

Pengendalian Suhu dan Kelembapan Sistem Aeroponik Tanaman Stroberi Berbasis IoT menggunakan Fuzzy Logic

Wahyudi Purnomo¹, Fitria Suryatini², Maya Delistiani³

^{1,2}Jurusan Teknik Otomasi Manufaktur dan Mekatronika, Politeknik Manufaktur Bandung

³ Program Studi Teknik Elektromekanik, Jurusan Teknik Mesin dan Manufaktur, Politeknik Manufaktur Bandung

Email: yudhip@polman-bandung.ac.id

Informasi Artikel:

Received:
27 Maret 2020

Accepted:
21 September 2020

Available:
15 Oktober 2020

ABSTRAK

Penanaman tanaman stroberi secara konvensional cukup sulit dilakukan karena membutuhkan ruang, tenaga kerja, air, serta lahan yang subur. Karenanya, penanaman tanaman tanpa tanah dapat diterapkan. Sistem aeroponik adalah penanaman menggunakan media udara. Akar tanaman dibiarkan menggantung dan disemprot nutrisi. Keistimewaanannya adalah dapat mengurangi konsumsi air, pupuk, dan pemaksimalan lahan. Pada penelitian ini *mist nozzle* dikendalikan oleh mikrokomputer menggunakan logika *Fuzzy* untuk menyemprot bagian akar dan tajuk dengan masukan sensor suhu dan kelembapan. Kebutuhan nutrisi akar dikendalikan dengan metode *on-off*. LED dikendalikan menurut waktu. Kadar pH pada tandon nutrisi dapat diawasi menggunakan sensor pH. Sistem dapat diawasi dan dikendalikan dengan antarmuka pada *Android*. Hasil penelitian menunjukkan ketercapaian nilai rata-rata kebutuhan suhu akar yakni 23,3°C dari rentang 18-30°C, dan suhu tajuk 21,5°C dari rentang 14-25°C. Selain itu, kelembapan akar dan tajuk juga masuk dalam rentang kebutuhan 85-95% yakni 89% dan 93%. Sistem pengawasan dan pengendalian dapat dilakukan dari jarak jauh dengan menggunakan aplikasi Blynk.

Kata Kunci:

Aeroponik
Stroberi
Fuzzy Logic
IoT
Kadar PH

ABSTRACT

Planting conventional strawberry plants is quite difficult because it requires space, labor, water, and fertile land. Therefore, planting plants without soil can be applied. The aeroponic system is a planting method that lets the roots hanging in the air then sprayed with nutrients. It could reduce water consumption, fertilizer, and land maximization. The mist nozzle controlled by a microcomputer with Fuzzy logic will spray the plant with a temperature and humidity sensor input. Root nutrient controlled by the on-off method. LED is controlled according to time. The system can be monitored and controlled with an Android interface called Blynk. The results of this study are the achievement of the average value of the root zone temperature is 23.3 °C from 18-30 °C, and the crown temperature 21.5 °C from 14-25 °C. Besides, root and crown moisture is also included in the 85-95% range, namely 89% and 93%. Monitoring and control systems can be done remotely using the Blynk application.

1 PENDAHULUAN

Permintaan stroberi di Indonesia bisa dikatakan cukup tinggi karena buah stroberi mempunyai peluang pasar yang semakin luas [1]. Namun, penanaman secara konvensional di tanah (*Open Field Agriculture*) cukup sulit dilakukan karena membutuhkan ruang yang besar, tenaga kerja yang banyak, volume air yang besar, tidak adanya tanah untuk bercocok tanam di daerah metropolitan, serta kelangkaan lahan subur karena kondisi geografis atau topografi yang tidak menguntungkan. Dengan kondisi tersebut, budaya penanaman tanaman tanpa tanah (*soil-less*) dapat diterapkan dengan baik [2].

Metode tanam hidroponik, aeroponik, dan aquaponik dapat menjadi salah satu alternatif berkelanjutan untuk menyediakan bermacam jenis tanaman dengan air, pupuk, dan ruang yang lebih sedikit untuk meningkatkan hasil per satuan luas serta meningkatkan efisiensi penggunaan air dibandingkan agrikultur konvensional [3]. Hidroponik merupakan sebuah metode menanam tanaman menggunakan larutan nutrisi mineral tanpa tanah [2]. Sedangkan Aquaponik adalah integrasi teknik tanam hidroponik dan akuakultur [3]. Aeroponik adalah teknik menumbuhkan tanaman dalam lingkungan udara/kabut tanpa tanah dengan penggunaan sedikit air. Sistem aeroponik memiliki keunggulan lebih dari hidroponik dalam hal penyemprotan kandungan udara tinggi dalam larutan nutrisi untuk memberikan oksigen ke akar tanaman yang dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman [4]. Tanaman yang ditanam secara aeroponik menyerap lebih banyak mineral dan vitamin dibandingkan dengan teknik penanaman lainnya.

Selama ini, sistem aeroponik yang marak berkembang adalah tipe dengan sistem pengendalian terbuka berbasis waktu untuk pengendalian periode penyemprotan pada akar tanaman, seperti sistem "*Web-Based Monitoring and Control System for Aeroponics Growing Chamber*" [5] juga "*Automated Aeroponics System Using IoT for Smart Farming*" [6]. Kedua sistem merupakan sistem pengawasan dan pengendalian tanaman aeroponik yang sudah terintegrasi dengan *IoT*, namun pengendalian pengkabutan tanaman dilakukan menggunakan *timer* yang dapat mengendalikan periode waktu pengabutan nutrisi pada akar. Sistem Kontrol Pemberian Nutrisi pada Budi Daya Tanaman Aeroponik Berbasis *Fuzzy Logic* [7] berisi tentang sistem pengabutan akar tanaman berbasis kelembapan dan suhu sebagai input untuk *fuzzy logic*, namun sistem tidak bisa dikendalikan dan dipantau dari jauh karena tidak berbasis *IoT*. Hasil penelitian [7] menunjukkan kendali *fuzzy logic* lebih baik dari kendali *timer* dimana kendali *fuzzy logic* mampu mencegah perubahan ekstrim suhu dan RH pada ruang media tanam.

Oleh karena itu, pada penelitian ini digunakan kendali *fuzzy logic* yang ditambahkan pengendalian parameter lain seperti pH, nutrisi, dan penyinaran tanaman, serta sistem *IoT* untuk pengawasan dan pengendalian jarak jauh serta. Pengendalian diterapkan tidak hanya pada bagian perakaran tetapi juga pada bagian tajuk tanaman. Objek tanam pada penelitian ini adalah tanaman stroberi. Tanaman stroberi dapat tumbuh dengan baik pada suhu udara lingkungan sekitar 14-24°C pada bagian tajuk dan 18-30°C pada bagian perakaran dengan kelembapan relatif 85-95%¹ [8]. Suhu dan kelembapan yang dibutuhkan oleh bagian perakaran dan tajuk tanaman akan dikendalikan menggunakan logika *fuzzy*. Kadar pH yang dibutuhkan tanaman stroberi adalah 5-7 [8], maka dibuat sistem *monitoring* untuk memantau tingkat pH nutrisi tanaman. Kebutuhan nutrisi tanaman stroberi adalah 1.260-

¹ Sutopo, "Teknologi Budidaya Stroberi di Lahan," 2016. [Online]. Available: <http://balitjestro.litbang.pertanian.go.id/teknologi-budidaya-stroberi-di-lahan/>. [Accessed: 12-Dec-2019].

