
Optimalisasi Pertumbuhan Pada Sayuran Hidroponik Nutrient Film Technique Dengan Metode Fuzzy Logic Berbasis Internet of Things

Akhmad Wahyu Dani
Teknik Elektro
Universitas Mercu Buana
Jakarta, Indonesia
wahyu.dani@mercubuana.ac.id

Abstrak — Pada tahun 2015 persentase penduduk di daerah perkotaan sebesar 53,3%, proyeksi pertumbuhan penduduk di daerah perkotaan pada tahun 2030 yaitu sebesar 63,4% dan pada tahun 2045 diproyeksikan sebesar 72,9%. Dengan meningkatnya pertumbuhan penduduk akan berdampak pada meningkatnya kebutuhan penunjang kehidupan, salah satunya yaitu kebutuhan akan sayuran.

Dengan berkurangnya lahan tanam sayuran dan meningkatnya kebutuhan sayuran maka diperlukan model budidaya sayuran yang dapat diterapkan di daerah pemukiman maupun di daerah perkotaan. Salah satu model budidaya sayuran yang dapat diterapkan yaitu sistem hidroponik nutrient film technique (NFT). Oleh karena itu dirancang sebuah sistem yang dapat mengoptimalkan pertumbuhan sayuran pada hidroponik NFT yang dapat mengendalikan kadar nutrisi, keasaman, dan suhu udara secara otomatis yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan tanaman menggunakan fuzzy logic. Dalam sistem juga dilengkapi dengan koneksi internet sehingga hidroponik dapat dipantau dari mana saja dengan koneksi internet.

Berdasarkan hasil pengujian pada hidroponik NFT sistem kendali fuzzy logic dapat mengoptimalkan pertumbuhan sayuran. Sayuran pada hidroponik NFT terkendali fuzzy logic lebih tinggi daripada sayuran pada hidroponik NFT tanpa kendali fuzzy logic. Lebar daun sayuran pada hidroponik NFT terkendali fuzzy logic lebih lebar daripada sayuran pada hidroponik NFT tanpa kendali fuzzy logic.

Kata Kunci— *Hidroponik NFT, Nutrisi, pH, Suhu, FIS Sugeno, Internet of Things.*

I. PENDAHULUAN

Pada tahun 2015 persentase penduduk di daerah perkotaan sebesar 53,3%, proyeksi pertumbuhan penduduk di daerah perkotaan pada tahun 2030 yaitu sebesar 63,4% dan pada tahun 2045 diproyeksikan sebesar 72,9% (Bappenas, 2018). Pertumbuhan penduduk yang begitu besar ini dapat mempengaruhi seluruh sektor kehidupan, salah satunya yaitu sektor pertanian. Lahan tanam semakin menyempit dialih fungsikan menjadi pemukiman penduduk. Dengan berkurangnya lahan tanam sayuran dan meningkatnya kebutuhan sayuran maka diperlukan model budidaya sayuran yang memungkinkan dapat diterapkan di daerah pemukiman maupun di daerah perkotaan. Salah satu model budidaya sayuran yang dapat diterapkan yaitu sistem hidroponik nutrient film technique (NFT). Hidroponik NFT merupakan sistem hidroponik dengan teknik pemberian larutan nutrisi melalui aliran air dengan arus yang pelan dan dangkal supaya bagian atas akar mendapat oksigen yang cukup dan tercipta lapisan tipis (film) larutan mineral dan nutrisi di sekitar akar (Pancawati & Yulianto, 2016).

Dalam budidaya sayuran hidroponik perlu diperhatikan faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman. Faktor tersebut antara lain yaitu derajat keasaman atau kebasaaan air media tanam, pasokan nutrisi yang diserap melalui akar tanaman, dan suhu udara lingkungan media tanam. Dalam praktiknya setelah disesuaikan dengan kebutuhan sayuran nilai faktor-faktor tersebut dapat berubah secara terus menerus, maka diperlukan sistem kendali yang dapat mengatur nilai-nilai faktor kebutuhan sayuran secara otomatis. Salah satu sistem kendali yang dapat diterapkan dalam budidaya sayuran hidroponik tersebut adalah sistem fuzzy. Logika fuzzy mudah diterapkan

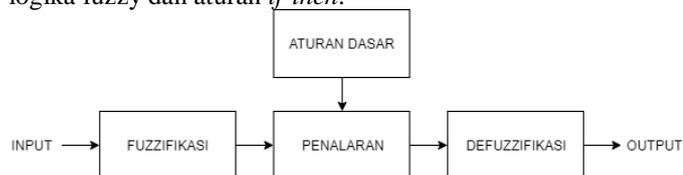
karena sederhana dan dapat mengikuti proses kontrol yang dilakukan manusia. Sistem kendali kuno hanya dapat mengendalikan dan memantau sistem dari lokasi sistem itu terpasang sehingga akan mempersulit kendali dan pemantauan jika pengguna sistem tidak berada dilokasi dimana sistem itu terpasang. Pada pertanian modern digunakan jaringan internet untuk mempermudah perawatan pada lahan pertanian. Kondisi lahan pertanian dapat dipatau secara langsung dari mana saja melalui jaringan internet.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Logika Fuzzy

Fuzzy secara bahasa diartikan kabur atau samar-samar. Dalam logika fuzzy memiliki derajat keanggotaan yang memiliki rentang nilai 0 hingga 1. Logika fuzzy digunakan untuk menterjemahkan suatu besaran yang diekspresikan menggunakan bahasa (linguistic), misalkan besaran kecepatan laju kendaraan yang diekspresikan dengan pelan, agak cepat, cepat dan sangat cepat. Logika fuzzy menunjukkan sejauh mana suatu nilai itu benar dan sejauh mana suatu nilai itu salah. Tidak seperti logika klasik, suatu nilai hanya mempunyai 2 kemungkinan yaitu merupakan suatu anggota himpunan atau tidak. Derajat keanggotaan 0 (nol) artinya nilai bukan merupakan anggota himpunan dan 1 (satu) berarti nilai tersebut adalah anggota himpunan (Kurniati, Triyanto, & Rismawan, 2017).

Sistem inferensi fuzzy adalah proses memformulasikan pemetaan dari input yang diberikan ke sebuah output dengan menggunakan logika fuzzy. Sistem ini melibatkan logika fuzzy dan komponen di dalamnya seperti fungsi keanggotaan, operasi logika fuzzy dan aturan *if-then*.



