

Sistem Otomasi Pengendalian Nutrisi Tanaman Hidroponik Berbasis *Blynk* Dengan *Fuzzy Logic*

Naufal Fakhri Roswandi
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

naufalfakhri@student.telkomuniversity.ac.id

Dr.Ir. Ekki Kurniawan, S.T., M.T.
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

ekkekurniawan@telkomuniversity.ac.id

Unang Sunarya, S.T., M.T., Ph.D.
Fakultas Ilmu Terapan
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

unangsunarya@telkomuniversity.ac.id

Abstrak — Sistem pertanian konvensional menghadapi tantangan seperti keterbatasan lahan akibat urbanisasi dan bencana alam, mendorong inovasi dalam produksi pangan. Hidroponik, teknik bercocok tanam tanpa tanah, menjadi solusi, namun pemantauan manual pada skala besar kurang efektif. Penelitian ini mengusulkan Sistem Otomasi Pengendalian Nutrisi Hidroponik Berbasis Aplikasi Blynk dengan Fuzzy Logic untuk mengatasi keterbatasan tersebut. Sistem ini mengintegrasikan IoT untuk memantau parameter penting seperti pH dan kadar nutrisi secara real-time menggunakan sensor TDS (akurasi 96,9%) dan sensor pH (akurasi 97,5%). Algoritma Fuzzy Logic memungkinkan pengaturan nutrisi dan pH secara presisi sesuai kebutuhan tanaman. Pengujian performa menunjukkan akurasi tinggi dibandingkan simulasi MATLAB, dengan keberhasilan 95,94% untuk nutrisi dan 98,82% untuk pH, serta error dalam batas toleransi (nutrisi 800–1200 ppm, pH 5,5–6,5). Pengujian pertumbuhan kangkung selama 21 hari menunjukkan sistem otomatis menghasilkan tanaman lebih tinggi (selisih rata-rata 13 cm) dan berdaun lebih banyak (selisih rata-rata 11,15) dibandingkan kontrol manual. Dibandingkan penelitian terdahulu, sistem ini menawarkan peningkatan signifikan pada pertumbuhan tanaman dan kemudahan pemantauan jarak jauh melalui Blynk, mendukung pertanian modern yang praktis dan adaptif. (190 kata)

Kata kunci— Fuzzy Logic, Hidroponik, IoT, Kangkung, Nutrisi, pH

I. PENDAHULUAN

Sistem pertanian konvensional semakin tertekan dengan meningkatnya populasi dan terjadinya bencana alam yang mempengaruhi produksi pangan. Pertanian modern menghadapi tantangan serius terkait keterbatasan lahan akibat urbanisasi yang mengakibatkan berkurangnya area pertanian konvensional. Keterbatasan lahan pertanian di daerah perkotaan menuntut solusi inovatif untuk memastikan ketersediaan pangan. Salah satu sistem penanaman yang dapat digunakan ialah hidroponik, yang berasal dari bahasa Yunani "hydro" (air) dan "ponos" (kerja), diartikan sebagai teknik bercocok tanam tanpa tanah sebagai media tumbuh. Dengan perkembangan zaman, penggunaan pertanian sistem hidroponik dalam skala besar membutuhkan pemantauan untuk memastikan pertumbuhan tanaman,

namun pemantauan manual tidak efektif serta membutuhkan waktu dan tenaga besar. Hal ini disebabkan oleh besarnya luas lahan yang digunakan oleh para petani dalam memproduksi bahan pangan, sehingga petani tidak dapat mengontrol jumlah nutrisi yang dibutuhkan oleh tanaman secara berkala, yang dapat menyebabkan kegagalan panen pada beberapa tumbuhan. Oleh karena itu, dibutuhkan teknologi terbaru untuk dapat memantau jumlah nutrisi yang dibutuhkan oleh tanaman secara *realtime*.

Hidroponik terintegrasi IoT muncul sebagai solusi inovatif untuk mengatasi permasalahan tersebut dengan meningkatkan efisiensi penggunaan nutrisi dan produktivitas tanaman melalui pemantauan parameter seperti suhu, pH, dan kadar nutrisi secara *real-time* menggunakan sensor TDS. Implementasi teknologi IoT memungkinkan petani untuk memantau dan mengontrol sistem hidroponik dari jarak jauh menggunakan *smartphone* atau komputer. Penggunaan algoritma *fuzzy logic* dalam sistem hidroponik memungkinkan pengaturan nutrisi yang lebih presisi sesuai dengan kebutuhan tanaman. Hasil pengujian menunjukkan sistem *smart* hidroponik dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman hingga 1,775% dibandingkan sistem konvensional. Pengembangan sistem hidroponik berbasis IoT memerlukan integrasi berbagai komponen teknologi seperti sensor TDS, sensor ultrasonik, sensor pH, dan sensor suhu. Data dari sensor-sensor tersebut dikirimkan melalui modul komunikasi *wireless* ke sistem pengolahan pusat yang dapat diakses melalui aplikasi monitoring. Sistem ini dilengkapi dengan algoritma *machine learning* untuk menganalisis data historis dan memprediksi potensi hasil panen. Pengujian sistem menunjukkan tingkat deviasi rata-rata sensor TDS sebesar 3,229% dan sensor pH sebesar 4,081%.

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, rumusan masalah penelitian ini adalah: Berapa persentase keberhasilan Sistem pengendalian tanaman kangkung hidroponik berbasis IoT dengan *Fuzzy Logic*? Bagaimana mengimplementasi sistem berbasis IoT dalam mengatur kadar nutrisi pada tanaman Kangkung? Tujuan penelitian ini adalah menganalisis persentase keberhasilan Sistem pengendalian tanaman kangkung hidroponik berbasis IoT dengan *Fuzzy Logic* serta mengimplementasikan sistem berbasis IoT dengan metode *Fuzzy Logic* untuk mengatur kadar nutrisi dan pH pada tanaman kangkung.

II. KAJIAN TEORI

Hidroponik Pada awal tahun 1930-an, istilah “Hidroponik” diciptakan oleh Profesor William Gerickle untuk memberi gambaran mengenai pertumbuhan tanaman dengan akar yang digantung pada air yang kaya akan mineral nutrisi. Hidroponik sendiri berasal dari kata Yunani yaitu

hydros yang berarti air dan *phonos* yang berarti kerja, sehingga pada hidroponik yang bekerja adalah air. Singkatnya, hidroponik adalah budidaya pertanian tanpa media tanah, sehingga hidroponik adalah teknik pertanian yang menggunakan air sebagai media tanam pengganti tanah yang membuat hidroponik bisa menjadi solusi dari sistem bercocok tanam pada lahan yang terbatas. Karena hidroponik menggunakan air sebagai media tanam, tanaman tidak mendapatkan nutrisi yang biasanya ditemukan pada tanah. Oleh karena itu, hidroponik memanfaatkan larutan mineral yang kaya akan nutrisi atau menggunakan substrat lain yang mengandung unsur hara seperti sabut kelapa, serbuk kayu, pecahan batubara, dan lain-lain sebagai media pengganti tanah.

