

PERANCANGAN SISTEM REKAYASA LINGKUNGAN SMART GREENHOUSE MENGGUNAKAN FUZZY LOGIC CONTROLLER PADA TANAMAN CABAI

Luthfi Gani Hakim*), Aghus Sofwan, Aris Triwiyatno

Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

*)E-mail: luthfigani1@gmail.com

Abstrak

Di Indonesia cabai dapat ditanam di berbagai lahan, baik di sawah atau tegalan, pesisir laut, hingga pegunungan. Akan tetapi, produksi cabai kurang bagus, hanya meningkat sedikit demi sedikit dan tidak sebanding dengan pesatnya kebutuhan pasar. Usaha diperlukan dorongan dari kemajuan teknologi agar pembudidayaan tanaman cabai lebih efisien. Smart Greenhouse adalah salah satu teknologi yang dapat digunakan untuk membantu manusia agar dapat memproduksi sendiri tanaman cabai. Konsep smart greenhouse adalah integrasi data ke internet yang terhubung dengan database yang dapat diakses menggunakan aplikasi android smartphone dengan fitur-fitur seperti reporting, update feeds, maupun controlling. DHT22 digunakan sebagai sensor pembacaan suhu dan kelembaban udara pada Greenhouse, Moisture Sensor sebagai sensor pembacaan kelembaban tanah. Pengendalian Fuzzy logic Controller digunakan untuk pengendalian suhu, kelembaban udara dan kelembaban tanah pada Greenhouse. Dari pengujian yang dilakukan pengendalian Fuzzy Logic Controller yang diterapkan dapat mencapai suhu referensi pada 27°C dalam waktu 465 detik, pada pengendalian kelembaban udara dapat mencapai range 80% dalam waktu 150 detik dan pengendalian kelembaban tanah dapat mencapai range 80% kelembaban tanah dalam waktu 10 detik.

Kata kunci: Green House, Rumah Kaca, DHT22, Moisture Sensor, Suhu, Kelembaban Udara, Kelembaban Tanah, Metode Fuzzy Logic Controller, Internet of Things

Abstract

In Indonesia, chili can be planted in various areas, both in the fields or moor, sea coast, and mountains. However, chili productions is not good, it is only increasing little by little and is not proportional to the rapid market needs. Efforts are needed to encourage the advancement of technology so that chili cultivation is more efficient. Smart Greenhouse is one of technology that can be used to help humans produce their own chili plants. The concept of smart greenhouse is the integration of data into the internet that connected to a accessed database using an android smartphone application compatible with features such as reporting, updating feeds, and controlling. DHT 22 is used as a sensor for reading temperature and humidity in Greenhouse, Moisture Sensor is a sensor for reading soil moisture. Fuzzy Logic Controller is applied for controlling temperature, humidity and soil moisture in Greenhouse. From the testing that has been done, Fuzzy Logic Controller that is applied can reach the reference temperature at 27°C in 465 seconds, the humidity control can reach 80% in 150 seconds and the soil moisture control can reach 80% in 10 seconds.

Keyword : Greenhouse, DHT22, Moisture Sensor, Temperature, Humidity, Soil Moisture, Fuzzy Logic Controller, Internet of Things

1. Pendahuluan

Cabai (*Capsicum Annum L*) adalah tanaman semusim yang banyak ditanam diseluruh Indonesia karena nilai ekonomisnya yang tinggi. Buah cabai ini memiliki beragam manfaat, mulai untuk bahan masakan, bahan industri, obat-obatan, zat pewarna dan lain-lain [1]. Permintaan pasar pun bertambah setiap tahun seiring dengan semakin banyaknya penggunaan cabai [2]. Di Indonesia cabai dapat ditanaman di berbagai lahan, baik di

sawah atau tegalan, pesisir laut, hingga pegunungan. Akan tetapi, produksi cabai kurang bagus, hanya meningkat sedikit demi sedikit dan tidak sebanding dengan pesatnya kebutuhan pasar.

Beberapa faktor juga menjadi kendala atas keberhasilan panen para petani. Diantara faktor tersebut adalah musim hujan yang panjang, sinar matahari yang kurang efisien, dan serangan dari hama. Usaha peningkatan produksi cabai dapat ditempuh dengan usaha intensifikasi. Usaha

intensifikasi adalah usaha mengoptimalkan faktor alam yang mempengaruhi produktivitas tanaman cabai meliputi pengelolaan tanah, udara, dan air. Pada usaha ini diperlukan dorongan dari kemajuan teknologi agar pembudidayaan tanaman cabai lebih efisien [3].