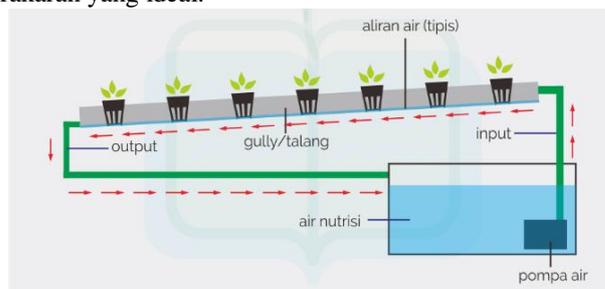
Gambar 1 Blok Diagram Logika Fuzzy
(Sumber : Kurniati, Triyanto, & Rismawan, 2017)

Gambar 1 merupakan blok diagram logika fuzzy yang dimulai dari input, fuzzifikasi, kemudian penalaran menggunakan aturan-aturan yang telah ditentukan, lalu defuzzifikasi dan yang terakhir yaitu output.

B. Hidroponik Nutrient Film Technique

Kultur hidroponik adalah metode penanaman tanaman tanpa menggunakan media tumbuh dari tanah. Secara harafiah hidroponik berarti penanaman dalam air yang mengandung campuran hara. Dalam praktek sekarang ini, hidroponik tidak terlepas dari penggunaan media tumbuh lain yang bukan tanah sebagai penopang pertumbuhan tanaman. Sistem hidroponik

merupakan cara produksi tanaman yang sangat efektif. Sistem ini dikembangkan berdasarkan alasan bahwa jika tanaman diberi kondisi pertumbuhan yang optimal, maka potensi maksimum untuk berproduksi dapat tercapai. Hal ini berhubungan dengan pertumbuhan sistem perakaran tanaman, di mana pertumbuhan perakaran tanaman yang optimum akan menghasilkan pertumbuhan tunas atau bagian atas yang sangat tinggi. Pada sistem hidroponik, larutan nutrisi yang diberikan mengandung komposisi garam-garam organik yang berimbang untuk menumbuhkan perakaran dengan kondisi lingkungan perakaran yang ideal.



Gambar 2 Skema Sistem Hidroponik NFT
(Sumber : Hidroponikpedia.com).

C. Sayuran Pakcoy

Pakcoy merupakan salah satu jenis kelompok sayuran sawi yang telah dibudidayakan sejak abad ke-5. Tanaman ini merupakan salah satu sayuran penting Asia, khususnya di Cina. Tanaman ini memiliki daun yang bertangkai, daun berbentuk agak oval berwarna hijau tua dan mengkilap, tidak membentuk kepala, tumbuh agak tegak atau setengah mendatar.

Suhu udara yang baik untuk pertumbuhan pakcoy adalah daerah yang mempunyai suhu malam hari 15,6°C dan siang hari 21,1°C, lebih atau kurang dari suhu tersebut tanaman pakcoy tidak dapat tumbuh dengan baik. Hal tersebut dikarenakan suhu udara yang sangat berpengaruh pada pertumbuhan pakcoy. Ketidaksesuaian suhu akan mengakibatkan terhambatnya proses fotosintesis yang dapat mengakibatkan terhentinya produksi pati (karbohidrat) dan respirasi meningkat lebih besar. Dan sebaliknya jika pada suhu yang sesuai maka tanaman sawi dapat melakukan fotosintesis dengan baik untuk pembentukan karbohidrat dalam jumlah yang besar, sehingga sumber energi lebih tersedia untuk proses pernapasan (respirasi), pertumbuhan tanaman (pembesaran dan pembentukan sel-sel baru, pembentukan daun), dan produksi (kualitas daun baik).

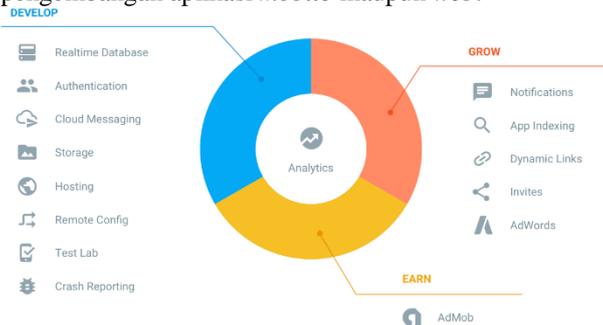
Tabel pH dan PPM untuk Sayuran Daun		
Nama Sayuran	pH	PPM
Artichoke	6.5 - 7.5	560 - 1260
Asparagus	6.0 - 6.8	980 - 1200
Bawang Pre	6.5 - 7.0	980 - 1260
Bayam	6.0 - 7.0	1260 - 1610
Brokoli	6.0 - 6.8	1960 - 2450
Brussell Kecambah	6.5	1750 - 2100
Endive	5.5	1400 - 1680
Kailan	5.5 - 6.5	1050 - 1400
Kangkung	5.5 - 6.5	1050 - 1400
Kubis	6.5 - 7.0	1750 - 2100
Kubis Bunga	6.5 - 7.0	1750 - 2100
Pakcoy	7.0	1050 - 1400
Sawi Manis	5.5 - 6.5	1050 - 1400
Sawi Pahit	6.0 - 6.5	840 - 1680
Seledri	6.5	1260 - 1680
Selada	6.0 - 7.0	560 - 840
Silverbeet	6.0 - 7.0	1260 - 1610

Gambar 3 pH dan ppm Untuk Sayuran Daun
(Sumber : Hidroponikpedia.com)

Setiap sayuran memiliki kebutuhan nutrisi yang berbeda beda, begitu juga dengan sayur pakcoy. Pada gambar 2.4 dapat dilihat pH air nutrisi yang tepat untuk tanaman pakcoy yaitu pH 7, sedangkan kebutuhannya berkisar antara 1050 ppm sampai dengan 1400 ppm.

D. Firebase

Firestore adalah *Cloud Service Provider* dan *Backend as a Service* yang dimiliki oleh Google. Firestore merupakan solusi yang ditawarkan oleh Google untuk mempermudah dalam pengembangan aplikasi *mobile* maupun *web*.