Hidroponik sendiri memiliki beberapa jenis sistem, di antaranya *Deep Water Culture (DWC)* yang sistemnya merendam akar pada larutan nutrisi dan sistem ini tergolong sederhana dan cocok untuk pemula. Kemudian ada *Aeroponik*, di mana sistemnya adalah menggantung akar di udara dan disemprot dengan larutan nutrisi; sistem ini memungkinkan pertumbuhan yang cepat dan efisien. Selanjutnya ada Sistem Terbuka dan Tertutup yang cara kerjanya sistem tertutup akan mengalirkan kembali larutan nutrisi ke tangki untuk menghindari pemborosan air, sedangkan sistem terbuka akan membuang sebagian larutan setelah digunakan. Terakhir ada sistem yang cukup populer digunakan untuk produksi sayuran daun yaitu *Nutrient Film Technique (NFT)* yang cara kerjanya adalah mengaliri secara tipis akar tanaman dengan larutan nutrisi. Pada penelitian ini, metode *Nutrient Film Technique (NFT)* digunakan dikarenakan tanaman kangkung adalah salah satu tanaman yang memiliki siklus pertumbuhan yang cepat dan cenderung membutuhkan pasokan nutrisi yang stabil dan mudah tersedia.

Nutrient Film Technique (NFT)

Nutrient Film Technique (NFT) adalah salah satu dari berbagai metode hidroponik yang paling populer di mana larutan nutrisi, air, dan oksigen dialirkan secara terus menerus ke akar tanaman. Teknik ini pertama dikenalkan oleh Dr. Allen Cooper pada tahun 1960-an dan telah menjadi salah satu pilihan utama para petani hidroponik karena kemampuannya menyediakan pasokan nutrisi dan oksigenasi akar yang baik. Metode ini memungkinkan tanaman tumbuh tanpa tanah sebagai media tanam dan juga memungkinkan tanaman tumbuh pada ruang yang lebih sedikit, seringkali menghasilkan panen yang berkualitas lebih baik dan lebih tinggi. Sistem ini terbukti efektif dalam memantau dan mengontrol kondisi pertumbuhan tanaman dan menciptakan lingkungan hidroponik yang optimal. Dalam sistem *Nutrient Film Technique (NFT)*, tray atau saluran yang dangkal digunakan untuk menampung tanaman yang kemudian larutan nutrisi akan mengalir tipis secara terus menerus dan membuat akar mendapatkan akses langsung terhadap nutrisi dan oksigen dari udara. Salah satu keuntungan dari *Nutrient Film Technique (NFT)* adalah efisiensi penggunaan air. Sistem ini bisa menghemat sampai 90% air dibandingkan

dengan metode pertanian tradisional, karena larutan nutrisi akan dipompa kembali ke reservoir setelah melewati akar-akar tanaman. Oleh karenanya, *Nutrient Film Technique (NFT)* bukan hanya menghemat penggunaan air tetapi juga mengurangi kebutuhan pengisian ulang larutan nutrisi secara berkala. Hal ini membuat *Nutrient Film Technique (NFT)* menjadi metode yang sangat baik terutama di daerah yang memiliki keterbatasan sumber daya air.

Kangkung Kangkung, yang dikenal dengan nama ilmiah *Ipomoea aquatica* dan *Ipomea reptans*, merupakan sayuran yang sangat populer di Indonesia. Tanaman ini tumbuh subur di dataran rendah maupun dataran tinggi, dengan 2 varietas utama yaitu kangkung air dan juga kangkung darat. Kangkung air memiliki daun yang lebih lebar dan batang yang berongga, sedangkan kangkung darat memiliki daun yang lebih sempit dan runcing. Kedua varietas ini memiliki perbedaan dalam bentuk daun dan warna bunga, di mana kangkung darat biasanya berwarna hijau terang dengan bunga putih sementara kangkung air berwarna lebih gelap dengan warna bunga yang sama-sama berwarna putih. Budidaya yang sangat mudah juga membuatnya menjadi salah satu sayuran yang banyak ditanam oleh masyarakat. Tanaman ini juga memiliki siklus panen yang cepat, normalnya dapat dipanen dalam waktu 30 sampai 45 hari setelah penanaman. Kangkung dapat ditanam baik secara hidroponik maupun dengan lahan yang basah, dan memerlukan tanah yang subur serta kaya akan humus untuk pertumbuhan optimal. Selain itu, kangkung juga tahan terhadap berbagai kondisi cuaca, sehingga dapat ditanam sepanjang tahun bahkan saat hujan lebat.

Nutrient

Nutrient adalah komponen penting yang diperlukan oleh organisme untuk menunjang pertumbuhan, perkembangan, dan fungsi optimal berbagai sistem tubuh. Dalam konteks nutrisi, zat-zat yang terkandung dalam makanan dapat diklasifikasikan menjadi 3 kelompok berdasarkan fungsinya dalam tubuh, yaitu nutrien, antinutrien, atau non-nutrien yang bermanfaat. Klasifikasi ini didasarkan pada peran dan efek yang ditimbulkan zat tersebut dalam tubuh. *Nutrient* adalah zat gizi yang dibutuhkan organisme untuk menjalankan fungsi biologis. *Nutrient* dapat dibagi menjadi dua kelompok besar yaitu Makronutrien dan Mikronutrien. Makronutrien terdiri dari karbohidrat, protein, dan lemak yang dibutuhkan dalam jumlah relatif besar sebagai sumber energi. Sementara itu, Mikronutrien meliputi vitamin dan mineral yang meskipun dibutuhkan dalam jumlah kecil, namun berperan vital dalam berbagai proses metabolisme.

Parameter Dalam budidaya tanaman secara hidroponik, pemantauan dan pengendalian parameter lingkungan tumbuh menjadi kunci keberhasilan. Berbeda dengan budidaya konvensional, sistem hidroponik memungkinkan pengaturan kondisi ideal bagi pertumbuhan tanaman secara lebih presisi. Beberapa parameter kunci yang perlu diperhatikan dalam sistem hidroponik meliputi pH larutan nutrisi, suhu larutan dan lingkungan, kadar oksigen terlarut, intensitas cahaya, serta konsentrasi nutrisi. Dua parameter penting yang berkaitan erat dengan konsentrasi nutrisi dalam sistem hidroponik adalah *Total Dissolved Solids (TDS)* dan *Electrical Conductivity (EC)*. Kedua parameter ini menjadi indikator utama dalam menentukan jumlah dan ketersediaan nutrisi bagi tanaman. Pemahaman dan pengelolaan yang tepat terhadap TDS dan EC sangat penting

untuk memastikan tanaman mendapatkan nutrisi yang optimal sesuai dengan kebutuhannya pada setiap tahap pertumbuhan.

Total Dissolved Solids (TDS)

Total Dissolved Solids (TDS) merupakan ukuran kandungan gabungan dari semua zat organik maupun anorganik yang terlarut dalam air, termasuk kation seperti kalsium, magnesium, kalium, dan sodium, serta anion seperti karbonat, nitrat, bikarbonat, klorida, dan sulfat. Sumber TDS dapat berasal dari aktivitas alami maupun antropogenik. Sumber alami meliputi intrusi air laut, mata air mineral, garam, dan endapan karbonat, sedangkan sumber antropogenik mencakup limbah domestik, limpasan perkotaan, air limbah industri, serta bahan kimia dalam proses pengolahan air dan air limbah. Dalam sistem hidroponik, TDS menjadi indikator konsentrasi nutrisi yang tersedia bagi tanaman. Nilai TDS yang optimal sangat penting untuk pertumbuhan dan perkembangan tanaman yang sehat. Umumnya, air baku pada hidroponik memiliki nilai TDS berkisar antara 100-150 ppm. Namun, kebutuhan TDS dapat bervariasi tergantung pada jenis tanaman dan tahap pertumbuhannya.