Dewasa ini banyak teknologi yang dapat digunakan untuk mendukung kegiatan bercocok tanam di kebun sendiri. *Smart Greenhouse* adalah salah satu teknologi yang dapat digunakan untuk membantu manusia agar dapat memproduksi sendiri tanaman cabai. Dengan menggunakan *smart greenhouse* manusia tidak perlu merawat tanaman dengan intensitas yang tinggi. Pengawasan juga dapat dilakukan dengan lebih cermat dengan adanya *monitoring* melalui *smartphone* [4].

Konsep *smart greenhouse* adalah integrasi data ke internet yang terhubung dengan database yang dapat diakses menggunakan aplikasi android *smartphone* dengan fitur-fitur seperti *reporting*, *update feeds*, maupun *controlling*. *Updating* tersebut berasal dari hasil maupun informasi yang didapatkan secara langsung melalui perangkat Arduino yang terhubung dalam arsitektur *Internet of Things* (IoT) sehingga dapat diakses secara *real-time* dari berbagai lokasi dengan menggunakan koneksi internet.

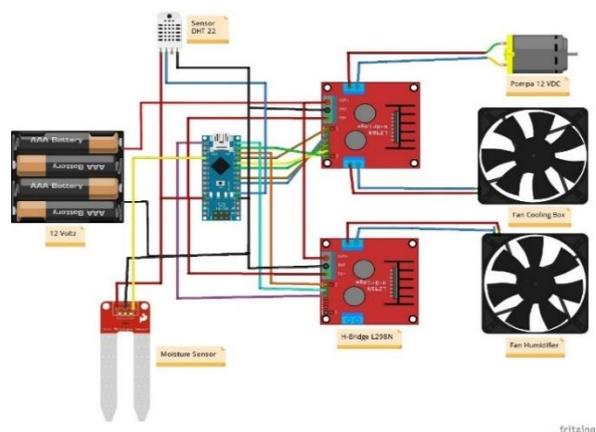
Terdapat beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya yang membahas pengontrolan iklim, akan tetapi terdapat beberapa kelemahan antara lain hanya mengontrol intensitas cahaya dengan kontrol proporsional [5], mengontrol suhu dengan sistem pendingin yang cukup rumit [6], mengontrol suhu dengan metode *fuzzy* menggunakan sistem pemanas yang digunakan untuk menaikkan suhu [7], dan mengontrol suhu dengan metode PID menggunakan sistem pemanas yang digunakan untuk menaikkan suhu [8].

Penelitian ini dilakukan dengan merancang sebuah purwarupa *greenhouse* sebagai media untuk merekayasa lingkungan pada tanaman cabai. Masukan yang digunakan adalah parameter-parameter yang dideteksi menggunakan sensor yang di tempatkan pada beberapa titik area di dalam *greenhouse*. Keluaran pada sistem tersebut adalah pengaktifan aktuator untuk menjaga kondisi pertumbuhan tanaman cabai. Parameter-parameter diolah dengan menggunakan metode kontrol *fuzzy logic controller* (FLC). Logika *fuzzy* digunakan sebagai metode pengendali dalam bentuk aturan-aturan *Jika-Maka (If- Then Rules)*, sehingga proses pengendalian akan mengikuti pendekatan secara linguistik. Untuk mengimplementasikan variabel linguistik harus diketahui *error* (kesalahan) yaitu selisih dari keluaran sistem yang dikendalikan dengan *set point* (referensi) yang diinginkan. Hasil pengolahan data *fuzzy* tersebut diintegrasikan dengan arsitektur *Internet of Things* (IoT).

2. Metode

2.1. Catu Daya

Pada penelitian ini perancangan perangkat keras meliputi mikroprosesor arduino nano sebagai pengendali sekaligus mengolah data pada tiap parameter menggunakan metode *fuzzy logic controller*. Sensor DHT22 sebagai sensor suhu dan kelembaban udara, *Moisture Sensor* sebagai sensor kelembaban tanah, *ultrasonic mist maker* sebagai alat penghasil embun/kabut yang diletakkan di dalam *humidifier*, *relay* sebagai pengatur *on* dan *off* dari *ultrasonic mist maker* yang disuplai oleh tegangan 24 Volt DC. Hasil dari pengolahan data pada tiap parameter ditransmisikan untuk mengendalikan nilai PWM pada kecepatan putar kipas pendingin, kipas *humidifier* dan pompa air yang disuplai oleh tegangan 12 VDC. Secara garis besar, hubungan antar sistem pada *prototype simulator* dan kontroler *greenhouse* ditunjukkan oleh *wiring diagram* pada Gambar 1.