Gambar 4 Fitur Firebase
(Sumber : Medium.com)

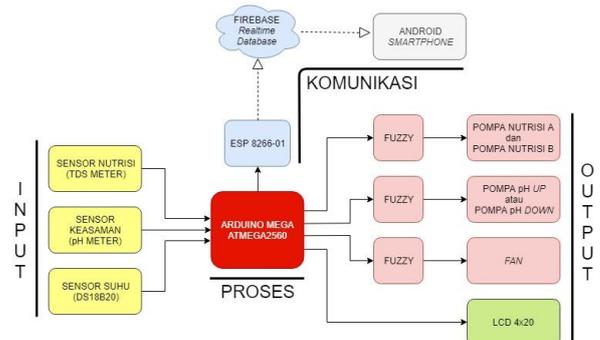
Real Time Database adalah sebuah *NoSQL database* yang disediakan oleh Firebase. *NoSQL database* adalah *database* yang tidak menggunakan sistem relasi layaknya pada *database* tradisional (MySQL dll.). Metode penyimpanan data di dalam *NoSQL* menggunakan objek yang menggunakan format *JSON (JavaScript Object Notation)*. *Firestore Database* merupakan sebuah *Cloud-Hosted database* yang dapat menyimpan dan melakukan sinkronisasi data secara *database*

untuk setiap *client* yang terhubung. Setiap kali pengguna memperbarui data, itu akan menyimpannya pada *cloud* dan sekaligus memberitahu ke semua *client* yang terhubung dan secara otomatis menerima pembaruan dengan data terbaru.

III. METODE PENELITIAN

A. Perancangan Blok Diagram

Bagian utama sistem kendali pada alat ini yaitu input, proses, dan output. Sedangkan untuk pemantauan alat melalui internet ditangani oleh bagian komunikasi. Berikut blok diagram sistem pada alat :

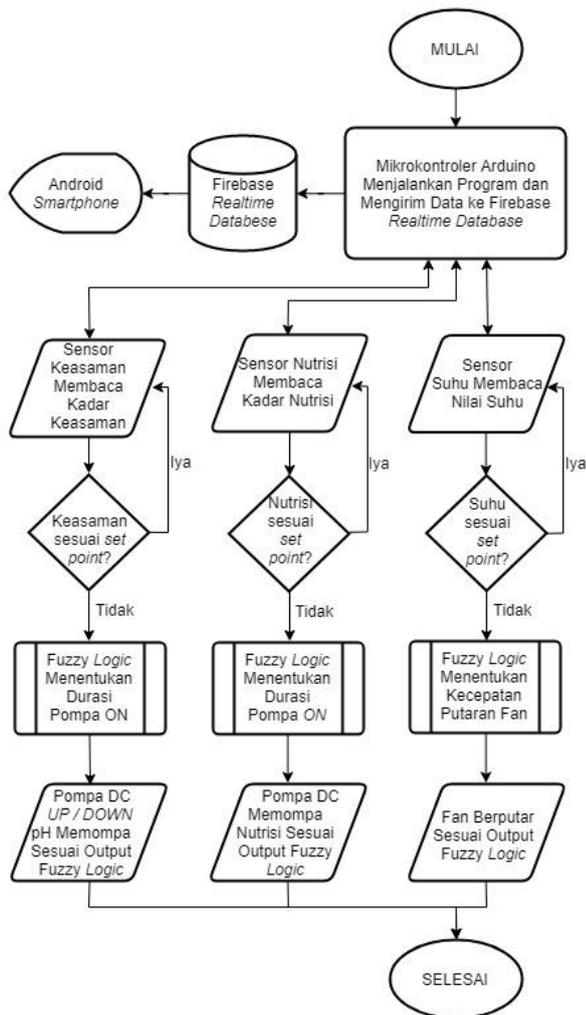


Gambar 5. Blok Diagram Sistem Alat

Input terdiri dari 3 sensor yaitu sensor nutrisi, sensor keasaman, dan sensor suhu. Nilai dari TDS meter diubah menjadi dua input yaitu nilai *error* dan *delta error* yang digunakan dalam perhitungan logika fuzzy kadar nutrisi. Nilai dari pH meter diubah menjadi dua input yaitu nilai *error* dan *delta error* yang digunakan dalam perhitungan logika fuzzy kadar keasaman. Nilai dari DS18B20 diubah menjadi dua input yaitu nilai *error* dan *delta error* yang digunakan dalam perhitungan logika fuzzy suhu pendingin. Bagian proses ditangani oleh mikrokontroler arduino mega 2560. Arduino mega 2560 bertugas untuk menjalankan program perhitungan fuzzy serta program pendukung sistem yang lainnya. Output terdiri dari 4 bagian yaitu output untuk pompa nutrisi A dan B, pompa pH *up* atau *down*, fan, dan LCD 20x4. ESP 8266-01 digunakan untuk mengirimkan data dari arduino mega 2560 melalui komunikasi serial ke firebase *realtime database*.

B. Perancangan Flowchart

Dalam merancang sistem diperlukan aturan umum atau alur sistem supaya alat dapat berjalan sesuai dengan prosedurnya. Berikut flowchart pada perancangan sistem alat :



Gambar 6. Flowchat Sistem Alat

Sistem alat dimulai saat arduino menyala. Kemudian ESP 8266-01 terhubung dengan WiFi. Arduino menjalankan loop program pertama yaitu memerintahkan sensor TDS meter untuk membaca nilai kadar nutrisi pada air nutrisi hidroponik. Apabila nilai kadar nutrisi sesuai dengan *set point* maka program dilanjutkan ke loop program yang selanjutnya. Namun apabila nilai kadar nutrisi tidak sesuai dengan *set point* maka program fuzzy logic akan menentukan jumlah tambahan nutrisi sehingga pompa nutrisi A dan B menyala sesuai dengan durasi dari hasil perhitungan fuzzy logic. Loop program dilanjutkan ke loop program selanjutnya yaitu sensor pH meter membaca nilai kadar keasaman pada air nutrisi hidroponik. Apabila nilai kadar keasaman sesuai dengan *set point* maka program dilanjutkan ke loop program yang selanjutnya. Namun apabila nilai kadar keasaman tidak sesuai dengan *set point* maka program fuzzy logic akan menentukan jumlah tambahan pH up atau down

sehingga pompa pH up atau down menyala sesuai dengan durasi dari hasil perhitungan fuzzy logic. Loop program dilanjutkan ke loop program selanjutnya yaitu sensor suhu membaca nilai suhu pada pendingin udara hidroponik. Apabila nilai suhu sesuai dengan *set point* maka program dilanjutkan ke loop program yang selanjutnya. Namun apabila nilai suhu tidak sesuai dengan *set point* maka program fuzzy logic akan menentukan kecepatan putaran fan sehingga fan menyala sesuai dengan kecepatan dari hasil perhitungan fuzzy logic. Data dari arduino mega 2560 diteruskan ke ESP 8266-01 melalui komunikasi serial. ESP 8266-01 mengirimkan data ke Firebase realtime database melalui koneksi internet. Android smartphone membaca nilai sensor di Firebase realtime database untuk ditampilkan pada layar android smartphone.