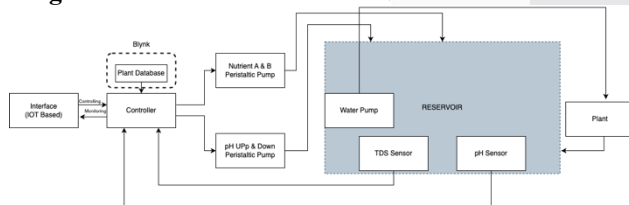
Electrical Conductivity (EC)

Konduktivitas listrik (EC) adalah ukuran kemampuan suatu material untuk menghantarkan arus listrik. Pada pertanian dan lingkungan, EC sering digunakan untuk menilai kualitas tanah dan air, serta untuk memprediksi salinitas dan mineralisasi. EC mengukur kemampuan tanah atau air untuk menghantarkan arus listrik, yang berkaitan erat dengan konsentrasi ion terlarut, termasuk garam dan nutrisi penting seperti nitrogen, fosfor, dan kalium. Dalam pertanian, nilai EC dapat memberikan informasi kritis tentang kualitas air irigasi dan kondisi tanah, serta membantu petani dalam pengambilan keputusan terkait pemupukan dan pengelolaan irigasi.

III. METODE

Sistem yang akan dibangun pada penelitian ini adalah sistem Otomasi Pengendalian Nutrisi Tanaman Kangkung Hidroponik Berbasis IoT Dengan *Fuzzy Logic*. Perancangan ini terdiri dari blok diagram sistem, *flowchart* sistem, cara kerja sistem, fungsi dan fitur, desain perangkat keras, spesifikasi komponen, dan desain perangkat lunak.

Diagram Blok



Gambar 1

Diagram blok dari yang dibuat menunjukkan alur kerja sistem secara keseluruhan. Input dari sistem di atas adalah kontrol dari IoT Based, kemudian perintah akan dikirimkan ke Controller yang telah menyimpan Database dari Kangkung. Perintah akan diproses dengan algoritma *Fuzzy Logic* untuk menentukan keluaran dari aktuator yang terdiri dari dua buah *Peristaltic Pump* yang berfungsi untuk mengeluarkan cairan *Nutrient A* dan *B*, dua buah *Peristaltic Pump* lain untuk menaikkan dan menurunkan kadar pH, dan Pompa AC. Air akan dialirkan ke *reservoir* dan juga ke

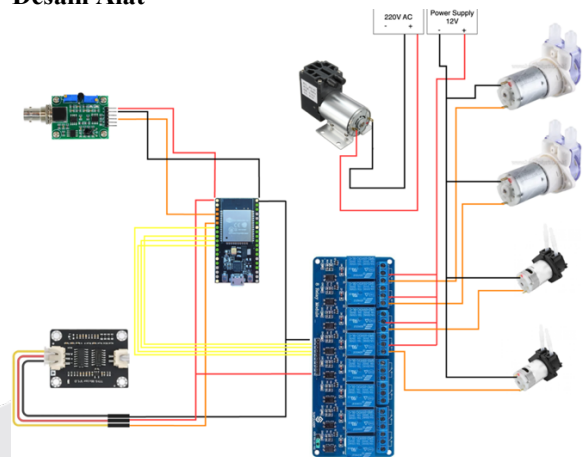
tanaman kangkung, sementara cairan *Nutrient A* dan *B* akan dipompa langsung ke saluran hidroponik dan tertahan oleh *valve*. Ketika sensor TDS pada *reservoir* mendeteksi air kekurangan kadar *nutrient*, *valve* akan terbuka sesuai dengan kebutuhan. Begitu pula dengan cairan untuk menaikkan dan menurunkan pH, cairan akan langsung dipompa ke saluran hidroponik dan akan ditahan oleh *valve*. Ketika sensor pH pada *reservoir* mendeteksi nilai kadar pH tidak sesuai maka *valve* akan terbuka agar cairan pH bisa dimasukkan sehingga nilai kadar pH akan kembali stabil.

Fungsi dan Fitur Fungsi dari alat ini adalah untuk membantu mempermudah pengguna dalam mengontrol dan memantau parameter penting dalam sistem hidroponik tanaman Kangkung dari jauh. Fitur yang terdapat pada sistem ini adalah:

- Pemantauan nutrisi untuk tanaman Kangkung dari jauh
- Pengontrolan nutrisi tanaman Kangkung secara otomatis
- Pemantauan dan pengontrolan pH pada hidroponik yang bisa dilakukan dari jarak jauh

Desain Perangkat Keras Untuk membuat hidroponik yang terintegrasi dengan IoT dan bisa mengatur kadar *nutrient* secara otomatis menggunakan algoritma *Fuzzy Logic*, diperlukan beberapa komponen seperti Mikrokontroler, Sensor pH, Sensor TDS, Pompa Peristaltik, dan Pompa AC

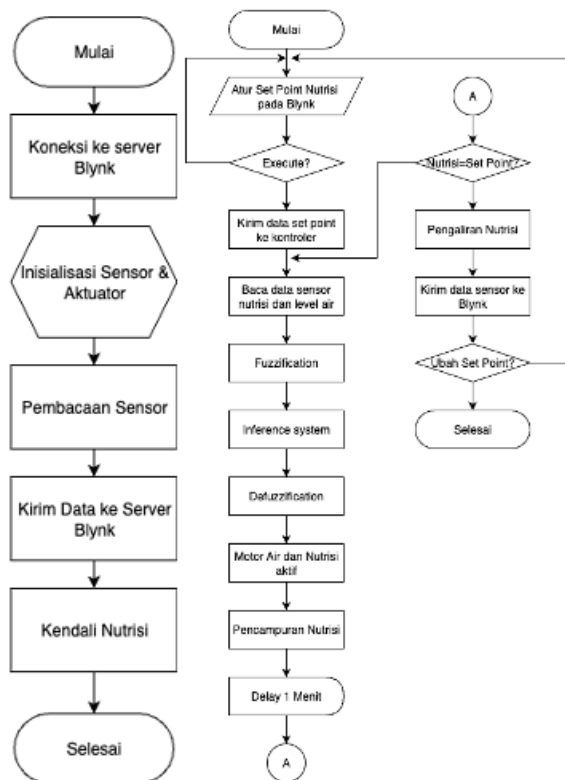
Desain Alat



Gambar 2

Gambar 2 merupakan *wiring diagram* dari perangkat yang akan digunakan pada penelitian ini. Perangkat utama dari alat sistem ini sendiri ada mikrokontroler ESP32 DOIT, SEN0244 TDS Sensor, Sensor pH4502C, Relay, Pompa AC, Pompa DC 12V, dan 12V *Peristaltic Pump*. Perangkat-perangkat ini akan dirangkai dengan perencanaan rangkaian seperti pada Gambar 2 sehingga menjadi sistem hidroponik yang bisa mengatur nutrisi dengan sendirinya.