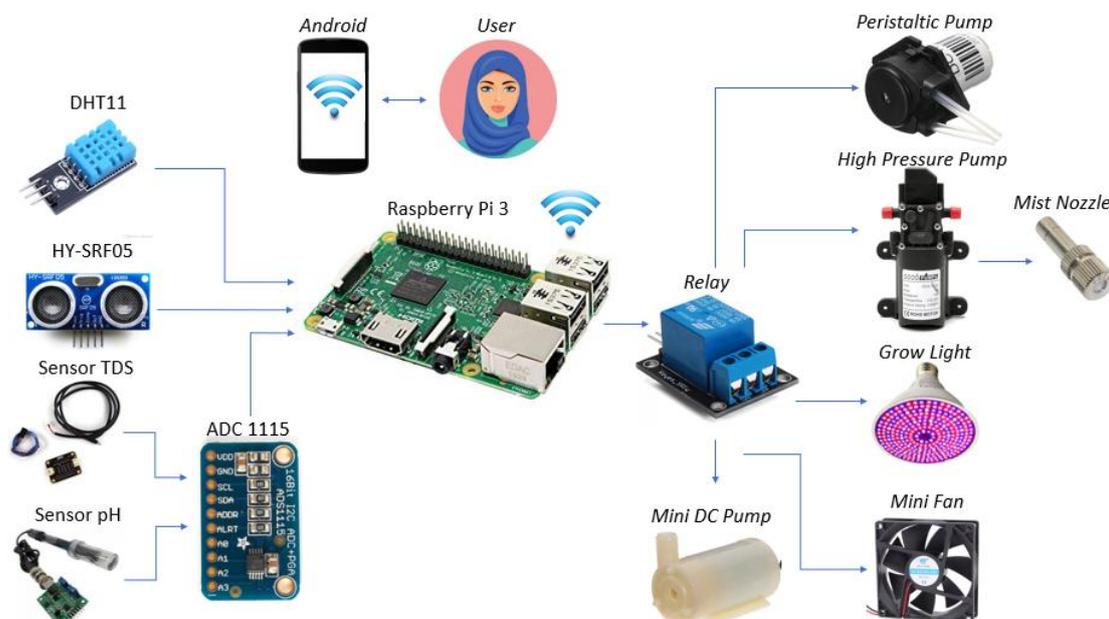
1.540 ppm², maka sistem memuat kendali *on-off* untuk mengatur nilai nutrisi tetap pada *range*-nya. Lama waktu penyinaran matahari yang dibutuhkan oleh stroberi adalah 8-10 jam [8], maka dibuat pula kendali penyinaran menggunakan lampu LED dengan kendali *on-off*. Untuk mencegah tanaman terkena dampak besar akibat perubahan musim maupun cuaca yang drastis, seperti badai, *plant* dapat diletakkan di dalam ruangan.

2 METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Perancangan Perangkat Keras

Pada penelitian ini dirancang sistem yang dapat mengendalikan beberapa parameter pada sistem aeroponik tanaman stroberi. Fokus utama pada penelitian adalah sistem dapat mengendalikan suhu dan kelembapan pada bagian akar dan tajuk tanaman menggunakan logika fuzzy. Disamping itu, terdapat kendali tambahan yakni: (1) sistem dapat mengendalikan nilai nutrisi menggunakan kendali *on-off* berdasarkan ketinggian air dan nilai TDS, (2) sistem dapat mengendalikan penyinaran menggunakan lampu LED menggunakan kendali *on-off* berbasis waktu, (3) sistem dapat memantau ketinggian permukaan nutrisi A, B, dan air pada bak penampung, dan (4) sistem dapat memantau kadar keasaman (pH) pada larutan nutrisi.

Pada sistem ini, nilai suhu dan kelembapan diukur menggunakan sensor suhu dan kelembapan DHT11. Ketinggian permukaan pada bak penampung nutrisi A, nutrisi B, air, dan pencampuran nutrisi akan diukur oleh sensor ultrasonik HY-SRF05. Nilai nutrisi diukur oleh sensor TDS SEN0244 keluaran *DFRobot* dan nilai pH diukur oleh sensor pH 4520c. Nilai nutrisi dan pH akan diolah terlebih dahulu oleh ADC 1115 menjadi data digital karena sebelumnya data tersebut merupakan data analog. Selanjutnya semua data yang dihasilkan sensor-sensor ini dikirim pada *Raspberry Pi 3* sebagai mikrokomputer pengolah data.

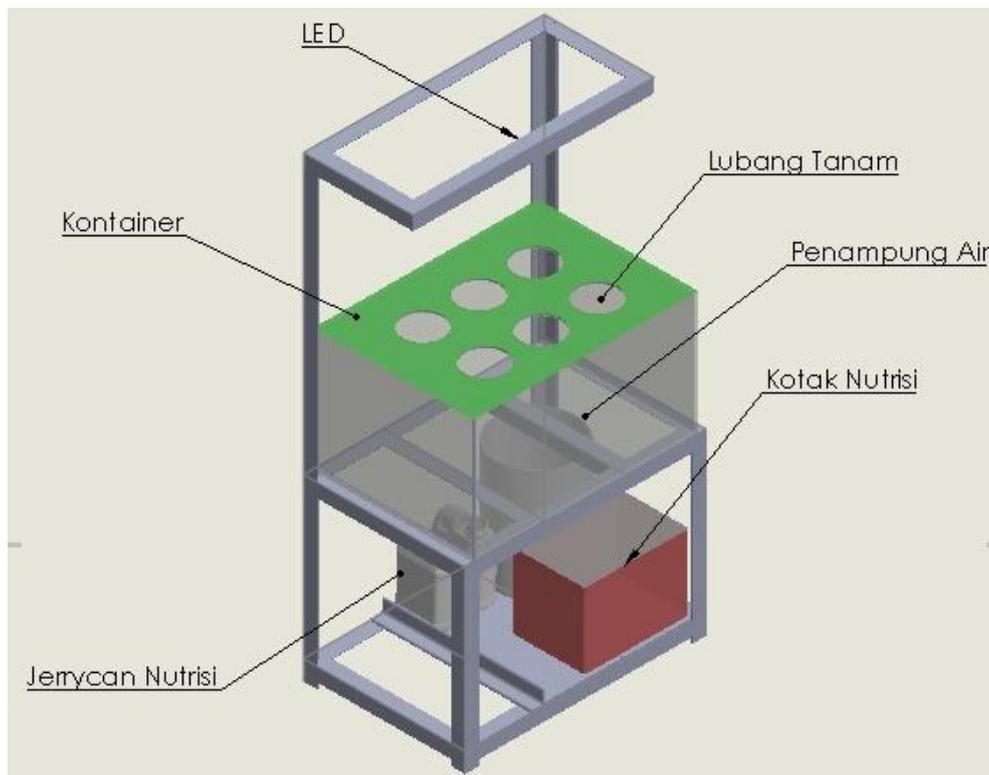


Gambar 1. Arsitektur Sistem

² Azzamy, "Tabel PPM dan pH Nutrisi Sayuran Daun," 2015. [Online]. Available: <https://mitalom.com/tabel-ppm-dan-ph-nutrisi-sayuran-daun/>. [Accessed: 13-Dec-2019].

Seperti yang terlihat pada Gambar 2.1, mikrokomputer yang telah menerima data dari sensor suhu dan kelembapan, ultrasonik, dan TDS serta pH melalui ADC akan mengolah data untuk kemudian mengendalikan aktuator melalui *relay*. Aktuator yang digunakan di antara lain adalah pompa peristaltik DC, pompa DC tekanan tinggi, *grow light*, *mini fan*, dan pompa DC *mini*. Pompa peristaltik akan digunakan untuk mengatur nilai nutrisi yang dibutuhkan akar stroberi berdasarkan data sensor ultrasonik dan sensor TDS. Pompa DC tekanan tinggi akan menyemprotkan air pada bagian tajuk dan nutrisi pada bagian akar tanaman dengan *mist nozzle* sebagai pemecah air menjadi partikel-partikel kecil berdasarkan data suhu dan kelembapan pada bagian akar dan tajuk tanaman. *Mini fan* berfungsi untuk mengurangi kelembapan berlebih yang terjadi pada bagian akar tanaman berdasarkan data kelembapan pada bagian akar tanaman. Selain itu, *Grow light* akan aktif dan mati berdasarkan waktu kebutuhan penyiaran tanaman.