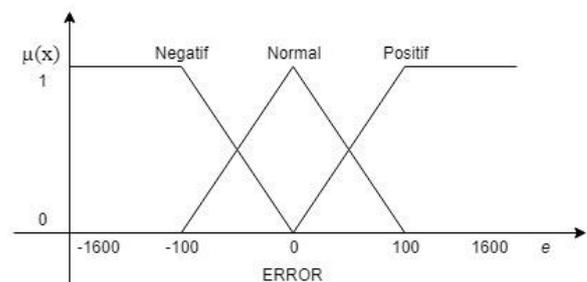
C. Perancangan Sistem Fuzzy

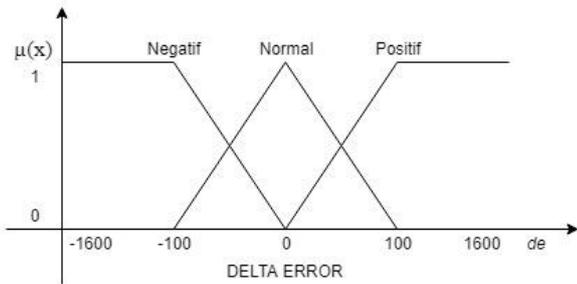
Fuzzy logic menggunakan input nilai error dan delta error. Nilai error didapat dari selisih set point dengan nilai sensor saat ini. Delta error didapat dari selisih nilai error saat ini dengan nilai error sebelumnya.

Sistem Fuzzy Kendali Nutrisi

Untuk mengendalikan kadar nutrisi pada air nutrisi hidroponik digunakan FIS metode Sugeno. Pada sistem kendali ini dibuat tiga himpunan fuzzy dan sembilan aturan sistem fuzzy.

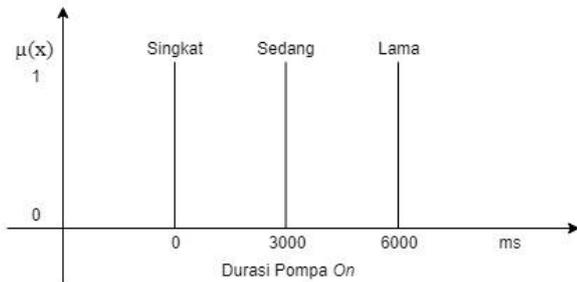
Himpunan fuzzy untuk input terdiri dari dua yaitu error dan delta error dari pembacaan sensor TDS meter. Error dan delta error digunakan pada proses fuzzifikasi. Himpunan fuzzy untuk output yaitu durasi pompa on. Durasi pompa on digunakan pada proses defuzzifikasi. Himpunan error dan delta error dibangun dengan representasi kurva segitiga dan kurva trapesium. Parameter error tersusun oleh tiga variabel yaitu negatif, normal, dan positif. Parameter delta error tersusun oleh tiga variabel yaitu negatif, normal, dan positif. Berikut ini gambar himpunan fuzzy error dan delta error untuk kendali nutrisi:





Gambar 7. Himpunan Fuzzy Error dan Delta Error Nutrisi

Himpunan fuzzy untuk durasi pompa *on* dirancang dengan representasi *singleton*. Terdapat tiga durasi pada durasi pompa *on* yaitu diam, singkat, dan lama. Berikut gambar himpunan fuzzy durasi pompa *on* untuk kendali nutrisi :



Gambar 8. Himpunan Fuzzy Durasi Pompa *on* Nutrisi

Aturan pada FIS Sugeno berfungsi sebagai penalaran terhadap nilai input dari sensor sehingga dapat disimpulkan menjadi suatu informasi. Jumlah aturan pada FIS Sugeno berdasarkan pada jumlah himpunan dan variabel. Dalam sistem ini dibuat sembilan aturan pada FIS Sugeno. Aturan tersusun oleh frasa dua himpunan fuzzy *error* dan *delta error* sehingga muncul jawaban berdasarkan himpunan fuzzy durasi pompa *on*. Berikut ini tabel evaluasi aturan FIS Sugeno untuk kendali nutrisi:

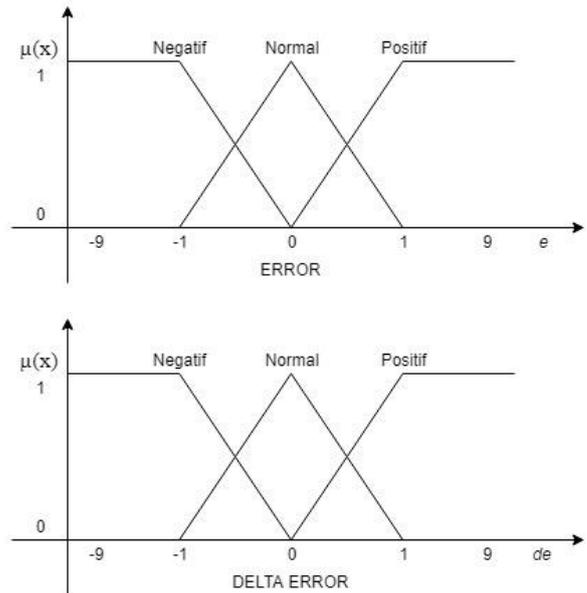
Tabel 1. Aturan FIS Sugeno Nutrisi

ERROR DELTA ERROR	Negatif	Normal	Positif
Negatif	Singkat	Singkat	Singkat
Normal	Singkat	Singkat	Sedang
Positif	Singkat	Sedang	Lama

Sistem Fuzzy Kendali Keasaman

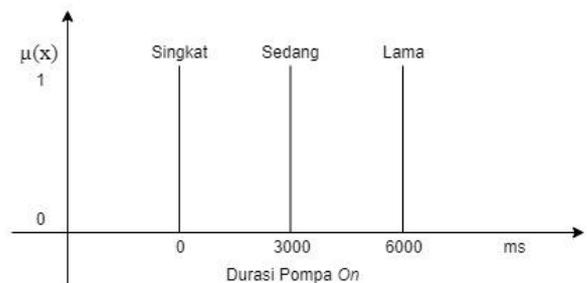
Untuk mengendalikan kadar keasaman pada air nutrisi hidroponik digunakan FIS metode Sugeno. Pada sistem kendali ini dibuat tiga himpunan fuzzy dan sembilan aturan sistem fuzzy.