Desain Perangkat Lunak



Gambar 3

Gambar 3 di atas merupakan diagram alur dari sistem yang dibangun secara keseluruhan, dimulai dengan mengatur *set point* pada Aplikasi Kodular, kemudian *set point* akan dikirimkan ke kontroler. Setelah itu mulai membaca nutrisi dan level air. Setelah tingkat kadar nutrisi dan tingkat ketinggian air terbaca baru sistem *fuzzy logic* akan bekerja melakukan proses *fuzzification*, *inference system*, dan *defuzzification*. Setelah seluruh proses *fuzzy logic*nya selesai barulah motor akan aktif untuk mendistribusikan nutrisi untuk dicampurkan di *reservoir*, kemudian akan ada *delay* selama 5 menit. Sebelum alat membaca apakah kadar nutrisi sudah sesuai dengan *set point* atau belum, jika belum maka akan kembali ke pembacaan nutrisi dan level ketinggian air, tetapi jika sudah mencapai *set point* maka akan lanjut ke tahap pengaliran nutrisi ke tanaman Kangkung. Kemudian jika *set point* ingin diubah akan kembali ke bagian pengaturan *set point* pada aplikasi kodular, dan jika *set point*nya tidak perlu diubah maka akan lanjut ke pemilihan mode. Di pemilihan mode ada pilihan untuk mengatur nutrisi secara manual atau mengatur nutrisi secara otomatis dengan algoritma *Fuzzy Logic*. Kalau yang dipilih adalah pengoperasian secara manual maka sistem selesai, tetapi apabila yang dipilih adalah otomatis maka akan *delay* selama 6 jam sebelum kembali ke tahap pembacaan sensor.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kalibrasi Sensor-Sensor

Kesalahan pembacaan nilai pada sensor dapat mempengaruhi hasil kerja dari alat dan juga algoritma yang dipakai. Oleh karena itu, kalibrasi sensor diperlukan dalam pembuatan alat ini untuk memastikan semua nilai yang dikeluarkan oleh sensor tepat dan akurat.

Kalibrasi Sensor TDS

Kalibrasi sensor TDS dilakukan dengan tujuan untuk menyamakan nilai pembacaan nilai TDS pada sensor dengan alat ukur yaitu TDS meter. Untuk mengkalibrasi sensor TDS peneliti menggunakan cairan nutrient untuk merubah kadar nilai PPM kemudian pembacaan sensor akan dibandingkan dengan alat ukur. Dalam proses ini dilakukan 10 kali pengujian dengan penambahan campuran nutrient A dan Nutrient B sebanyak 1ml pada tiap pengujiannya. Hasil pengujian kemudian dibandingkan dengan pengujian kedua yang sudah menggunakan regresi linear untuk mendapatkan nilai faktor kalibrasi yang ditambahkan ke program. Pada tabel di bawah juga dimasukkan nilai persentase *error* dan juga akurasi yang didapat dengan rumus-rumus berikut:

$$\text{Akurasi} = \left(1 - \frac{\text{Nilai TDS Meter} - \text{Nilai TDS Sensor}}{\text{Nilai TDS Meter}} \right) \times 100\%$$

$$\text{Error} = \frac{\text{Nilai TDS Meter} - \text{Nilai TDS Sensor}}{\text{Nilai TDS Meter}} \times 100\%$$

Tabel 1

No	Pekatan [mL]	TDS Meter [PPM]	ADC	Voltage	Tanpa Regresi Linear			Dengan Regresi Linear		
					TDS Sensor [PPM]	Error (%)	Akurasi (%)	TDS Sensor [PPM]	Error (%)	Akurasi (%)
1	0mL	220	603	0,49	367	66,8	33,2	240	9,1	90,9
2	1mL	268	752	0,61	450	67,9	32,1	276	3	97
3	2mL	309	911	0,73	538	74,1	25,9	314	1,6	98,4
4	3mL	368	1098	0,88	643	74,7	25,3	359	2,4	97,6
5	4mL	434	1326	01.07	777	79	21	417	3,9	96,1
6	5mL	492	1525	01.23	903	83,5	16,5	471	4,3	95,7
7	6mL	560	1773	01.43	1076	92,1	7,9	545	2,7	97,3
8	7mL	612	1968	01.59	1229	100,8	-0,8	611	0,2	99,8
9	8mL	667	2149	1,73	1387	107,9	-7,9	679	1,8	98,2
10	9mL	727	2297	1,85	1529	110,3	-10,3	741	1,9	98,1
Rata Rata						85,7	14,3		3,1	96,9

Dari tabel pengujian di atas, bisa dilihat bahwa sebelum sensor ditambahkan nilai faktor kalibrasi, nilai *error* sangat besar mencapai rata-rata 85,7% dan rata-rata akurasi hanya 14,3%. Oleh karena itu, nilai faktor kalibrasi sangat diperlukan untuk meningkatkan akurasi dari sensor, dan metode yang dipakai untuk mendapatkan nilai faktor kalibrasi adalah regresi linear dengan rumus:

$$\text{Kemiringan (slope)} a = \frac{n \sum (XY) - \sum X \sum Y}{n \sum (X^2) - (\sum X)^2}$$

$$\text{Intersep } b = \frac{\sum Y - a \sum X}{n}$$

$$\sum X = \text{Total Nilai TDS Sensor}$$

$$\sum Y = \text{Total Nilai TDS Meter}$$

$$\sum XY = \text{Total Hasil Perkalian Antara X Dan Y}$$

$$\sum X^2 = \text{Total Kuadrat X}$$

$$n = \text{Jumlah Percobaan}$$

Dari rumus untuk menemukan nilai faktor kalibrasi di atas, diperlukan nilai a dan b sehingga:

$$\begin{aligned} \text{Kemiringan (slope) } a &= \frac{10 \times 4,776,220 - (9909 - 4657)}{10 \times 9,389,430 - (9909)^2} \\ &\approx 0.4306 \\ \text{Intersep } b &= \frac{4657 - (0,4306 \times 9909)}{10} \\ &\approx 82.54 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan di atas, telah didapatkan nilai dari hasil Regresi Linear yaitu:

$$TDS \text{ Meter} = 0.4306 \times TDS \text{ Sensor} + 82.54$$

Setelah didapatkan nilai hasil dari regresi linear, kemudian nilai tersebut ditambahkan ke program dan mendapatkan hasil yang jauh lebih akurat. Terdapat penurunan persentase *error* dari yang sebelumnya 85,7% menjadi hanya sebesar 3,1% sementara itu untuk akurasi pembacaan dari sensor juga meningkat dari yang sebelumnya hanya 14,3% meningkat jadi 96,9%. Dari hasil pengujian di atas menunjukkan bahwa sensor sudah cukup akurat dan tidak memerlukan kalibrasi lebih lanjut.

