem distribusi nutrisi hidroponik bertujuan mengukur debit aliran larutan saat PWM (Pulse Width Modulation) divariasikan dari 0 hingga 255 untuk mengoptimalkan pengendalian fuzzy Mamdani.

Tabel 3. Uji Debit Mili Liter Permenit Pompa Paristaltik.

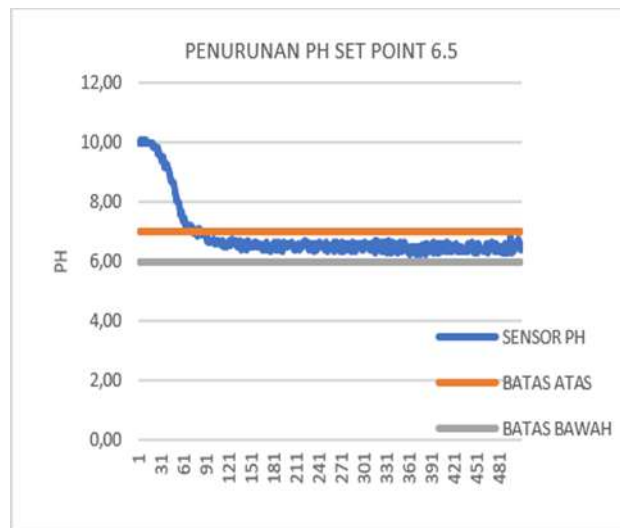
PWM meter	Volt	M1	M2	M3	M4
0	0	Off	Off	Off	Off
20	4,5	Off	Off	Off	Off
40	5,58	Off	Off	Off	Off
60	6,55	Off	Off	Off	Off
80	7,2	Off	Off	Off	Off
100	7,93	Off	Off	Off	Off
120	8,55	Off	Off	Off	Off
140	9,18	9,4	8,4	9,4	9,7
160	9,78	12	11,5	12,4	12
180	10,3	19	18	19	19,2
200	10,85	23	21,1	23,2	23
220	11,3	26	25	26	26,6
240	11,7	30	27	30,7	30,4
255	11,92	35	31	35,3	36

Pada tabel 3 menunjukkan bahwa pengukuran dilakukan dengan menyalakan masing-masing pompa dengan durasi 1 menit kemudian diukur dengan gelas ukur. Pengujian kinerja pompa terhadap variasi PWM menunjukkan bahwa motor peristaltik mulai berputar pada nilai minimum 120 PWM dari skala 0-255, sesuai karakteristik umum driver seperti L298N pada sistem Arduino hidroponik. Threshold ini memastikan pompa tidak bergerak pada output fuzzy rendah (<120 PWM saat error kecil), mencegah getaran sia-sia dan konsumsi daya berlebih pada pengendalian pH 6.5 atau 700 ppm.

Pengujian Sistem Keseluruhan

Pengujian menurunkan nilai ph

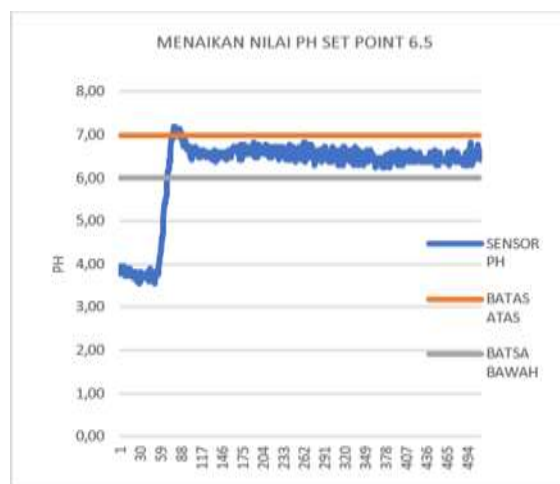
Pengujian sistem dilakukan dengan menurunkan nilai pH larutan dari awal 10.2 ke setpoint target 6.5, memverifikasi respons fuzzy logic melalui grafik 10 yang menunjukkan dinamika pengendalian. Proses ini mengaktifkan pompa pH down secara proporsional berdasarkan error awal besar (3.7 unit), dengan kecepatan menurun bertahap seiring pH mendekati target.