Gambar 1. Wiring diagram dari perangkat Greenhouse

Penjelasan dari masing-masing sensor dan aktuator pengendali rekayasa lingkungan *Greenhouse* pada Gambar 1 adalah sebagai berikut :

1. Sensor DHT 22 merupakan sensor yang akan mendeteksi perubahan suhu dan kelembaban udara pada ruangan. Keluaran sensor ini berupa tegangan digital yang telah terkalibrasi[9].
2. *Moisture Sensor* merupakan sensor yang akan mendeteksi nilai kelembaban tanah. Keluaran sensor ini berupa nilai analog yang belum terkalibrasi[10].
3. *Ultrasonic Mist Maker* merupakan alat yang dapat mengubah air menjadi kabut atau embun menggunakan proses *ultrasonic atomization*. Alat ini berada di dalam aktuator *Humidifier* dan disuplai tegangan 24 Volt DC yang dikontrol secara *on* dan *off* menggunakan *relay*.
4. *Humidifier* merupakan aktuator yang berfungsi untuk meningkatkan kelembaban udara pada ruangan *greenhouse*.

5. Kipas (fan) DC berfungsi untuk menghembuskan/menyebarkan udara dingin pada *cooling box* dan menyebarkan embun pada *humidifier*[11].
6. *Relay* berfungsi sebagai pengontrol tegan 24 V DC untuk mengendalikan *ultrasonic mist maker*.
7. Power supply sebagai penyupali arus listrik bertegangan 12 volt DC.
8. *Motor Driver L298N* merupakan modul yang dapat mengendalikan kecepatan putar dan arah putaran motor DC. Modul L298N dapat mengendalikan dua motor sekaligus. Pada *prototype greenhouse* digunakan 2 buah modul L298N[12].
9. Pompa 12 VDC sebagai alat penyiraman otomatis.

2.2. Perancangan Kontroler

Pada penelitian ini parameter-parameter di dalam *greenhouse* dikendalikan menggunakan *fuzzy logic* yang menghasilkan sinyal kontrol PWM untuk menggerakkan aktuator berupa pompa 12 VDC dan dua buah kipas 12 VDC. *Fuzzy logic* yang digunakan memiliki 2 masukan dan 1 keluaran yaitu masukan *error* dan perubahan *error* pada parameter suhu dan masukan *error* pada parameter kelembaban tanah dan kelembaban udara. *Error* aktual pertama merupakan selisih antara nilai referensi dengan nilai hasil pembacaan sensor. Selisih antara nilai referensi dengan nilai umpan balik hasil pembacaan sensor disebut dengan *error* aktual kedua. Perubahan *error* merupakan selisih antara *error* aktual pertama dengan *error* aktual kedua. Serangkaian proses kendali *fuzzy* tersebut membutuhkan dua parameter utama yaitu fungsi keanggotaan (*membership function*) dan aturan dasar (*rule base*)[13].

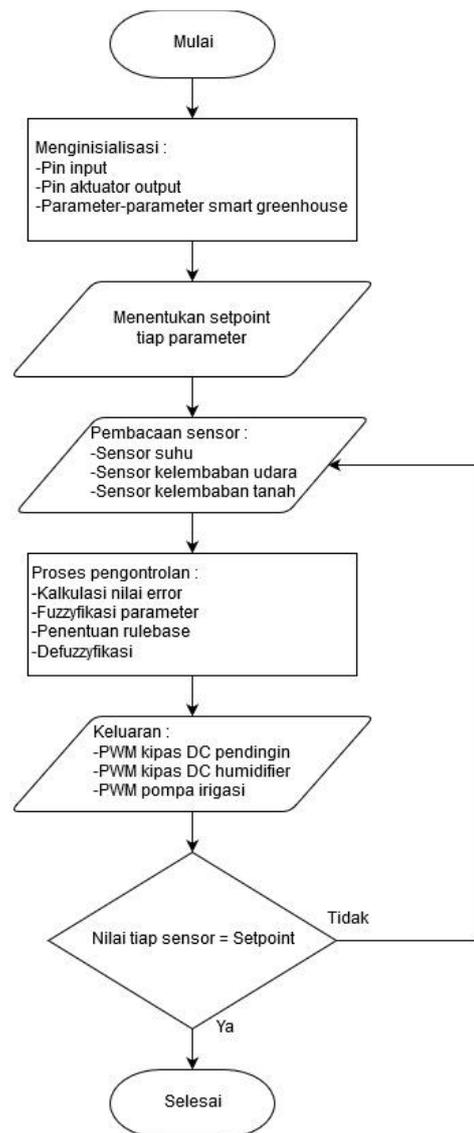
2.2.1. Algoritma Sistem Kontrol

Perancangan sistem kontrol meliputi perancangan metode logika *fuzzy* untuk mendapatkan nilai dari parameter PWM kipas DC untuk suhu dan kelembaban udara dan PWM pompa irigasi untuk kelembaban tanah. Berikut adalah algoritma sistem kontroler pada *smart greenhouse*.