Kalibrasi Sensor pH

Kalibrasi sensor pH dilakukan dengan tujuan untuk menyamakan nilai pembacaan sensor dengan alat ukur yaitu pH meter. Dalam proses kalibrasi sensor pH ini penulis menggunakan 3 pH buffer yang bernilai 4,01 (asam), 6,86 (netral), dan 9,18 (basa). Sebelum memulai pengujian dengan larutan buffer, sensor pH harus digroundkan dengan cara menghubungkan ujung konektor ke *body* sensor dan memutar potensiometer yang ada di sensor sampai nilai tegangan yang terbaca sebesar 2,5V dengan asumsi 2,5V adalah tegangan saat sensor mendeteksi pH 7 (netral). Setelah nilai tegangan 2,5V didapatkan barulah kabel probe dipasang dan dicelupkan ke larutan pH 4,01 (asam) begitupun pH 6,86 (netral) untuk mendapatkan nilai tegangan pada kondisi kedua pH tersebut. Nilai tegangan tersebut kemudian dipakai untuk mencari nilai pH step dengan rumus:

$$pH \text{ step} = \frac{\text{Tegangan pH 7} - \text{Tegangan pH 4}}{pH7 - pH4}$$

Karena tegangan pada pH 7 terbaca sebesar 2,85V dan pH 4 terbaca sebesar 2,34V maka perhitungannya:

$$\begin{aligned} pH \text{ step} &= \frac{2,85V - 2,34V}{7 - 4} \\ &= 0,17 \end{aligned}$$

Setelah pH step didapatkan barulah sensor bisa dipakai untuk mencoba mengukur nilai dari ketiga pH buffer, dan berikut adalah tabel hasil pengujian sensor terhadap 3 cairan pH buffer tersebut:

Tabel 2

N o	Nilai pH Buffer [pH]	pH Meter [pH]	Volta ge	AD C	Sens or pH [pH]	Error (%)	Akurasi (%)
1	4,01	4,01	2,9	3553	3,93	2,0	98,0
2	4,01	4,01	2,9	3571	3,93	2,0	98,0
3	4,01	4,01	2,9	3557	3,84	4,2	95,8

N o	Nilai pH Buffer [pH]	pH Meter [pH]	Volta ge	AD C	Sens or pH [pH]	Error (%)	Akurasi (%)
4	4,01	4,01	2,8	3531	3,91	2,5	97,5
5	4,01	4,01	2,9	3549	4,03	0,5	99,5
6	6,86	6,86	2,3	2874	7,18	4,7	95,3
7	6,86	6,86	2,3	2855	7,14	4,1	95,9
8	6,86	6,86	2,3	2865	7,23	5,4	94,6
9	6,86	6,86	2,3	2873	7,19	4,8	95,2
10	6,86	6,86	2,3	2869	7,15	4,2	95,8
11	9,18	9,18	2	2433	9,23	0,5	99,5
12	9,18	9,18	2	2437	9,23	0,5	99,5
13	9,18	9,18	2	2434	9,22	0,4	99,6
14	9,18	9,18	2	2438	9,23	0,5	99,5
15	9,18	9,18	2	2439	9,21	0,3	99,7
Rata-Rata						2,5	97,5

Dari hasil pengujian 3 cairan buffer dan pencatatan 5 nilai pembacaan yang muncul di serial monitor untuk tiap-tiap pH Buffer, nilai persentase *error* dan juga akurasi bisa didapatkan dengan memasukkan nilai pembacaan pH meter dan nilai pembacaan pH sensor ke dalam rumus:

$$\text{Error} = \frac{\text{Nilai pH Meter} - \text{Nilai pH Sensor}}{\text{Nilai pH Meter}} \times 100\%$$

$$\text{Akurasi} = \left(1 - \frac{\text{Nilai pH Meter} - \text{Nilai pH Sensor}}{\text{Nilai pH Meter}} \right) \times 100\%$$

Dengan rumus di atas didapatkan nilai *error* yang hanya sebesar 2,5% dengan akurasi yang mencapai 97,5%. Dari hasil itu bisa disimpulkan bahwa kalibrasi lebih lanjut tidak perlu dilakukan karena tingkat akurasi sudah terbilang cukup baik.

Simulasi Algoritma

Sistem kendali yang digunakan adalah *Fuzzy Logic* dengan model Mamdani dan sistem ini bersifat *closed loop*. Perancangan *fuzzy* dimulai dengan membuat simulasi pada aplikasi MatLab. Metode *Fuzzy Logic* ini dipilih karena berdasarkan penelitian terdahulu, *fuzzy logic* terbukti menghasilkan *error* yang kecil. Sistem ini memiliki 2 input yaitu Kadar nutrisi (iNutrient) yang dibaca oleh sensor TDS dalam satuan PPM dan juga kadar Ph (iPh) yang dibaca oleh sensor pH. Input *membership* nutrisi (iNutrient) diambil dari penelitian terdahulu [37] karena Input *membership* yang dipakai sudah terbukti bisa meningkatkan pertumbuhan tanaman hidroponik. Sementara untuk pH dibuat sendiri

berdasarkan dari literatur studi yang meneliti tentang kebutuhan pH untuk tanaman kangkung.

Sistem ini memiliki 3 output. Output pertama yaitu durasi penyalan dc waterpump untuk memompa cairan nutrisi AB mix ke dalam *reservoir*. Rentang untuk nilai output dari nutrisi (iNutrient) dibedakan dari penelitian terdahulu dikarenakan menggunakan jenis pompa yang berbeda oleh karena itu nilainya disesuaikan ulang. Berdasarkan spesifikasi debit pompa 12V sebesar 1,5-2L per menit bisa dihitung debit per detiknya yaitu sebesar 25-33ml per detik dan dikarenakan nutrisi A dan nutrisi B jika digabungkan secara langsung akan menghasilkan endapan *gypsum* ($CaSO_4$) dan endapan kalium fosfat ($Ca_3(PO_4)_2$) pompa yang digunakan untuk memompa cairan nutrisi A dan B harus dipisah untuk mencegah kerusakan pada pompa karena menyedot endapan juga nutrisi yang mengendap dapat membuat tanaman hidroponik tidak bisa mendapatkan nutrisi yang cukup maka pompa berbeda akan digunakan untuk masing masing cairan nutrisi. Penambahan 33 ml nutrisi A dan 33ml nutrisi B pada 15L air menghasilkan kenaikan ppm sebesar 415. Output kedua adalah durasi penyalan peristaltik pump untuk cairan pH up, pompa yang digunakan untuk pH up ini adalah peristaltik pump dikarenakan perubahan pH sangatlah sensitif dan membutuhkan tingkat akurasi yang lebih tinggi. Kenaikan pH juga bersifat tidak linear karena cairan nutrisi dapat mempengaruhi nilai pH dan juga bisa mempengaruhi nilai peningkatan pH. Berdasarkan spesifikasi dari pompa peristaltik yaitu 80ml per menit didapatkan debit per detiknya 1,3 ml dan didapatkan peningkatan pH sebesar 0,2 pada ppm 700 dengan penambahan 2,5ml cairan pH up atau 2 detik pompa peristaltik menyala. Kemudian untuk Output yang terakhir adalah pH Down, output ini juga menggunakan pompa peristaltik karena membutuhkan akurasi yang baik sama seperti pH up.

Fuzzy mapping rules dapat dibuat berdasarkan input dan output yang telah ditentukan. Mapping dirancang untuk menentukan perlakuan yang harus diberikan terhadap output nutrisi dan output pH berdasarkan input yang diterima.