Bagian mekanik pada sistem menggunakan struktur yang umum digunakan di pasaran seperti pada penelitian sebelumnya [9], hanya saja, pada sistem ditambahkan rangka besi sebagai tempat dudukan lampu LED dan *mist nozzle* untuk bagian tajuk. Rancangan mekanik ditunjukkan oleh Gambar 2.



Gambar 2. Rancangan Mekanik Sistem

Rancangan mekanik terdiri dari tiga bagian utama, yakni tajuk, perakaran, dan nutrisi. Kerangka sistem terbuat dari besi berlubang sementara media penyimpanan tanaman merupakan *container* plastik. Pada bagian tajuk, terpasang mikro sprayer serta lampu LED. Mikro sprayer akan menyirami bagian tajuk tanaman, sementara LED digunakan untuk memberikan cahaya UV yang dibutuhkan tanaman. Sensor DHT11 terpasang mengukur nilai suhu dan kelembapan. Pada bagian perakaran, enam buah *mist nozzle* terpasang untuk menyemprotkan nutrisi pada masing-masing akar tanaman, serta dua buah kipas dipasang untuk mengurangi kelembapan. Terakhir, pada bagian nutrisi, terdapat empat buah bak

penampungan. Satu bak sebagai penampung air, dua bak penampung nutrisi A dan B, serta satu buah bak pencampuran.

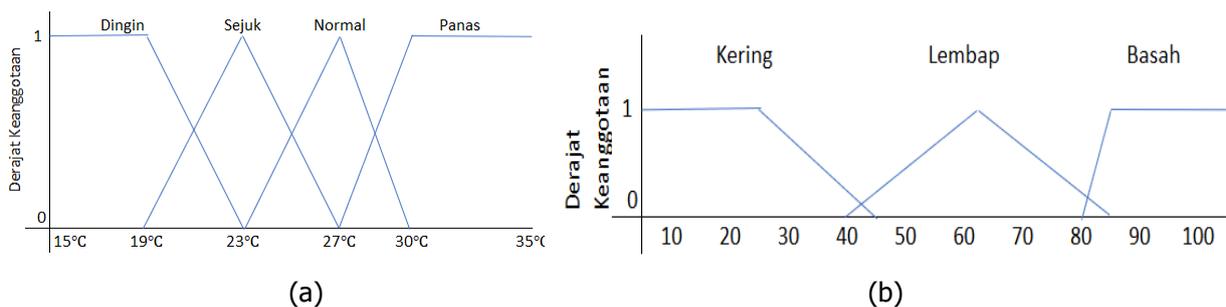
2.2 Perancangan Kendali Logika Fuzzy

Perancangan kendali logika fuzzy pada penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan yakni fuzzifikasi, decision-making unit atau disebut juga fuzzy inferensi (operasi inferensi pada aturan fuzzy), dan defuzzifikasi. Proses pertama adalah Fuzzifikasi. Proses fuzzifikasi dilakukan untuk mengubah nilai input tegas berupa data suhu dan kelembapan dari sensor akar dan tajuk menjadi nilai *fuzzy*. Pada sistem pengendali sistem ini, terdapat dua input masukan yang akan diolah pada proses fuzzifikasi berdasarkan fungsi keanggotaan *fuzzy*. Adapun rentang suhu yang digunakan adalah 0-35°C berdasarkan kebutuhan minimum stroberi dan suhu maksimal Kota Bandung yang dijadikan tempat penelitian berlangsung. Fungsi keanggotaan suhu dibagi berdasarkan kebutuhan tanaman, data percobaan, dan berdasarkan data pada peneliti sebelumnya [10]. Pembagian fungsi keanggotaan ditunjukkan oleh Tabel 1.

Tabel 1 (a) Variabel Linguistik Suhu Akar dan Tajuk dan (b) Variabel Linguistik Kelembapan Akar dan Tajuk

(a)		(b)	
Variabel Linguistik Suhu Akar dan Tajuk	Domain Himpunan Fuzzy	Variabel Linguistik Kelembapan Akar dan Tajuk	Domain Himpunan Fuzzy
Dingin	15 – 23 °C	Kering	0 – 45%
Sejuk	19 – 27 °C	Lembap	40 – 85%
Normal	23 – 30 °C	Basah	80 – 100%
Panas	27 – 35 °C		

Gambar 3 menunjukkan rancangan fungsi keanggotaan input-input yang dikeluarkan sensor suhu dan kelembapan akar dan tajuk tanaman.



Gambar 2. (a) Rancangan Fungsi Keanggotaan Suhu Akar dan Tajuk (b) Rancangan Fungsi Keanggotaan Kelembapan Akar dan Tajuk

Fungsi keanggotaan suhu dipilih empat buah nilai linguistik, yaitu Dingin, Sejuk, Normal, dan Panas. Sedangkan fungsi keanggotaan kelembapan dipilih lima buah nilai linguistik, yakni Basah, Normal dan Kering. Untuk nilai keanggotaan akan ditentukan berdasarkan jurnal kebutuhan tanaman. Derajat keanggotaan untuk variabel suhu tanaman yang menggunakan fungsi keanggotaan trapesium (dingin dan sejuk) dan segitiga (sejuk dan normal), di mana x merupakan suhu yang dibaca oleh sensor ditunjukkan pada persamaan (1) sampai (4).

$$Dingin(x) = \begin{cases} 1, & x < 15 \\ \frac{23-x}{23-19}, & 15 \leq x \leq 23 \\ 0, & 23 < x \end{cases} \quad (1)$$

$$Sejuk(x) = \begin{cases} 0, & x < 19 \\ \frac{x-19}{23-19}, & 19 \leq x \leq 23 \\ \frac{27-x}{27-23}, & 23 \leq x \leq 27 \\ 0, & 27 < x \end{cases} \quad (2)$$

$$Normal(x) = \begin{cases} 0, & x < 19 \\ \frac{x-23}{27-23}, & 23 \leq x \leq 27 \\ \frac{23-x}{23-27}, & 27 \leq x \leq 31 \\ 0, & 31 < x \end{cases} \quad (3)$$

$$Panas(x) = \begin{cases} 0, & x < 27 \\ \frac{x-27}{35-27}, & 27 \leq x \leq 35 \\ 1, & 35 < x \end{cases} \quad (4)$$

Misal suhu bagian yang dibaca oleh sensor adalah 22°C, maka suhu yang dibaca akan masuk ke anggota Dingin dan Sejuk.

$$Dingin(x) = \left\{ \frac{23-x}{23-19}, 15 \leq x \leq 23 \right. \quad (5)$$

Dimana $x = 22$, maka nilai keanggotaannya di Dingin adalah 0.25.

$$Sejuk(x) = \left\{ \frac{x-19}{23-19}, 19 \leq x \leq 23 \right. \quad (6)$$

Dimana $x = 22$, maka nilai keanggotaannya di Sejuk adalah 0.75. Sehingga nilai keanggotaan suhu 22°C di Dingin adalah 0.25 dan di Sejuk adalah 0.75.

Derajat keanggotaan untuk variabel kelembapan tanaman yang menggunakan fungsi keanggotaan trapesium (kering dan basah) dan segitiga (lembap), di mana y merupakan nilai kelembapan yang dibaca oleh sensor ditunjukkan persamaan (7) sampai (9).

$$Kering(y) = \begin{cases} 1, & y < 40 \\ \frac{45-y}{45-40}, & 40 \leq y \leq 45 \\ 0, & 45 < y \end{cases} \quad (7)$$

$$Lembap(y) = \begin{cases} 0, & y < 40 \\ \frac{y-40}{45-40}, & 40 \leq y \leq 45 \\ \frac{85-y}{85-80}, & 80 \leq y \leq 85 \\ 0, & 85 < y \end{cases} \quad (8)$$

$$Basah(y) = \begin{cases} 0, & x < 80 \\ \frac{y-80}{85-80}, & 80 \leq y \leq 85 \\ 1, & 85 < y \end{cases} \quad (9)$$

Misal kelembapan bagian tajuk yang dibaca oleh sensor adalah 82%, maka kelembapan yang dibaca akan masuk ke anggota Lembap dan Basah.

$$Lembap(y) = \left\{ \frac{85-y}{85-45}, 45 \leq y \leq 85 \right. \quad (10)$$

Dimana $y = 82$, maka nilai keanggotaannya di Lembap adalah 0.6.

$$Basah(y) = \begin{cases} \frac{y-80}{85-80}, & 80 \leq y \leq 85 \end{cases} \quad (11)$$

Dimana $y = 82$, maka nilai keanggotaannya di Basah adalah 0.4. Sehingga nilai keanggotaan kelembapan 82% di Lembap adalah 0.6 dan di Basah adalah 0.4.