Himpunan fuzzy untuk input terdiri dari dua yaitu *error* dan *delta error* dari pembacaan sensor pH meter. *Error* dan *delta error* digunakan pada proses fuzzifikasi. Himpunan fuzzy untuk output yaitu durasi pompa *on*. Durasi pompa *on* digunakan pada proses defuzzifikasi. Himpunan *error* dan *delta error* dibangun dengan representasi kurva segitiga dan kurva trapesium. Parameter *error* tersusun oleh tiga variabel yaitu negatif, normal, dan positif. Parameter *delta error* tersusun oleh tiga variabel yaitu negatif, normal, dan positif. Berikut ini gambar himpunan fuzzy *error* dan *delta error* untuk kendali keasaman:



Gambar 9. Himpunan Fuzzy Error dan Delta Error Keasaman

Himpunan fuzzy untuk durasi pompa *on* dirancang dengan representasi *singleton*. Terdapat tiga durasi pada durasi pompa *on* yaitu diam, singkat, dan lama. Berikut gambar himpunan fuzzy durasi pompa *on* untuk kendali keasaman :



Gambar 10. Himpunan Fuzzy Durasi Pompa *on* Keasaman

Aturan pada FIS Sugeno berfungsi sebagai penalaran terhadap nilai input dari sensor sehingga dapat disimpulkan menjadi suatu informasi. Jumlah aturan pada FIS Sugeno berdasarkan pada jumlah himpunan dan variabel. Dalam sistem ini dibuat sembilan aturan pada FIS Sugeno. Aturan tersusun oleh frasa dua himpunan fuzzy *error* dan *delta error* sehingga muncul jawaban berdasarkan himpunan fuzzy durasi pompa *on*. Berikut ini tabel evaluasi aturan FIS Sugeno untuk kendali keasaman:

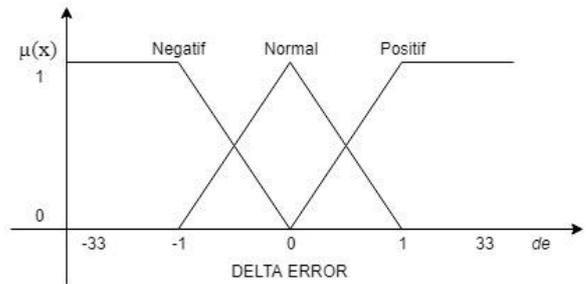
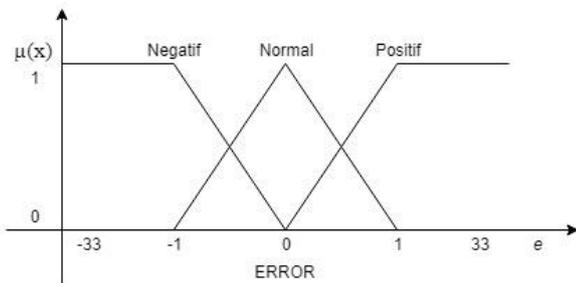
Tabel 2. Aturan FIS Sugeno Keasaman

ERROR DELTA ERROR	Negatif	Normal	Positif
Negatif	Lama	Singkat	Sedang
Normal	Sedang	Singkat	Sedang
Positif	Sedang	Singkat	Lama

Sistem Fuzzy Kendali Suhu

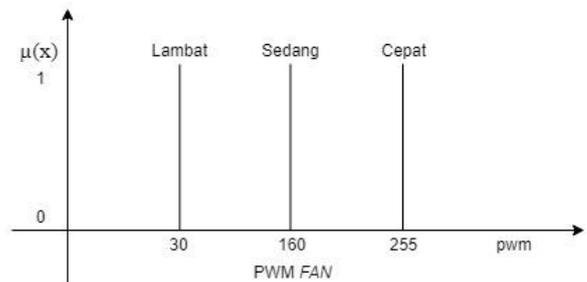
Untuk mengendalikan suhu udara pada media tanam hidroponik digunakan FIS metode Sugeno. Pada sistem kendali ini dibuat tiga himpunan fuzzy dan sembilan aturan sistem fuzzy.

Himpunan fuzzy untuk input terdiri dari dua yaitu *error* dan *delta error* dari pembacaan sensor suhu. *Error* dan *delta error* digunakan pada proses fuzzifikasi. Himpunan fuzzy untuk output yaitu nilai PWM untuk kecepatan *fan*. Nilai pwm digunakan pada proses defuzzifikasi. Himpunan *error* dan *delta error* dibangun dengan representasi kurva segitiga dan kurva trapesium. Parameter *error* tersusun oleh tiga variabel yaitu negatif, normal, dan positif. Parameter *delta error* tersusun oleh tiga variabel yaitu negatif, normal, dan positif. Berikut ini gambar himpunan fuzzy *error* dan *delta error* untuk kendali suhu:



Gambar 11. Himpunan Fuzzy Error dan Delta Error Suhu

Himpunan fuzzy untuk nilai pwm dirancang dengan representasi *singleton*. Terdapat tiga level nilai PWM yaitu lambat, sedang, dan cepat. Berikut gambar himpunan fuzzy nilai PWM untuk kendali suhu :



Gambar 12. Himpunan Fuzzy Nilai PWM

Aturan pada FIS Sugeno berfungsi sebagai penalaran terhadap nilai input dari sensor sehingga dapat disimpulkan menjadi suatu informasi. Jumlah aturan pada FIS Sugeno berdasarkan pada jumlah himpunan dan variabel. Dalam sistem ini dibuat sembilan aturan pada FIS Sugeno. Aturan tersusun oleh frasa dua himpunan fuzzy *error* dan *delta error* sehingga muncul jawaban berdasarkan himpunan fuzzy nilai PWM. Berikut ini tabel evaluasi aturan FIS Sugeno untuk kendali suhu :

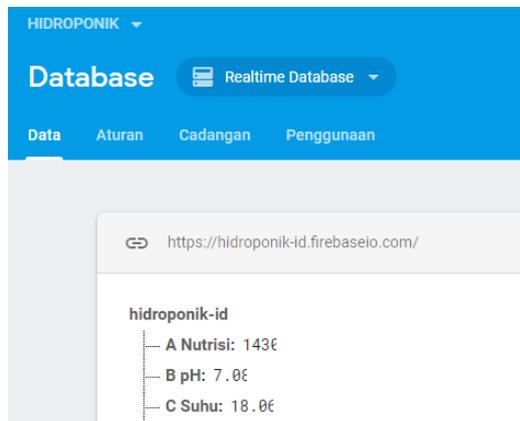
Tabel 3. Aturan FIS Sugeno Suhu

ERROR DELTA ERROR	Negatif	Normal	Positif
Negatif	Lambat	Lambat	Sedang
Normal	Lambat	Sedang	Cepat
Positif	Sedang	Cepat	Cepat

D. Perancangan Firebase Realtime Database

Pada perancangan ini untuk *monitoring* alat hidroponik secara *realtime* melalui internet digunakan *firebase realtime database*. *firebase realtime database* sebagai penghubung antara ESP 8266-01 dengan android *smartphone*. Saat program

ESP 8266-01 sudah diupload ke ESP 8266-01 dan ESP 8266-01 terhubung ke internet maka secara otomatis tampilan pada firebase *realtime database* akan berubah sesuai program yang sudah diupload ke ESP 8266-01. Berikut ini tampilan firebase *realtime database* setelah upload program ESP 8266-01 untuk monitoring alat hidroponik.