Tabel 3

I F	iNutrisi	A N D	ipH	T H E N	oNutrisi	opH Naik	opHT urun
	Rendah		Rendah		Sangat_Sangat_Tinggi	Tinggi	Kosong
	Rendah		Sedang_Rendah		Sangat_Sangat_Tinggi	Sedang	Kosong
	Rendah		Cukup		Sangat_Tinggi	Kosong	Kosong
	Rendah		Sedang_Tinggi		Sangat_Tinggi	Kosong	Sedang
	Rendah		Tinggi		Tinggi	Kosong	Tinggi
	Sedang		Rendah		Sangat_Tinggi	Tinggi	Kosong
	Sedang		Sedang_Rendah		Tinggi	Sedang	Kosong
	Sedang		Cukup		Tinggi	Kosong	Kosong
	Sedang		Sedang_Tinggi		Sedang	Kosong	Sedang

Sedang	Tinggi	Sedang	Kosong	Tinggi
Tinggi	Rendah	Rendah	Sedang	Kosong
Tinggi	Sedang_Rendah	Rendah	Sedang	Kosong
Tinggi	Cukup	Rendah	Kosong	Kosong
Tinggi	Sedang_Tinggi	Rendah	Kosong	Sedang
Tinggi	Tinggi	Rendah	Kosong	Tinggi
Cukup	Rendah	Cukup	Sedang	Kosong
Cukup	Sedang_Rendah	Cukup	Sedang	Kosong
Cukup	Cukup	Cukup	Kosong	Kosong
Cukup	Sedang_Tinggi	Cukup	Kosong	Sedang
Cukup	Tinggi	Cukup	Kosong	Tinggi

Desain Aplikasi

Sistem ini dirancang untuk terhubung ke internet untuk menampilkan data kadar nutrisi dan pH pada *reservoir* juga untuk mengatur *setpoint* nutrisi dan juga pH pada sistem. Aplikasi dibuat dengan blynk, pengaturan *Setpoint* nutrisi dan juga pH diatur dengan *slider*.

Pengujian Alat

Pengontrolan sistem dilakukan dengan *Fuzzy Logic* untuk mengatur durasi nyala pompa untuk 3 Output berbeda yaitu pompa nutrisi, pompa pH up, Pompa pH Down dalam satuan detik. Pengujian kendali dilakukan untuk membandingkan output dari simulasi pada matlab dengan realisasi sistem. Data hasil pengujian sistem bisa dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4

N O	Input		Output Nutrisi				Output pH			
	Offset Nutrisi [PPM]	Offset pH [pH]	Output Mat lab [s]	Output Sistem [s]	Akurasi [%]	Error [%]	Output Mat lab [s]	Output Sistem [s]	Akurasi [%]	Error [%]
1	-21	-0,139	1,16	1,159	99,91	0,09	3,94	4	98,48	1,52
2	-90,3	-0,162	1,41	1,413	99,79	0,21	3,95	4	98,73	1,27
3	-125	-0,232	1,71	1,707	99,82	0,18	3,99	4	99,75	0,25
4	-160	-0,522	2,13	2,129	99,95	0,05	10,1	10,021	99,22	0,78
5	-183	-0,788	2,24	2,235	99,78	0,22	10,5	10,472	99,73	0,27

NO	Input		Output Nutrisi				Output pH			
	Offset Nutrisi [PPM]	Offset pH [pH]	Output Mat lab [s]	Output Sistem [s]	Akurasi [%]	Error [%]	Output Mat lab [s]	Output Sistem [s]	Akurasi [%]	Error [%]
6	7,95	0,0464	0,962	0,964	99,79	0,21	3,77	3,998	93,95	6,05
7	45,5	0,209	0,105	0,114	91,43	8,57	3,95	3,996	98,84	1,16
8	97,5	0,359	0,0912	0,1	90,35	9,65	4	4	100	0
9	138	0,638	0,102	0,111	91,18	8,82	10,3	10,259	99,6	0,4
10	178	0,87	0,0808	0,091	87,38	12,62	10,6	10,592	99,92	0,08
Rata-Rata					95,94	4,06			98,82	1,18

Pengujian alat dilakukan dalam 10 kali percobaan dengan nilai offset yang berbeda-beda dan didapatkan bahwa akurasi dari output sistem dibandingkan dengan output dari MATLAB terbukti mendapat hasil yang sangat baik. Untuk output nutrisi rata-rata error hanya 4,09% dengan nilai error terbesar tidak sampai 5%. Sementara output pH menunjukkan rata-rata yang lebih baik lagi, yaitu hanya 1,18% dengan nilai error terbesar tidak sampai 5%. Data di atas menunjukkan bahwa performa alat yang dibuat hampir mendekati sempurna seperti pada simulasi.

Pengujian Pertumbuhan Tanaman

Pengujian pertumbuhan tanaman dilakukan dengan membandingkan 40 tanaman kangkung hidroponik yang mendapatkan perlakuan sama mulai dari penyemaian, pemberian air, dan nutrisi. Kemudian setelah usia semai berumur 10 hari, tanaman dibagi menjadi 2 dan mulai dipindahkan ke hidroponik yang berbeda. Hidroponik pertama dipasangkan sistem untuk mengendalikan kadar nutrisi (PPM) dan juga kadar pH secara otomatis dengan *fuzzy logic*, sementara hidroponik yang kedua pemberian nutrisi dan juga pengontrolan pH nya masih diatur secara manual. Pengamatan dilakukan selama 21 hari dan pengambilan data ketinggian tumbuhan, jumlah daun, dan pemantauan kadar nutrisi dan pH untuk hidroponik yang manual dilakukan setiap jam 15.00 WIB.

Tabel 5

NO	Parameter Analisis	Dengan Algoritma	Tanpa Algoritma
1	Rata-Rata Ketinggian Pada Hari Pertama (cm)	8,8 cm	9,1 cm
	Rata-Rata Ketinggian Pada Hari Terakhir (cm)	21,8 cm	18,5 cm
	Rata-Rata Selisih Ketinggian (cm)	13 cm	9,4 cm
2	Rata-Rata Jumlah Daun Pada Hari Pertama	10,3	11,05

NO	Parameter Analisis	Dengan Algoritma	Tanpa Algoritma
	Rata-Rata Jumlah Daun Pada Hari Terakhir	21,45	20,4
	Rata-Rata Selisih Jumlah Daun	11,15	9,35

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa rata-rata ketinggian meningkat walau tidak terlalu signifikan, begitupun dengan rata-rata selisih jumlah daun.

V. KESIMPULAN

Dari penelitian yang dilakukan, sistem hidroponik berbasis *fuzzy logic* berhasil diimplementasikan. Kendali *fuzzy logic* mendapatkan akurasi yang cukup baik yaitu 95,94% untuk kendali nutrisi dan 98,82% untuk kendali pH. Simulasi algoritma *Fuzzy Logic* pada MATLAB menghasilkan performa yang mendekati ideal, dan pengujian alat menunjukkan akurasi yang sangat baik antara output sistem dengan output simulasi, dengan rata-rata *error* output nutrisi sebesar 4,06% dan output pH sebesar 1,18%. Ini mengindikasikan bahwa sistem mampu mengontrol pemberian nutrisi dan pengaturan pH secara presisi. Penerapan sistem otomatisasi nutrisi dan pH dengan *Fuzzy Logic* terbukti meningkatkan pertumbuhan tanaman kangkung secara signifikan. Tanaman yang ditanam dengan algoritma *Fuzzy Logic* menunjukkan rata-rata selisih ketinggian 13 cm dan rata-rata selisih jumlah daun 11,15 lebih tinggi dibandingkan dengan tanaman yang diatur secara manual. Sistem berbasis IoT dengan metode *Fuzzy Logic* berhasil diimplementasikan untuk mengatur kadar nutrisi dan pH pada tanaman kangkung. Implementasi ini mencakup penggunaan sensor TDS untuk memantau kadar nutrisi dan sensor pH untuk memantau pH air, yang kemudian datanya diproses oleh mikrokontroler ESP32. Algoritma *Fuzzy Logic*, yang dirancang melalui simulasi pada MATLAB, digunakan untuk menentukan durasi penyalan pompa nutrisi, pompa pH *up*, dan pompa pH *down*, memastikan kadar nutrisi dan pH berada pada rentang optimal untuk pertumbuhan kangkung. Sistem ini juga dilengkapi dengan antarmuka berbasis IoT melalui aplikasi Blynk yang memungkinkan pengguna untuk memantau data sensor dan mengatur *setpoint* nutrisi serta pH dari jarak jauh.