Proses kedua adalah inferensi yang dilakukan untuk mendapatkan kesimpulan berdasarkan basis kaidah. Model yang digunakan adalah Sugeno. Model Sugeno digunakan pada penelitian ini karena lebih akurat dan proses komputasi yang lebih efisien dibandingkan metode fuzzy lain seperti Mamdani [11]–[13]. Proses inferensi terdiri dari tiga tahapan, yakni operasi logika *fuzzy*, implikasi, dan agregasi. Operasi logika yang digunakan adalah AND, metode implikasi yang digunakan adalah min, dan agregasi menggunakan metode *max*. Basis kaidah yang akan digunakan terdapat pada Tabel 2. Basis kaidah disusun berdasarkan kebutuhan tanaman.

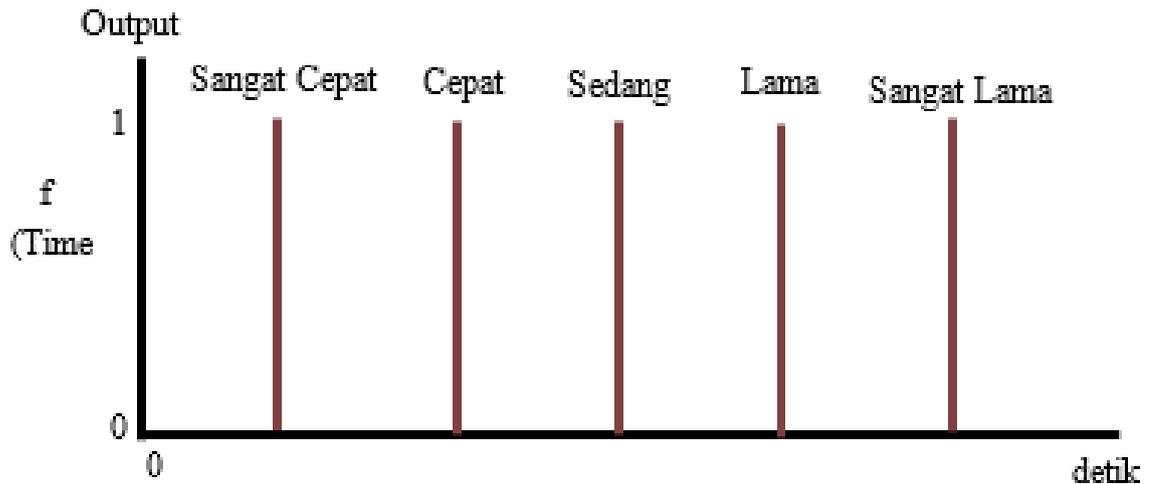
Tabel 2 (a) Rancangan Basis Kaidah Akar dan (b) Rancangan Basis Kaidah Tajuk
(a) (b)

Suhu RH	Dingin	Sejuk	Normal	Panas	Suhu RH	Dingin	Sejuk	Normal	Panas
Kering	Cepat	Sedang	Sedang	Sangat Lama	Kering	Sedang	Sedang	Lama	Sangat Lama
Lembap	Cepat	Cepat	Cepat	Lama	Lembap	Cepat	Cepat	Lama	Lama
Basah	Sangat Cepat	Sangat Cepat	Sangat Cepat	Sedang	Basah	Sangat Cepat	Cepat	Lama	Lama

Terdapat 12 *rule fuzzy* untuk masing-masing area, contohnya:

Jika *suhu tajuk = dingin* dan *kelembaban tajuk = kering* maka *durasi pengabutan tajuk = cepat*. Jadi, pompa bagian akar akan aktif dengan durasi waktu *cepat* sehingga kebutuhan suhu dan kelembapan tajuk dapat dipenuhi.

Pada penelitian ini, dipilih lima buah nilai linguistik untuk menentukan kondisi dari lama waktu penyalaan pompa, yaitu sangat cepat, cepat, sedang, lama, dan sangat lama dalam bentuk fungsi keanggotaan *singleton* sebagaimana terlihat pada Gambar 4.



Gambar 3. Rancangan Fungsi Keanggotaan *Output Fuzzy*

Penentuan *output* lama waktu penyalaan pompa akar dan tajuk berdasarkan hasil kendali *fuzzy*. Nilai variabel waktu akan ditentukan berdasarkan hasil percobaan pada sistem, yaitu Sangat Cepat: 5 detik, Cepat: 30 detik, Sedang: 60 detik, Lama: 90 detik, dan Sangat Lama: 120 detik.

Misal nilai suhu tajuk yang dibaca adalah 22°C, berdasarkan persamaan (5) dan (6) maka derajat keanggotaannya terdapat di Dingin sebesar 0.25 dan di Sejuk sebesar 0.75. Kemudian nilai kelembapannya 82%, berdasarkan persamaan (10) dan (11) maka derajat keanggotaannya adalah 0.6 di Lembap dan 0.4 di Basah. Maka proses inferensinya adalah:

- a) Dengan melihat Tabel 2.4 dan operasi logika AND, diperoleh:
 - IF Dingin AND Lembap, Then Durasi = Cepat.
 - IF Dingin AND Basah, Then Durasi = Sangat Cepat.
 - IF Sejuk AND Lembap, Then Durasi = Cepat.
 - IF Sejuk AND Basah, Then Durasi = Cepat.
- b) Gunakan metode implikasi Min.
 - Jika Suhu = Dingin (0.25) AND Kelembaban = Lembap (0.6), THEN Durasi is Cepat (0.25).
 - Jika Suhu = Dingin (0.25) AND Kelembaban = Basah (0.4), THEN Durasi is Sangat Cepat (0.25).
 - Jika Suhu = Sejuk (0.75) AND Kelembaban = Lembap (0.6), THEN Durasi is Cepat (0.6).
 - Jika Suhu = Sejuk (0.75) AND Kelembaban = Basah (0.4), THEN Durasi is Cepat (0.4).
- c)
- d) Selanjutnya gunakan metode agregasi Max.
 - Max(Cepat(0.25), Cepat(0.6), Cepat(0.4)) = Cepat(0.6) dan Sangat Cepat (0.75).

Maka dihasilkan durasi cepat dengan derajat keanggotaan (0.6) dan sangat cepat dengan derajat keanggotaan (0.75).