Gambar 10. Menurunkan Nilai pH Air.

Pengujian menaikkan Nilai PH

Pengujian respons sistem pengontrol pH pada hidroponik dilakukan dengan menaikkan pH larutan nutrisi dari 10.2 ke setpoint 4.01 untuk menguji efektivitas pompa pH down (motor peristaltik) melalui dinamika pada Gambar 11. Error awal mencapai 6.19 unit pH memicu aktivasi cepat pompa dengan PWM tinggi (80-100%), diikuti penurunan bertahap saat mendekati target guna hindari overshoot. Proses ini menggunakan fuzzy logic Mamdani, dengan sensor pH terkalibrasi pada buffer 4.01 seperti Tabel 1, menunjukkan settling time <5 menit dan ripple <0.1 pH.



Gambar 11. Menaikan Nilai pH Air.

Pengujian menaikkan nilai ppm

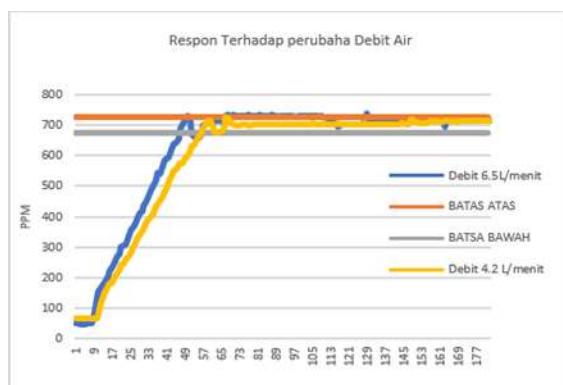
Pengujian menaikkan nilai ppm dari 100 ppm ke set point 700 ppm. Pengujian ini dilakukan untuk menaikkan nilai ppm nutrisi pada larutan. Dari gambar 12, kita bisa melihat waktu untuk menaikkan nilai ppm dari nilai air sumur ke nilai yang di atur adalah 73 detik.



Gambar 12. Menaikan Nilai PPM Nutrisi.

Pengujian respon menaikkan nilai ppm dengan merubah debit air yang mengalir pada pipa distribusi nutrisi

Uji ini dilakukan untuk melihat respon sistem terhadap perubahan jumlah volume debit air yang mengalir pada pipa sehingga diharapkan sistem dapat merespon dan mengatur putaran kecepatan motor peristaltik sesuai dengan perubahan debit air.



Gambar 13. Respon Terhadap Perubahan Debit.

5. KESIMPULAN

Dari hasil serangkaian ujicoba yang sudah dilakukan bahwa telah di buat suatu Sistem pengontrol pH dan nutrisi tanaman hidroponik pada pipa distribusi telah berhasil dibuat melalui serangkaian pengujian, dengan pengaturan berbasis selisih error sensor terhadap setpoint serta volume debit air. Pendekatan fuzzy logic Mamdani memproses input pH, TDS, dan flow meter untuk output PWM proporsional pada empat pompa peristaltik, memastikan kestabilan di target seperti pH 6.5 dan 700 ppm.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih ini kami ucapkan kepada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Subang atas dukungan terkait dukungan terhadap data-data untuk melengkapi penelitian ini. Semoga segala bantuan dan amalan kebaikan mendapat balasan yang setimpal dari tuhan yang maha esa. Penulis juga berharap bahwa penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak yang membacanya.