Gambar 13. Tampilan Nilai Sensor Pada Firebase *Realtime Database*

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian alat dilakukan supaya dapat menganalisa apakah sistem yang dirancanag berjalan dengan normal atau tidak.



Gambar 14. Hidroponik *NFT* Dengan Sitem Kendali.

A. Pengujian Sensor

Pengujian Sensor Nutrisi

Digital TDS meter digunakan sebagai acuan untuk menentukan seberapa besar keakuratan sensor nutrisi probe TDS mikrokontroler arduino mega 2560. Pengujian dilaksanakan dengan membuat beberapa variasi kadar nutrisi dengan menambahkan nutrisi A B mix terhadap air yang akan diuji kandungan nutrisinya. Berikut ini hasil pengujian sensor nutrisi ditampilkan dalam tabel :

Tabel 4. Pengujian Sensor Nutrisi

No.	Digital TDS Meter	Probe TDS Arduino	% Kesalahan
1	189 ppm	185 ppm	2,16 %
2	745 ppm	731 ppm	1,91 %
3	1132 ppm	1112 ppm	1,79 %
4	1588 ppm	1563 ppm	1,59 %
Rata-Rata % Kesalahan			1,86 %
Akurasi Sensor Probe TDS Arduino			98,14 %

Pengujian Sensor Keasaman

Digital pH meter digunakan sebagai acuan untuk menentukan seberapa besar keakuratan sensor keasaman probe pH mikrokontroler arduino mega 2560. Pengujian dilaksanakan dengan membuat beberapa variasi kadar keasaman dengan menambahkan pH *up* dan pH *down* terhadap air yang akan diuji kandungan keasamannya. Berikut ini hasil pengujian sensor keasaman ditampilkan dalam tabel :

Tabel 5. Pengujian Sensor Keasaman

No.	Digital pH Meter	Probe pH Arduino	% Kesalahan
1	3,88 pH	3,72 pH	4,30 %
2	5,27 pH	5,03 pH	4,77 %
3	7,34 pH	7,17 pH	2,37 %
4	9,46 pH	9,12 pH	3,72 %
Rata-Rata % Kesalahan			3,79 %
Akurasi Sensor Probe pH Arduino			96,21 %

Berdasarkan tabel diatas nilai akurasi sensor probe pH arduino sebesar 96,21 %

B. Pengujian Aktuator

Pengujian Aktuator Pompa Nutrisi

Pengujian aktuator pompa nutrisi bertujuan untuk mengetahui seberapa banyak cairan yang dipompa dalam hitungan waktu. Pengujian dilakukan dengan mensimulasikan durasi pompa menyala sesuai dengan rentang output nilai fuzzy *logic* nutrisi yaitu antara 0 – 6 detik. Berikut ini tabel pengujian aktuator pompa nutrisi :

Tabel 6. Pengujian Aktuator Pompa Nutrisi

No.	Durasi <i>On</i>	Banyaknya Cairan Dipompa
1	6 detik	3 ml
2	3 detik	1,5 ml
3	2 detik	1 ml
4	0 detik	0 ml

Pengujian Aktuator Pompa Keasaman

Pengujian aktuator pompa keasaman bertujuan untuk mengetahui seberapa banyak cairan yang dipompa dalam

hitungan waktu. Pengujian dilakukan dengan mensimulasikan durasi pompa menyala sesuai dengan rentang output nilai fuzzy logic keasaman yaitu antara 0 – 6 detik. Berikut ini tabel pengujian aktuator pompa keasaman :

Tabel 7. Pengujian Aktuator Pompa Keasaman

No.	Durasi On	Banyaknya Cairan Dipompa
1	6 detik	3 ml
2	3 detik	1,5 ml
3	2 detik	1 ml
4	0 detik	0 ml

Pengujian Aktuator Fan

Pengujian fan dilakukan untuk mengetahui seberapa besar nilai tegangan yang digunakan untuk memutar fan. Pengujian dilakukan dengan mensimulasikan nilai PWM sesuai dengan output fuzzy logic suhu yaitu antara 0 – 255. Berikut ini tabel pengujian aktuator pompa keasaman :

Tabel 7. Pengujian Aktuator Fan

No.	PWM	Tegangan	Keadaan Fan
1	255	12,1 volt	Berputar
2	170	9,54 volt	Berputar
3	85	6,20 volt	Berputar
4	30	3.74 volt	Berputar

C. Pengujian Nilai Output Fuzzy

Pengujian Nilai Output Fuzzy Kendali Nutrisi

Hasil perhitungan fuzzy matlab dibandingkan dengan hasil perhitungan fuzzy arduino di serial monitor. Berikut tabel perbandingan hasil perhitungan fuzzy arduino dengan fuzzy matlab :

Tabel 8. Perbandingan Nilai Fuzzy Arduino Dengan Matlab Kendali Nutrisi

No.	Error	Delta Error	Fuzzy Matlab	Fuzzy Arduino	% Kesalahan
1	214	31	3930	3930	0 %
2	130	-75	750	750	0 %
3	88	56	4060	4060	0 %
4	-44	63	966	966	0 %
Rata-Rata % Kesalahan					0 %
Akurasi Perhitungan Fuzzy Arduino					100 %

Tabel diatas merupakan perbandingan output fuzzy matlab dan output fuzzy arduino pada sistem kendali nutrisi. Output berupa berapa lamanya pompa nutrisi menyala dalam satuan *milisecond*. Berdasarkan tabel diatas, akurasi perhitungan fuzzy pada arduino yaitu sebesar 100%.

Pengujian Nilai Output Fuzzy Kendali Keasaman

Hasil perhitungan fuzzy matlab dibandingkan dengan hasil perhitungan fuzzy arduino di serial monitor. Berikut tabel perbandingan hasil perhitungan fuzzy arduino dengan fuzzy matlab :

Tabel 9. Perbandingan Nilai Fuzzy Arduino Dengan Matlab Kendali Keasaman

No.	Error	Delta Error	Fuzzy Matlab	Fuzzy Arduino	% Kesalahan
1	-3,42	0,23	3000	3000	0 %
2	2,75	1,56	6000	6000	0 %
3	0,45	-0,89	1380	1380	0 %
4	0,22	0,11	1080	1080	0 %
Rata-Rata % Kesalahan					0 %
Akurasi Perhitungan Fuzzy Arduino					100 %

Tabel 9 diatas merupakan perbandingan output fuzzy matlab dan output fuzzy arduino pada sistem kendali pH. Output berupa berapa lamanya pompa pH *up* atau *down* menyala. Berdasarkan tabel diatas, akurasi perhitungan fuzzy pada arduino yaitu sebesar 100%.