Proses terakhir pada perancangan kendali logika fuzzy adalah proses defuzzyfikasi yang merupakan proses untuk mengubah nilai *fuzzy* menjadi nilai tegas. Metode defuzzyfikasi yang digunakan adalah *weighted average* dengan rumus berdasarkan persamaan 12 [10].

$$z = \frac{w_1 z_1 + w_2 z_2 + \dots + w_n z_n}{w_1 + w_2 + \dots + w_n} \quad (12)$$

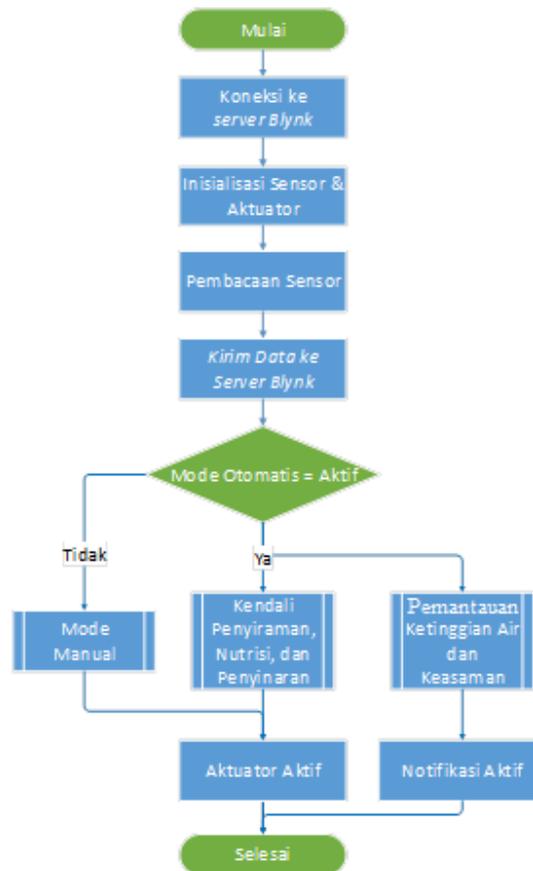
Misal hasil proses inferensi pada contoh sebelumnya diperoleh output durasi cepat dengan derajat keanggotaan (0.6) dan sangat cepat dengan derajat keanggotaan (0.75), maka proses defuzzifikasi ditunjukkan pada persamaan 13.

$$Durasi = \frac{Cepat(0.6) + Sangat\ Cepat(0.75)}{0.6 + 0.75} = \frac{30(0.6) + 5(0.75)}{0.6 + 0.75} = 16\ detik \quad (13)$$

Sehingga, durasi penyiraman bagian tajuk ketika suhunya 22°C dengan kelembapan 82% adalah 16 detik.

2.3 Perancangan Perangkat Lunak

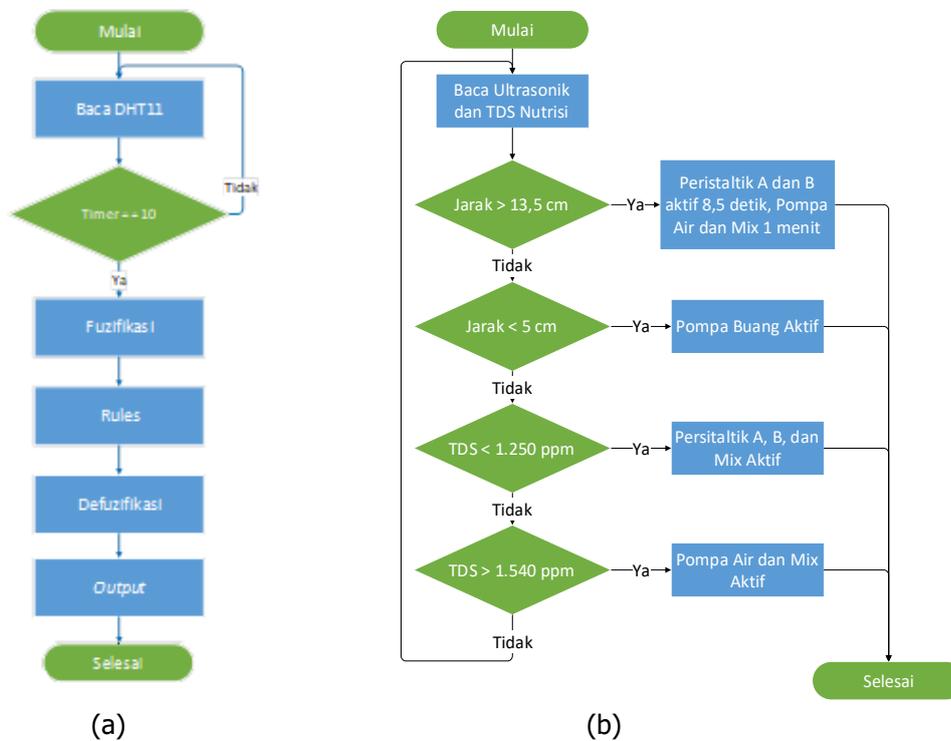
Raspberry Pi dipilih sebagai mikrokomputer yang akan digunakan dalam sistem dan terhubung dengan aplikasi Android *Blynk* melalui koneksi internet. Sistem terdiri dari mode otomatis dan mode manual yang dapat dipilih melalui aplikasi *Blynk*. Diagram alir kendali sistem ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 4. Diagram Alir Kendali Sistem

Seperti yang terlihat pada Gambar 5, setelah sistem dimulai, sistem dihubungkan dengan *server Blynk*, kemudian inisialisasi sensor dan aktuator dilakukan. Aktuator diatur agar tidak aktif, kemudian *timer* dinyalakan dan diatur mulai dari 0. Apabila mode manual aktif, maka aktuator akan dikendalikan melalui tombol yang tersedia pada antarmuka. Sedangkan apabila pengguna memilih mode otomatis, maka pengendalian penyiraman akar dan tajuk, nutrisi, dan penyinaran akan dilakukan secara otomatis. Diagram alir kendali otomatis ditunjukkan pada Gambar 2.7 dan 2.8.

Gambar 6 (a) memperlihatkan proses penalaran *fuzzy* pada sistem kendali suhu dan kelembapan pada bagian akar dan tajuk, diawali dengan pembacaan input dari sensor suhu dan kelembapan akar dan tajuk tanaman menggunakan sensor DHT11. Apabila pewaktu telah menghitung hingga sepuluh menit, maka kendali *fuzzy* akan aktif sesuai dengan jurnal penelitian sebelumnya [5], dan menghasilkan output durasi penyiraman. Namun apabila pewaktu belum menghitung hingga sepuluh menit, maka pembacaan sensor suhu dan kelembapan terus dilakukan.



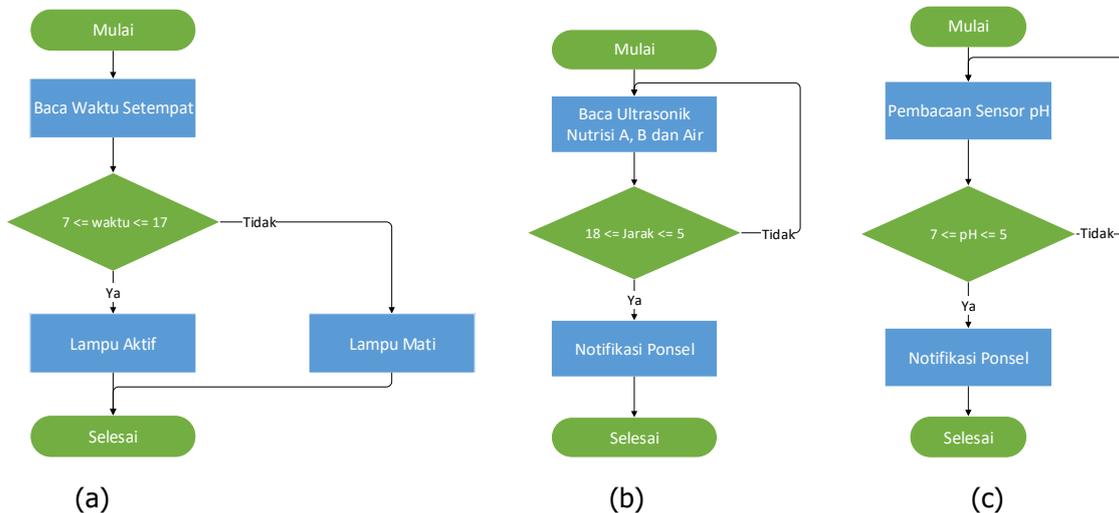
Gambar 5. (a) Diagram Alir Kendali Penyiraman dan (b) Kendali Nutrisi