DAFTAR REFRENSI

- Alfisyah, M. N. (2019). *Rancang Bangun Alat Pendeteksi Pencemaran Air pada Kolam Ikan dari Bahan Padatan Terlarut menggunakan Sensor TDS*.
- Aulia, R. (2025). Pentingnya pH dalam Budidaya Sistem Hidroponik. *Https://Npkmutiara.Com/Post/Pentingnya-Ph-Dalam-Budidaya-Sistem-Hidroponik*, Diakses Tanggal 26 Nopember 2025, 1–7.
- Efendi, R., & Sagita, D. (2022). Teknologi Pertanian Masa Depan dan Peranannya dalam Menunjang Ketahanan Pangan. *Sultra Journal of Mechanical Engineering (SJME)*, 1(1), 1–12. <https://doi.org/10.54297/sjme.v1i1.297>
- Fitriady, Amri, B., & Brijol, A. (2019). Sistem Pengaturan pH Larutan Nutrisi Tanaman Hidroponik Berbasis Arduino Uno. *J-Innovation*, 8(1), 1–4.
- Kurniawan, A., & Lestari, H. A. (2020). Sistem Kontrol Nutrisi Floating Hydroponic System Kangkung (Ipomea Reptans) Menggunakan Internet Of Things Berbasis Telegram. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung (Journal of Agricultural Engineering)*, 9(4), 326–335. <https://doi.org/10.23960/jtep-l.v9i4.326-335>
- Priyo, W. T. (2017). Penerapan Logika Fuzzy Dalam Optimasi Produksi Barang Menggunakan Metode Mamdani. *Jurnal Ilmiah Soulmath : Jurnal Edukasi Pendidikan Matematika*, 5(1), 14–21. <https://doi.org/10.25139/sm.v5i1.453>
- Putra, A. Y. H., & Pambudi, W. S. (2017). Tanaman Bayam Pada Hidroponik Nft (Nutrient Film Technique). *Jurnal Ilmiah Mikrotek*, 2(4), 11–20.
- Putriani, N., Adiningsih, D. C., Ubaidillah, G., Fitria, N. A., Fadila, Ningtyas, I., Kartikasari, D. M., Hanifah, F. H., Dinilah, M. F., Amalia, F. R., & Jamaluddin, A. I. R. (2023). Pengembangan Sistem Hidroponik untuk Pertanian Berkelanjutan di Desa Cipari. *Prosiding Kampelmas*, 2(2), 1035–1049.
- Ramdhani, N. (2025). Hidroponik di Lahan Sempit: Solusi Panen Sayuran Segar di Perkotaan. In <https://rumahbudayaindonesia.com/hidroponik-di-lahan-sempit-solusi-panen-sayuran-segar-di-perkotaan>, diakses tanggal 23 April 2025 (pp. 1–6).
- Sembiringm, S., Exaudi, K., Prasetyo, A. P., Rendyansyah, & Nadhira, W. (2025). Implementation of Fuzzy Method towards Hydroponic Smart Showcase Innovation. *MITOR: Jurnal Teknik Elektro*, 24(3), 39–46. <https://doi.org/https://doi.org/10.23917/emitior.v24i3.4043>

- Sharma, K., Yadav, R., Shubham, & Kaushal, S. (2025). Optimizing Hydroponic Crop Production: A Multifaceted Approach to EC, pH and Nutrient Management. *Journal of Scientific Research and Reports*, 31(4), 716–726. <https://doi.org/10.9734/jsrr/2025/v31i42995>
- Simanjuntak, M., & Fauzi, A. (2017). Penerapan Fuzzy Mamdani Pada Penilaian Kinerja Dosen (Studi Kasus STMIK Kaputama Binjai). *Jurnal ISD*, 2(2), 2528–5114.
- Utomo, M. T., Repi, V. V. R., & Hidayanti, F. (2019). Pengatur Kadar Asam Nutrisi (ph) dan Level Ketinggian Air Nutrisi pada Sistem Hidroponik Cabai. *Jurnal Ilmiah Giga*, 21(1), 5–14.
- Vyas, S., & Singh, S. (2025). Peran Inovasi untuk Pembangunan Berkelanjutan di Bidang Pertanian: Sebuah Tinjauan. *Journal Agricultural*, 46(1), 44–52. <https://doi.org/10.18805/ag.R-2536>
- Wardani, E., Setiawan, A. B., & Sulaksono, J. (2023). Perancangan Sistem Pemberian Nutrisi Otomatis Pada Media Tanam Hidroponik Berdasarkan Nilai PPM (Nutrisi). *Prosiding SEMNAS INOTEK (Seminar Nasional Inovasi Teknologi)*, 7(1), 1367–1375. <https://proceeding.unpkediri.ac.id/index.php/inotek/>