Pengujian Nilai Output Fuzzy Kendali Suhu

Hasil perhitungan fuzzy matlab dibandingkan dengan hasil perhitungan fuzzy arduino di serial monitor. Berikut tabel perbandingan hasil perhitungan fuzzy arduino dengan fuzzy matlab :

Tabel 10. Perbandingan Nilai Fuzzy Arduino Dengan Matlab Kendali Suhu

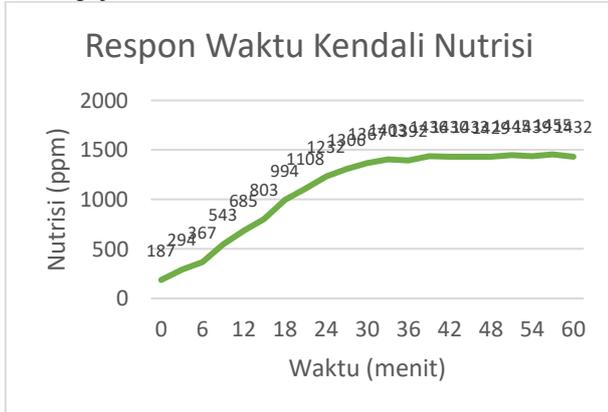
No.	Error	Delta Error	Fuzzy Matlab	Fuzzy Arduino	% Kesalahan
1	-4,81	5,56	160	160	0 %
2	0,34	0,58	231	231	0 %
3	-0,89	0,32	96,1	96,1	0 %
4	0,20	0,40	214	214	0 %
Rata-Rata % Kesalahan					0 %
Akurasi Perhitungan Fuzzy Arduino					100 %

Tabel diatas merupakan perbandingan output fuzzy matlab dan output fuzzy arduino pada sistem kendali suhu. Output berupa berapa nilai PWM yang berfungsi mengubah kecepatan fan pendingin. Berdasarkan tabel diatas, akurasi perhitungan fuzzy pada arduino yaitu sebesar 100%.

D. Pengujian Kestabilan Sistem Kendali

Pengujian kestabilan sistem kendali bertujuan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam mencapai *set point* dan menjaga nilai sensor sesuai dengan *set point* yang telah ditentukan.

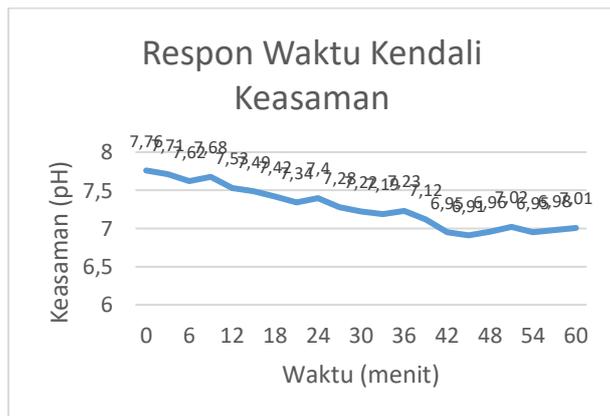
Berikut ini grafik respon waktu sitem kendali nutrisi. *Set point* yang ditentukan untuk sistem kendali nutrisi yaitu 1400 ppm. Pengujian sistem kendali dilakukan selama 60 menit.



Gambar 15. Respon Waktu Kendali Nutrisi

Berdasarkan gambar 15 dapat dilihat kestabilan sistem kendali nutrisi dapat mencapai *set point* 1400 ppm pada menit ke 33. Setelah menit ke 33 sistem dapat menyesuaikan kestabilan *set poin* pada angka sekitar 1400 ppm.

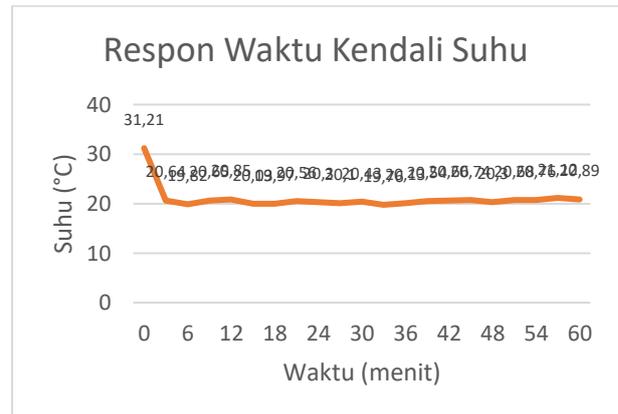
Berikut ini grafik respon waktu sitem kendali keasaman. *Set point* yang ditentukan untuk sistem kendali keasaman yaitu 7 pH. Pengujian sistem kendali dilakukan selama 60 menit.



Gambar 16. Respon Waktu Kendali Keasaman

Berdasarkan gambar 16 dapat dilihat kestabilan sistem kendali keasaman dapat mencapai *set point* 7 pH pada menit ke 42. Setelah menit ke 42 sistem dapat menyesuaikan kestabilan *set poin* pada angka sekitar 7 pH.

Berikut ini grafik respon waktu sitem kendali suhu. *Set point* yang ditentukan untuk sistem kendali suhu yaitu 20 °C. Pengujian sistem kendali dilakukan selama 60 menit.



Gambar 17. Respon Waktu Kendali Suhu

Berdasarkan gambar 17 dapat dilihat kestabilan sistem kendali suhu dapat mencapai *set point* 20 °C pada menit ke 3. Setelah menit ke 3 sistem dapat menyesuaikan kestabilan *set poin* pada angka sekitar 20 °C.

E. Perbandingan Pertumbuhan Sayuran

Pada pengujian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh sistem kendali logika fuzzy terhadap sayuran yang ditanam. Pengujian dilakukan dengan membandingkan secara fisik ukuran tanaman dengan tanaman yang ditanam tanpa sistem kendali logika fuzzy.

Perbandingan Tinggi Tanaman

Berikut ini tabel perbandingan tinggi tanaman sayur pakcoy pada hidroponik terkendali fuzzy *logic* dengan tanaman sayur pakcoy pada hidroponik tak terkendali fuzzy *logic*.