Untuk nutrisi, kendali dilakukan dengan sistem lup tertutup dengan parameter tinggi permukaan nutrisi pada tandon nutrisi dan nilai kandungan TDS dalam satuan ppm. Volume cairan nutrisi akan diukur menggunakan sensor ultrasonik dan kadar TDS akan diukur menggunakan sensor TDS. Seperti yang terlihat pada Gambar 6 (b), apabila ketinggian nutrisi mencapai nilai minimum, yakni 13,5 cm, maka pompa peristaltik A dan B akan secara otomatis aktif selama 8,5 detik disertai aktifnya pompa air dan pengaduk selama 1 menit. Namun, apabila ketinggian tandon nutrisi mencapai 5 cm atau lebih, maka pompa buang akan aktif untuk membuang kelebihan air nutrisi. Hal tersebut dilakukan untuk melakukan pengisi ulangan volume tandon nutrisi dan mengendalikan nilai nutrisi hingga sesuai kebutuhan. Selanjutnya, apabila nilai TDS nutrisi kurang dari 1.250 ppm, maka pompa peristaltik A dan B akan aktif bersamaan dengan pompa pengaduk. Namun, apabila

kandungan TDS lebih dari 1.540, pompa air dan pompa pengaduk yang akan aktif sehingga nilai nutrisi yang didapat sesuai dengan kebutuhan tanaman.

Gambar 6 (a) merupakan alur kerja kendali penyinaran secara otomatis dengan kendali lup terbuka yang berpatokan pada waktu lingkungan sekitar, merujuk pada kebutuhan tanaman stroberi yang memerlukan pencahayaan 8-10 jam sehari [8]. LED yang digunakan berwarna merah dan biru sesuai rekomendasi penelitian terdahulu untuk menaikkan kualitas dan produktivitas buah stroberi.

Pemantauan ketinggian digunakan untuk mengukur volume cairan nutrisi pada tandon nutrisi dan ketersediaan volume cairan bagian nutrisi A, nutrisi B, dan air. Sensor yang digunakan untuk mengukur volume cairan di sistem ini merupakan sensor ultrasonik. Seperti yang terlihat pada Gambar 6 (b), bila sensor ultrasonik membaca nilai jarak cairan terhadap sensor lebih dari 18 cm, maka akan ada notifikasi masuk ke ponsel pengguna yang memberitahukan hal tersebut. Begitu pun bila jarak cairan terhadap sensor kurang dari 5 cm, maka notifikasi akan masuk ponsel pengguna. Pengguna kemudian dapat melakukan pengisian terhadap nutrisi A, B, maupun air secara manual.



Gambar 6 (a) Diagram Alir Kendali Penyinaran, (b) Pemantauan Tinggi Nutrisi A, B, dan Air, dan (c) Pemantauan Tingkat Keasaman Nutrisi

Gambar 6 (c) merupakan diagram alir pemantauan tingkat keasaman terhadap air nutrisi di bak pencampuran. Ketika nilai pH yang dibaca oleh sensor lebih kecil dari 5 maupun lebih besar dari tujuh, notifikasi akan masuk ke ponsel pengguna. Pengguna kemudian dapat mengatur tingkat keasaman pada tempat nutrisi.

3 HASIL

3.1 Hasil Aktualisasi Perancangan

Sistem yang telah dirancang kemudian direalisasikan dan diintegrasikan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7. Tinggi sistem adalah 1.050 cm, lebar 40 cm, dan panjang 60 cm. Sebanyak 6 tanaman stroberi ditanam pada sistem dengan jarak antara tanaman 15 cm. Daya tampung nutrisi adalah 3 liter, nutrisi A 1,5 liter, nutrisi B 1,5 liter, dan air 7 liter.



Gambar 7. Hasil Aktualisasi Perancangan

3.2 Pengujian Sensor

3.2.1 Sensor DHT11

Pengujian sensor DHT11 dilakukan untuk mendapatkan ketepatan saat melakukan pembacaan suhu dan kelembapan lingkungan pada wilayah tajuk dan akar tanaman. Untuk melakukan pengujian sensor, dilakukan perbandingan nilai suhu dan kelembapan DHT11 terhadap nilai suhu dan kelembapan higrometer.

Tabel 3. Hasil Pengujian Sensor DHT11

No	Data DHT11		Higrometer		Eror Relatif	
	Suhu (°C)	Kelembapan (%)	Suhu (°C)	Kelembapan (%)	Suhu (%)	Kelembapan (%)
1	26.0	76	25.2	75	3.1	1.3
2	25.0	77	25.1	76	0.4	1.3
3	25.0	76	25.1	75	0.4	1.3
4	25.0	78	25.1	77	0.4	1.3
5	25.0	81	25.1	80	0.4	1.2
6	25.0	84	25.0	83	0.0	1.2
7	25.0	78	25.0	78	0.0	0.0
8	25.0	79	24.9	78	0.4	1.3
9	25.0	77	24.9	77	0.4	0.0
10	25.0	82	24.9	80	0.4	2.4
Rata-rata	25.1	79	25.0	78	0.6	1.1

Data Tabel 3 menunjukkan bahwa sensor DHT11 memiliki rata-rata eror relatif suhu sebesar 0.6% dan kelembapan sebesar 1.1% terhadap higrometer. Higrometer yang digunakan adalah higrometer yang dilengkapi dengan *probe* untuk dapat langsung mengukur suhu dan kelembapan tanpa terhalang apapun, sehingga data perbandingan dapat diandalkan.

3.2.2 Sensor ultrasonik HY-SRF05

Pengujian sensor ultrasonik dilakukan untuk dapat menentukan nilai ketelitian sensor saat membaca jarak sensor terhadap cairan dalam sistem sehingga pengendalian volume cairan pada sistem dapat dilakukan. Terdapat empat unit sensor ultrasonik yang digunakan pada sistem, yakni sensor untuk mengukur tinggi air, nutrisi A, nutrisi B, dan air nutrisi AB mix. Untuk mendapat data dan ketepatan yang lebih baik, dilakukan pengujian pada keempat sensor secara bergantian. Data dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Hasil Pengujian Sensor Ultrasonik HY-SRF05

Jarak (cm)	Air		Nutrisi A		Nutrisi B		AB Mix	
	SRF05 (cm)	Error Relatif (%)						
5.0	5.1	2.0	4.9	2	5.0	0	5.0	0
6.0	6.1	1.7	6.2	3.3	6.0	0	6.0	0
7.0	7.0	0.0	7.1	1.4	7.0	0	7.0	0
8.0	8.0	0.0	8.1	1.3	8.0	0	8.2	2.5
9.0	9.0	0.0	9.0	0	9.0	0	9.1	1.1
10.0	10.0	0.0	10.0	0	10.0	0	10.1	1
11.0	11.0	0.0	11.0	0	11.0	0	11.0	0
12.0	12.0	0.0	11.9	0.8	11.9	0.8	11.9	0.8
13.0	13.0	0.0	13.1	0.8	13.0	0	13.0	0
14.0	14.0	0.0	14.1	0.7	14.0	0	14.1	0.7
15.0	15.0	0.0	15.0	0	15.0	0	15.0	0
16.0	16.0	0.0	16.0	0	16.0	0	16.0	0
17.0	17.0	0.0	17.0	0	17.0	0	17.0	0
18.0	18.0	0.0	18.0	0	18.0	0	18.0	0
19.0	19.0	0.0	19.0	0	19.0	0	19.0	0
20.0	20.0	0.0	20.0	0	20.0	0	20.0	0
Rata-rata Error Relatif		0.2		0.6		0.1		0.4

Dari keseluruhan data, dapat disimpulkan bahwa sensor ultrasonik yang digunakan memiliki nilai eror relatif sebesar 0.3% dengan penyimpangan ± 0.2 mm.

3.3 Pengujian Aktuator

Pengujian aktuator terdiri dari pengujian pompa peristaltik DC dan Pompa DC. Pompa peristaltik DC digunakan untuk memberi takaran larutan A dan B sehingga kandungan nutrisi yang dibutuhkan tanaman dapat tercapai. Oleh karena itu, dilakukan pengujian data debit keluaran pompa peristaltik agar penakaran nutrisi dapat dilakukan dengan tepat.