REFERENSI

- [1] V. Suresh, T. Logasundari, V. S. Sravani, M. Ali, and S. Srinivasan, "IoT-Based Automated Indoor Hydroponic Farming System," in ICSGET 2024, E3S Web of Conferences, vol. 547, pp. 1-9, 2024, doi: 10.1051/e3sconf/202454702002.
- [2] R. de Sousa, L. Bragança, M. V. da Silva, and R. S. Oliveira, "Challenges and Solutions for Sustainable Food Systems: The Potential of Home Hydroponics," Sustainability, vol. 16, no. 2, 817, pp. 1-22, Jan. 2024. doi: 10.3390/su16020817.
- [3] L. Khatri, A. Kunwar, and D. R. Bist, "Hydroponics: Advantages and Challenges in Soilless Farming," Big Data in Agriculture, vol. 6, no. 2, pp. 81-88, Jul. 2024, doi: 10.26480/bda.02.2024.81.88.
- [4] O. A. Ogbolumani and B. Mabaso, "An IoT-Based Hydroponic Monitoring and Control System for Sustainable Food Production," Journal of Sustainable Food and

Environmental Water Systems (JDFEWS), vol. 4, no. 2, pp. 106-140, Dec. 2023, doi: 10.2709/jdfews.v4n2.2023.01.

[5] S. D. Putra, H. Heriansyah, E. F. Cahyadi, K. Anggriani, and M. H. Imron S. Jaya, "Development of Smart Hydroponics System Using AI-Based Sensing," *Jurnal Infotel*, vol. 16, no. 3, pp. 1-12, Aug. 2024. doi: 10.20895/INFOTEL.V16I3.1190.

[6] S. A. Wibowo, K. A. Widodo, and D. Rudhistiar, "Smart Farming System untuk Tanaman Hidroponik Berbasis Internet of Things," *Jurnal Bumigora Information Technology (BITe)*, vol. 5, no. 1, pp. 17-30, 2023. doi: 10.30812/bitte/v5i1.2691.

[7] W. J. M. Lommen, "The Canon of Potato Science: 27. Hydroponics," *European Potato Journal*, vol. 50, no. 3-4, Jul. 2007. doi: 10.1007/s11540-008-9053-x.

[8] B. Thapa, P. Bhandari, R. G.C, Y. Acharya, and S. Phuyal, "Application of Hydroponic System," *KEC Journal of Science and Engineering*, vol. 8, no. 1, pp. 33-37, Aug. 2024.

[9] N. Sharma, S. Acharya, K. Kumar, N. Singh, and O. P. Chaurasia, "Hydroponics as an advanced technique for vegetable production: An overview," *Journal of Soil and Water Conservation*, vol. 17, no. 4, pp. 364-371, Oct.-Dec. 2018. doi: 10.5958/2455-7145.2018.00056.5.

[10] T. Malinina, V. Novikov, and M. S. Molokanova, "Hydroponics as an Alternative to Growing Planting Material," *Actual Directions of Scientific Research*, vol. 8, no. 1, pp. 91-94, Oct. 2020. doi: 10.34220/2308-8877-2020-8-1-91-94.

[11] Envirevo Agritech, "Nutrient Film Technique: A Comprehensive Guide," [Online]. Available: <https://envirevoagritech.com/nutrient-film-technique-comprehensive-guide/>. [Accessed: Oct. 1, 2024].

[12] S. Mohammed, "Introduction to Nutrient Film Technique: 'NFT Hydroponics' - Grow within Your Budget," in *Tomorrow's Agriculture*, pp. 7-11, Sep. 2018. doi: 10.1007/978-3-319-99202-0_2.

[13] Ponics Life, "Nutrient Film Technique (NFT): A Complete System Guide," [Online]. Available: <https://ponicslife.com/nutrient-film-technique-nft-a-complete-system-guide/>. [Accessed: Jan. 2, 2025].

[14] Pure Greens AZ, "The Benefits of Nutrient Film Technique (NFT) Hydroponic Systems," [Online]. Available: <https://puregreensaz.com/blog/the-benefits-of-nutrient-film-technique-nft-hydroponic-systems/>. [Accessed: Jan. 2, 2025].

[15] Pure Greens AZ, "Nutrient Film Technique," [Online]. Available: <https://puregreensaz.com/blog/nutrient-film-technique/>. [Accessed: Jan. 2, 2025].

[16] Go Green Aquaponics, "Nutrient Film Technique in Aquaponics," [Online]. Available: <https://gogreenaquaponics.com/blogs/news/nutrient-film-technique-in-aquaponics/>. [Accessed: Jan. 2, 2025].

[17] Benhorti, "Hydroponic Systems: Pros & Cons," [Online]. Available: <https://benhorti.com/blogs/news/hydroponic-systems-pros-cons/>. [Accessed: Jan. 2, 2025].

[18] S. Mashumah, "Rancang Bangun Hidroponik Nutrient Film Technique Menggunakan Kontrol Logika Fuzzy Berbasis Konduktivitas Listrik dan Citra," M.Sc. thesis, Dept. Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia, 2018.

[19] A. I. Oktavira, D. F. Suarman, F. A. Rifyant, and R. Fevria, "Application of the Nutrient Film Technique (NFT) Hydroponic System in Water Spinach Cultivation (*Ipomoea sp.*)," *Serambi Biologi*, vol. 7, no. 2, pp. 157-162, 2022.

[20] Afrijal, F. A. Syuhada, R. Jarlis, and V. Hendrita, "Techniques for Cultivating Land Kale (*Ipomea reptans* Poir) Organically at CV. Faruq Farm," *Jurnal Agriness*, vol. 2, no. 1, pp. 7-12, Jul. 2024. doi: 10.24036/agriness.v2i1.34.

[21] P. Joshi, A. Kumari, A. K. Chauhan, and M. Singh, "Development of Water Spinach Powder and Its Characterization," *Journal of Food Science and Technology*, vol. 58, pp. 13197-13199, Mar. 2021. doi: 10.1007/s13197-021-05058-9.

[22] H. M. S. Amir, N. A. Sulaiman, J. M. H. Abdillah, M. Zainuddin, F. Huyop, U. H. M. Razali, N. Q. I. M. Nordin, J. S. Simamora, and N. Huda, "Macronutrient Concentration in Stem, Leaf and Petiole of Wild Grown Water Spinach (*Ipomoea aquatica* Forsk.) and Its Relationship With Pond Water," *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 709, pp. 012080, 2021. doi: 10.1088/1755-1315/709/1/012080.