Tabel 11. Perbandingan Tinggi Tanaman Sayur Pakcoy

No.	Sawi ke	Terkendali (tinggi)	Tanpa Kendali (tinggi)
1	Sawi ke 1	17 cm	5 cm
2	Sawi ke 2	15 cm	7 cm
3	Sawi ke 3	17 cm	6 cm
4	Sawi ke 4	14 cm	5 cm
Rata-Rata		15,75 cm	5,75 cm

Berdasarkan tabel diatas terlihat bahwa pertumbuhan pakcoy yang menggunakan sistem terkendali logika fuzzy ukuran tingginya lebih besar daripada pakcoy tanpa media terkendali. Rata-rata ukuran ketinggian pakcoy dengan sistem terkendali sebesar 15,75 cm pada masa tanam 20 hari

Perbandingan Lebar Daun

Berikut ini tabel perbandingan lebar daun tanaman sayur pakcoy pada hidroponik terkendali fuzzy *logic* dengan tanaman sayur pakcoy pada hidroponik tak terkendali fuzzy *logic*.

Tabel 12. Perbandingan Lebar Daun Sayur Pakcoy

No.	Sawi ke	Terkendali (lebar daun)	Tanpa Kendali (lebar daun)
1	Sawi ke 1	8 cm	4 cm
2	Sawi ke 2	7,5 cm	5 cm
3	Sawi ke 3	8,5 cm	4,5 cm
4	Sawi ke 4	6 cm	4 cm
Rata-Rata		7,5 cm	4,37 cm

Berdasarkan tabel diatas terlihat bahwa pertumbuhan sawi yang menggunakan sistem terkendali logika fuzzy ukuran lebar daunnya lebih besar daripada daun pakcoy tanpa media terkendali. Rata-rata lebar daun pakcoy dengan sistem terkendali sebesar 7,5 cm pada masa tanam 20 hari

F. Pengujian Kecepatan Pengiriman Data

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kecepatan pengiriman data nilai sensor dari arduino mega 2560 hingga dapat tampil di aplikasi *monitoring* android *smartphone*. Berikut ini tabel pengujian kecepatan pengiriman data dari arduino mega 2560 ke aplikasi *monitoring* android *smartphone*:

Tabel 13. Kecepatan Pengiriman Data

No.	Nutrisi	pH	Suhu	Interval
1	1403 ppm	7,0 pH	18,3 °C	2,3 detik
2	1396 ppm	7,1 pH	18,4 °C	2,2 detik
3	1407 ppm	7,1 pH	18,2 °C	2,0 detik
4	1399 ppm	7,0 pH	18,5 °C	2,5 detik
Rata-Rata				2,28 detik

Berdasarkan tabel diatas, rata-rata waktu yang diperlukan untuk mengirim data dari arduino mega 2560 ke aplikasi *monitoring* android *smartphone* yaitu selama 2,28 detik

V. KESIMPULAN

Berdasarkan pengujian dan analisa alat, maka dapat diambil beberapa kesimpulan dari penelitian ini, yaitu antara lain Sensor nutrisi, keasaman, dan suhu memiliki tingkat akurasi yang cukup tinggi yaitu sensor nutrisi sebesar 98,14 %, sensor keasaman sebesar 96,21 %, dan sensor suhu sebesar 99,46 %. Aktuator pompa nutrisi dan keasaman dalam 6 detik dapat mengalirkan 3 ml cairan, sedangkan aktuator fan masih dapat berputar pada nilai *PWM* 30 dengan tegangan sebesar 3,74 volt. Perhitungan FIS Sugeno pada kendali nutrisi, keasaman dan suhu memiliki akurasi sebesar 100% berdasarkan perbandingan dengan perhitungan FIS Sugeno pada Matlab. Sistem kendali nutrisi membutuhkan waktu selama 33 menit untuk mencapai *set point*, sistem kendali keasaman membutuhkan waktu selama 42 menit untuk mencapai *set point*, dan sistem kendali suhu membutuhkan waktu selama

3 menit untuk mencapai *set point*. Sayuran pada hidroponik terkendali memiliki tinggi rata-rata 15,75 cm, sedangkan sayuran pada hidroponik tanpa kendali memiliki tinggi rata-rata 5,75 cm. Sayuran pada hidroponik terkendali memiliki lebar daun rata-rata 7,5 cm, sedangkan sayuran pada hidroponik tanpa kendali memiliki lebar daun rata-rata 4,37 cm. Kecepatan pengiriman data dari arduino mega 2560 ke aplikasi android rata-rata membutuhkan waktu selama 2,28 detik

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada bagian ini dituliskan ucapan terima kasih terhadap pihak-pihak yang membantu terselesainya penelitian ini serta ucapan terima kasih terhadap tim editorial Jurnal Teknologi Elektro atas dipublikasikannya penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Agustin, A. H., Gandhiadi, G. K., & Oka, T. B. (2016). Penerapan Metode Fuzzy Sugeno Untuk Menentukan Harga Jual Sepeda Motor Bekas. *E-Jurnal Matematika*, 5, 176-182.
- [2] Dani, A. W., Aldila. (2017). Rancang Bangun Sistem Pengairan Tanaman Menggunakan Sensor Kelembaban Tanah, 8(2), 151–155.
- [3] <https://doi.org/10.22441/jte.v8i2.1612>
- [4] Azhara, D., Rakhmatsyah, A., & Erfianto, B. (2018). Kendali Fuzzy Untuk Microclimate Rumah Kaca Dengan Sistem Foggging. *Journals of Telkom University*.
- [5] Badan Perencanaan Pembangunan Nasional. (2018). *Proyeksi Penduduk Indonesia 2015-2045*. Jakarta: Bappenas.
- [6] Daud, M., Handika, V., & Bintoro, A. (2018). Design And Realization Of Fuzzy Logic Control For Ebb And Flow Hydroponic System. *International Journal Of Scientific & Technology Research*, 7, 138-144.
- [7] Ibrahim, M. N. R., Solahudin, M., & Widodo, S. (2015). Control System For Nutrient Solution Of Nutrient Film Technique Using Fuzzy Logic. *Telkomnika*, 13, 1281-1288. doi: 10.12928/ TELKOMNIKA.v13i4.2113
- [8] Kurniati, V., Triyanto, D., & Rismawan, T. (2017). Penerapan Logika Fuzzy Dalam Sistem Prakiraan Cuaca Berbasis Mikrokontroler. *Jurnal Coding, Sistem Komputer Untan*, 5, 119-128.
- [9] Pancawati, D., & Yulianto, A. (2016). Implementasi Fuzzy Logic Controller Untuk Mengatur pH Nutrisi Pada Sistem Hidroponik Nutrient Film Technique (NFT). *Jurnal Nasional Teknik Elektro*, 5, 278-289. doi: 10.20449/jnte.v5i2.2