Pompa DC digunakan saat proses pencampuran nutrisi untuk memberi takaran air sebagai pelarut nutrisi larutan A dan B sehingga kandungan nutrisi yang dibutuhkan tanaman dapat tercapai. Tabel 5 (a) merupakan pengujian durasi aktif pompa peristaltik dalam satuan detik terhadap jumlah keluaran dalam satuan ml. Alat ukur yang digunakan untuk mengukur jumlah keluaran cairan adalah sendok takar dengan ketelitian 2.5 ml dan gelas ukur dengan ketelitian 100ml. Tabel 5 (b) merupakan pengujian durasi aktif pompa DC dalam satuan detik terhadap jumlah keluaran dalam satuan ml.

Alat ukur yang digunakan untuk mengukur jumlah keluaran cairan adalah gelas ukur dengan ketelitian 100ml.

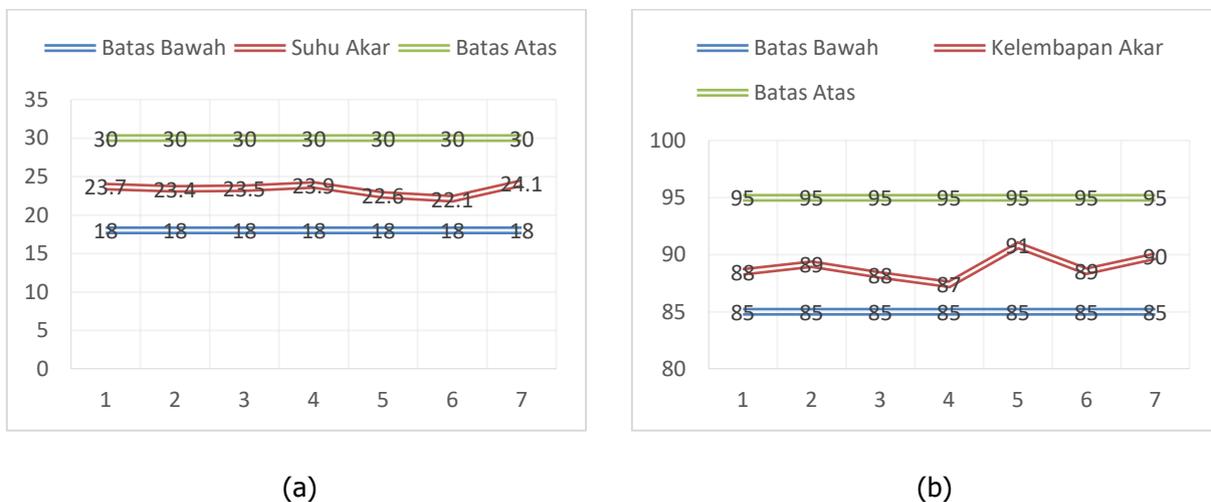
Tabel 5 (a) Hasil Pengujian Pompa Peristaltik dan (b) Pengujian Pompa DC

(a)			(b)		
No	Durasi (s)	Keluaran (ml)	No	Durasi (s)	Keluaran (ml)
1	2.5	5	1	6	100
2	5	10	2	12	200
3	7.5	15	3	18	300
4	10	20	4	24	400
5	12.5	25	5	30	500
6	15	30	6	36	600
7	20	40	7	42	700
8	30	60	8	60	1.000
9	50	100	9	90	1.500

Data pada Tabel 7 menunjukkan bahwa durasi pompa peristaltik dan pompa DC linear terhadap keluarannya. Dengan begitu, pengendalian pompa peristaltik sebagai aktuatur untuk penakaran nutrisi dapat dilakukan dan diandalkan.

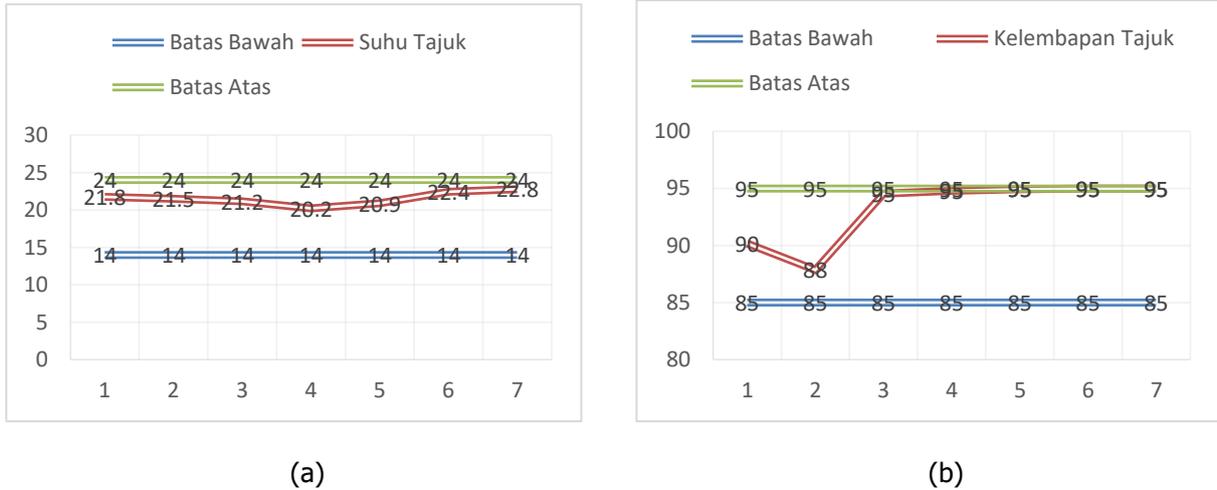
3.4 Pengujian Suhu dan Kelembapan Akar dan tajuk

Pengujian pengendalian suhu dan kelembapan pada bagian akar dan tajuk tanaman dilakukan untuk mengukur ketercapaian sistem kendali *fuzzy* yang digunakan pada sistem. Pengujian suhu dan kelembapan dilakukan selama satu minggu untuk mendapatkan data rata-rata suhu dan kelembapan bagian akar dan tajuk tanaman. Rentang suhu akar yang dijadikan acuan adalah 18-30°C, sementara kelembapannya adalah 80-90%. Tabel berikut merupakan rata-rata data harian selama tujuh hari.



Gambar 8 (a) Kurva Rata-rata Suhu Akar Harian dan (b) Kurva Rata-rata Kelembapan Akar Harian

Gambar 8 (a) menunjukkan bahwa suhu rata-rata harian bagian akar masuk dalam rentang suhu yang telah ditentukan, yakni di antara 18-30°C, sementara rata-rata suhu dalam tujuh hari tersebut adalah 23,3°C. Kurva pada Gambar 8 (b) menunjukkan bahwa nilai kelembapan daerah perakaran pun telah masuk ke dalam rentang nilai kelembapan yang seharusnya, yakni 85-95%. Sementara, kelembapan rata-ratanya adalah 89%.