[23] R. Fevria, S. Aliciafarma, Vauzia, and Edwin, "Comparison of Nutritional Content of Water Spinach (*Ipomoea aquatica*) Cultivated Hydroponically and Non-Hydroponically," *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1940, pp. 012049, 2021. doi: 10.1088/1742-6596/1940/1/012049.

[24] N. D. Thi and E.-S. Hwang, "Effects of different cooking methods on bioactive compound content and antioxidant activity of water spinach (*Ipomoea aquatica*)," *Food Science and Biotechnology*, vol. 24, no. 3, pp. 799-806, Jun. 2015. doi: 10.1007/s10068-015-0104-1.

[25] K. Saikia, S. Dey, S. N. Hazarika, G. K. Handique, D. Thakur, and A. K. Handique, "Chemical and biochemical characterization of *Ipomoea aquatica*: genoprotective potential and inhibitory mechanism of its phytochemicals against α -amylase and α -glucosidase," *Frontiers in Nutrition*, vol. 10, Dec. 2023. doi: 10.3389/fnut.2023.1304903.

[26] U.-J. Yang, S.-R. Yoon, J.-H. Chung, Y. J. Kim, K.-H. Park, T.-S. Park, and S.-M. Shim, "Water spinach (*Ipomoea aquatica* Forsk.) reduced the absorption of heavy metals in an in vitro bio-mimicking model system," *Food and Chemical Toxicology*, vol. 50, no. 10, pp. 3814-3821, Oct. 2012. doi: 10.1016/j.fct.2012.07.020.

[27] M. Masriah, "Pengaruh Berbagai Perlakuan Nutrisi Larutan Hidroponik pada Pertumbuhan Tanaman Kangkung (*Ipomoea aquatica*)," *BIOSCIENTIAE*, vol. 17, no. 2, p. 47, Jun. 2021. doi: 10.20527/b.v17i2.3452.

[28] O. Z. Nafiah, P. Nugrahani, and Makhziah, "The Effect of Hydroponic Nutrient Sources and Planting Media Types on the Growth and Production of Chinese Kale (*Brassica oleracea* L.)," *J. Teknik Pertanian Lampung*, vol. 12, no. 2, pp. 443-457, 2023. doi: 10.23960/jtep-l.v12i2.443-457.

[29] C. W. B. Yanti, R. Dermawan, N. S. Nafsi, Rafiuddin, A. H. Bahrin, A. Mollah, and A. Arafat, "Response of kale (*Brassica alboglabra* L.) to various planting media and application of liquid inorganic nutrition in DWC (deep water culture) hydroponic systems," *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, vol. 486, pp. 012113, 2020. doi: 10.1088/1755-1315/486/1/012113.

[30] W. Petroski and D. M. Minich, "Is there such a thing as 'anti-nutrients'? A narrative review of perceived problematic plant compounds," *Nutrients*, vol. 12, no. 10, p. 2929, Sep. 2020. doi: 10.3390/nu12102929.

[31] A. S. Widyawati, "Pertumbuhan dan Kualitas Tanaman Kangkung (*Ipomoea reptans* Poir.) Menggunakan Teknologi Hidroponik NFT dengan Penambahan Kalsium Klorida (CaCl_2)," Bachelor's thesis, Dept. Biology, UIN Syarif Hidayatullah Jakarta, 2023.

[32] R. A. Panjaitan and I. Suharjo, "Prototype Sistem Pemberian Nutrisi Otomatis pada Tanaman Hidroponik Selada dengan Wick System Berbasis Internet of Thing (IoT)," *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, vol. 12, no. 2, Apr. 2024. doi: 10.23960/jitet.v12i2.4063.

[33] E. K. Pramartaningthyas, S. Ma'shumah, and M. I. Fuad, "Analisis Performa Sistem Kendali pH dan TDS Terlarut Berbasis Internet of Things pada Sistem Hidroponik DFT," *Jurnal Resistor*, vol. 5, no. 1, Apr. 2022.

[34] E. E. Efendi and D. Murdono, "Pengaruh Variasi Electrical Conductivity (EC) Larutan Nutrisi Hidroponik Rakit Apung pada Fase Vegetatif Cepat terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Sawi Pakcoy (*Brassica rapa* L.)," *Jurnal Agrifor*, vol. XX, no. 2, pp. 325–329, Oct. 2021.

[35] Rizal and R. Inggi, "Perancangan Alat Pengontrol Ketinggian Air dan Penyiraman Tanaman Secara Otomatis Berbasis Arduino pada Media Tanam Hidroponik," *SIMKOM*, vol. 5, no. 2, pp. 28–32, Oct. 2020.

[36] P. F. da Silva et al., "Effect of Electrical Conductivity Levels and Hydrogen Peroxide Priming on Nutrient Solution Uptake by Chives in a Hydroponic System," *Agriculture*, vol. 13, no. 1346, Jul. 2023. doi: 10.3390/agriculture13071346.

[37] F. Suryatini, S. Pancono, S. B. Bhaskoro, and P. M. S. Muljono, "Sistem Kendali Nutrisi Hidroponik berbasis Fuzzy Logic berdasarkan Objek Tanam," *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, vol. 9, no. 2, pp. 263–278, Apr. 2021. doi: 10.26760/elkomika.v9i2.263.

[38] A. W. Awaludin, D. Hamdani, and N. Nugraha, "Pengembangan Sistem Otomatisasi Tanaman Hidroponik dengan Algoritma PID Berbasis Mikrokontroler," *Scientific Exploration: Journal of Indonesian Academic Research*, vol. 1, no. 1, pp. 1–10, Nov. 2023. doi: 10.25134/scientificexploration.v1i1.1.

[39] N. S. Wibowo, M. Aziziah, I. G. Wiryawan, and E. Rosdiana, "Desain Sistem Informasi Monitoring Nutrisi Tanaman Hidroponik Kangkung dengan Menggunakan Metode Regresi Linear," *Jurnal Ilmiah Informatika*, vol. 22, no. 1, pp. 51–56, Apr. 2022. doi: 10.25047/jii.v22i1.3115.

[40] I. Dzitac, F. G. Filip, and M. J. Manolescu, "Fuzzy Logic Is Not Fuzzy: World-renowned Computer Scientist Lotfi A. Zadeh," *International Journal of Computers Communications & Control*, vol. 12, no. 6, pp. 748–789, Dec. 2017.

[41] V. F. Popescu and M. S. Pistol, "Fuzzy logic expert system for evaluating the activity of university teachers," *International Journal of Assessment Tools in Education*, vol. 8, no. 4, pp. 991–1008, 2021. doi: 10.21449/ijate.1025690.

[42] Omega Engineering, "PID, Fuzzy Logic and Adaptive Control," *Technical Learning*, [Online]. Available: [https://www.omega.co.uk/technical-learning/pid-](https://www.omega.co.uk/technical-learning/pid-fuzzy-logic-adaptive-control.html)

[fuzzy-logic-adaptive-control.html](https://www.omega.co.uk/technical-learning/pid-fuzzy-logic-adaptive-control.html). [Accessed: 04-Jan-2025].

[43] N. Tri and N. N. Khoat, "Research on a Sugeno Fuzzy Logic Controller Compared to a Mamdani-Based PI-Type Fuzzy Logic Inference Model," *UD - Journal of Science and Technology: Issue on Information and Communications Technology*, vol. 20, no. 6.2, pp. 57–62, Jun. 2022, doi: 10.31130/ud-jst.2022.177ICT.