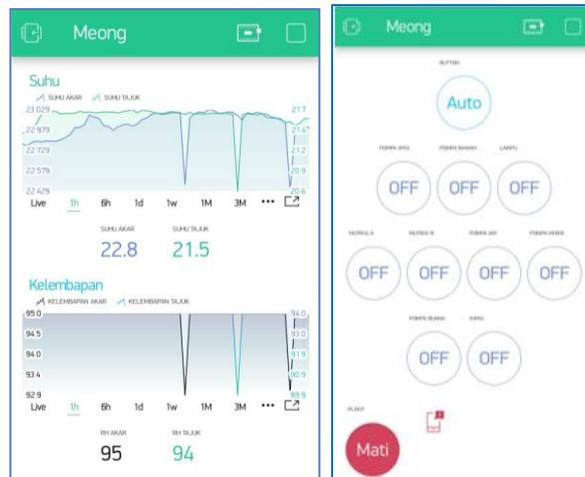


Gambar 9 (a) Kurva Rata-rata Suhu Tajuk Harian dan (b) Kurva Rata-rata Kelembapan Tajuk Harian

Pada Gambar 9 (a) terlihat bahwa suhu rata-rata harian tajuk masuk dalam rentang suhu yang telah ditentukan, yakni di antara 14-25°C, sementara rata-rata suhu dalam tujuh hari tersebut adalah 21,5°C. Kurva suhu cenderung semakin naik, dikarenakan cuaca lingkungan yang juga semakin naik. Gambar 9 (b) merupakan kurva rata-rata kelembapan tajuk harian, terlihat dari kurva bahwa nilai kelembapan bagian tajuk telah masuk ke dalam rentang nilai kelembapan yang seharusnya, yakni 85-95%. Sementara, kelembapan rata-ratanya adalah 93%. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kendali *fuzzy logic* mampu mempertahankan suhu dan kelembapan akar dan tajuk tanaman pada rentang suhu dan kelembapan yang sesuai untuk pertumbuhan tanaman stroberi.

3.5 Pengujian Aplikasi Antarmuka

Pengujian aplikasi antarmuka bertujuan untuk menguji fitur-fitur yang dibuat telah berfungsi dan untuk mengetahui *delay* yang terjadi. Pada bagian *monitoring*, data sensor-sensor telah dapat terhubung dengan baik dan dapat ditampilkan dengan *delay* sebesar 1 detik dengan catatan koneksi internet lancar. Aplikasi dapat menampilkan pembacaan sensor dalam bentuk grafik maupun label seperti pada Gambar 10.



Gambar 10 Data Sensor dalam Grafik dan Label pada Antarmuka dan Tombol Manual Antarmuka

Pada kurva suhu, pengguna dapat melihat data suhu baik pada bagian akar maupun tajuk dalam beberapa rentang waktu, seperti *real time*, 1 jam, 6 jam, 1 hari, 1 minggu, 1 bulan, serta 3 bulan. Hal tersebut juga berlaku pada bagian kurva kelembapan. Pengujian antarmuka juga dilakukan pada mode manual, dengan cara menyalamatkan aktuator menggunakan tombol antarmuka. Pengujian dilakukan dengan menekan tombol selama beberapa kali untuk mengambil data *delay* dengan variabel jarak yang tetap. Hasil pengujian menunjukkan rata-rata *delay* sebesar 1 detik. Artinya ketika tombol ditekan maka output akan on/off dengan delay 1 detik setelah tombol ditekan. Durasi *delay* bergantung pada koneksi jaringan internet.

4 KESIMPULAN

Berdasarkan pengujian yang dilakukan terhadap sistem kendali sistem yang dibangun dan selama proses penyusunan penelitian ini, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Perancangan dan pembuatan *prototipe* sistem pengendalian periode dan lama penyemprotan akar dan tajuk tanaman berdasarkan data suhu dan kelembapan tanaman pada teknik aeroponik dapat dilakukan dengan menggunakan kendali logika *fuzzy*. Rata-rata suhu akar masuk ke dalam rentang kebutuhan yakni 23,3°C di antara rentang 18-30°C dan rata-rata kelembapan akar juga masuk ke dalam rentang kebutuhan, yakni 89% di antara 85-95%. Rata-rata suhu akar masuk ke dalam rentang kebutuhan yakni 21,5°C di antara rentang 14-25°C. Sementara, rata-rata kelembapan tajuk juga masuk ke dalam rentang kebutuhan, yakni 93% di antara 85-95%.
2. Kendali *fuzzy logic* mampu mempertahankan suhu dan kelembapan akar dan tajuk tanaman pada rentang suhu dan kelembapan yang sesuai untuk pertumbuhan tanaman stroberi.
3. Sistem pemantauan dan pengendalian sistem aeroponik dapat dilakukan dari jarak jauh dengan menggunakan aplikasi *smartphone Android Blynk* dengan *delay* rata-rata 1 detik pada saat koneksi internet lancar.

5 REFERENSI

- [1] R. W. Senewe, A. E. Loho, dan M. L. Sondakh, "Faktor Penunjang dan Penghambat Usaha Tani Stroberi di Kelurahan Rurukan dan Rurukan Satu, Kecamatan Tomohon Timur, Kota Tomohon," *J. Ilm. Sos. Ekon. Pertan.*, vol. 12, no. 1A, hal. 145–154, 2017.
- [2] M. D. Sardare dan S. V Admane, "a Review on Plant Without Soil - Hydroponics," *Int. J. Res. Eng. Technol.*, vol. 02, no. 03, hal. 299–304, 2013.
- [3] A. Alshrouf, "Hydroponics, Aeroponic and Aquaponic as Compared with Conventional Farming," *Am. Sci. Res. J. Eng. Technol. Sci.*, vol. 27, no. 1, hal. 247–255, 2017.
- [4] M. Barkavi, M. I. M. S.A, V. Moneesha, K. Naveen, dan Y. Sathya, "Urban based Agriculture using Aeroponic Technology," *Int. Res. J. Eng. Technol.*, vol. 06, no. 03, hal. 2182–2185, 2019.
- [5] M. I. Sani, S. Siregar, A. P. Kumiawan, R. Jauhari, dan C. N. Mandalahi, "Web-based monitoring and control system for aeroponics growing chamber," in *ICCEREC 2016 - International Conference on Control, Electronics, Renewable Energy, and Communications 2016, Conference Proceedings*, 2016, hal. 162–168.
- [6] S. C. Kerns dan J.-L. Lee, "Automated Aeroponics System Using IoT for Smart Farming," in *International Scientific Forum*, 2017, no. September, hal. 104–110.
- [7] A. Safrimawan dan A. D. Futra, "Sistem Kontrol Pemberian Nutrisi pada Budi Daya

- Tanaman Aeroponik Berbasis Fuzzy Logic," *J. Appl. Electr. Eng.*, vol. 3, no. 1, hal. 19–23, 2019.
- [8] A. Hardanto, A. Mustofa, dan S. Sumarni, "Drip Irrigation Method and Organic Matter Composition on Strawberry Cultivation," *J. Keteknikan Pertan.*, vol. 23, no. 1, hal. 15–24, 2009.
- [9] I. A. Lakhari, G. Jianmin, T. N. Syed, F. A. Chandio, N. A. Buttar, dan W. A. Qureshi, "Monitoring and control systems in agriculture using intelligent sensor techniques: A review of the aeroponic system," *J. Sensors*, vol. 2018, no. December, hal. 1–18, 2018.
- [10] F. Suryatini, M. Maimunah, dan F. I. Fauzandi, "Implementasi Sistem Kontrol Irigasi Tetes Menggunakan Konsep IoT Berbasis Logika Fuzzy Takagi-Sugeno," *JTERA (Jurnal Teknol. Rekayasa)*, vol. 4, no. 1, hal. 115–124, 2019.
- [11] J. V. Dos Reis, T. R. Raddo, A. L. Sanches, dan B. H. V. Borges, "Comparison between Mamdani and Sugeno fuzzy inference systems for the mitigation of environmental temperature variations in OCDMA-PONs," in *International Conference on Transparent Optical Networks*, 2015, hal. 1–4.
- [12] S. Tripathi, A. Upadhyay, S. Kotyan, dan S. Yadav, "Analysis and Comparison of Different Fuzzy Inference Systems Used in Decision Making for Secondary Users in Cognitive Radio Network," *Wirel. Pers. Commun.*, vol. 104, no. 3, hal. 1175–1208, 2019.
- [13] H. Zaher, A. Kandil, dan R. Fahmy, "Comparison of Mamdani and Sugeno Fuzzy Inference Systems for Prediction (With Application to Prices of Fund in Egypt)," *Br. J. Math. Comput. Sci.*, vol. 4, no. 21, hal. 3014–3022, 2014.