Gambar 2 merupakan diagram alir untuk algoritma kerja sistem *smart greenhouse*. Tahapan-tahapan pada diagram alir tersebut dapat diuraikan sebagai berikut :

1. Mulai
2. Menginisialisasi *port input* yang digunakan sebagai *input* dan *port* aktuator *output* yang digunakan sebagai *output*. Kemudian inialisasi nilai-nilai parameter dari sistem *smart greenhouse*.
3. Menentukan nilai setpoint yang diinginkan untuk tiap parameter.
4. Membaca nilai parameter suhu, kelembaban udara, dan kelembaban tanah oleh sensor.
5. Melakukan proses pengontrolan dimulai dengan menghitung nilai *error* dan Δ *error*. *Error* merupakan selisih antara *setpoint* dengan parameter yang terukur

- oleh sensor. Δ *Error* merupakan selisih antara *error* pembacaan terakhir dengan *error* sebelumnya.
6. Menentukan *fuzzyfikasi* dan memproses nilai *error* dan Δ *error* untuk mendapatkan aturan basis (*rule base*) dan memperoleh nilai PWM keluaran melalui proses defuzzyfikasi.
7. Aktuasi kipas DC dan pompa irigasi berdasarkan nilai PWM yang telah diperoleh.
8. Sistem melakukan *loop* dan kembali pada tahap pembacaan sensor.
9. Selesai

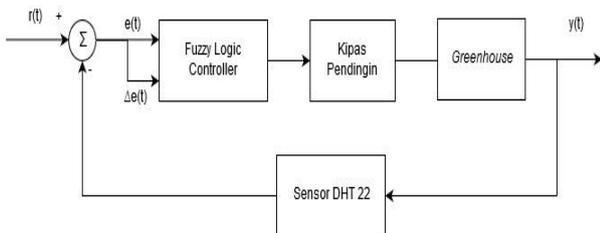


Gambar 2 Diagram alir *smart greenhouse*

2.2.2. Kendali Logika Fuzzy Parameter Suhu

Kendali *fuzzy* pada parameter suhu dirancang dengan dua masukan yaitu *error* dan perubahan *error*, serta satu keluaran. Masukan diolah melalui serangkaian proses mulai dari *fuzzifikasi* hingga *defuzzifikasi* dan

menghasilkan sinyal kendali untuk mengendalikan kecepatan putar kipas DC dalam sistem kendali suhu. Serangkaian proses kendali fuzzy tersebut membutuhkan dua parameter utama yaitu fungsi keanggotaan (*membership function*) dan aturan dasar (*rule base*). Blok diagram program kendali fuzzy diperlihatkan pada Gambar 3.

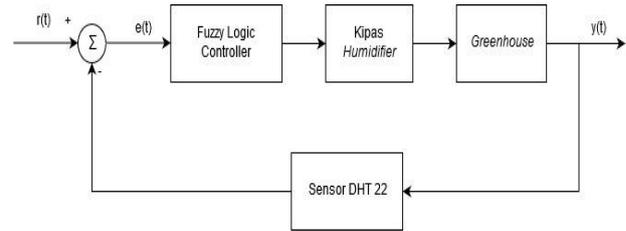


Gambar 3. Diagram blok sistem pengendalian suhu pada prototype *Greenhouse*

Pada Gambar 3 nilai referensi atau $r(t)$ diatur sesuai dengan nilai yang diinginkan. Sistem akan membaca keluaran atau $y(t)$ yang kemudian akan diumpun balikkan oleh sensor suhu DHT 22. Hasil dari umpan balik tersebut akan di bandingkan dengan nilai referensi. Selisih antara nilai referensi dengan nilai umpan balik disebut error aktual pertama atau $e(t)$. Selanjutnya nilai error tersebut akan diolah menggunakan *Fuzzy Logic Controller* yang akan menghasilkan sinyal kontrol atau $u(t)$ berupa PWM untuk mengatur kecepatan putar kipas DC. Sensor suhu DHT22 akan membaca suhu aktual *Plant* ketika sinyal kontrol mempengaruhi kecepatan kipas DC. Pembacaan sensor suhu DHT22 tersebut akan dibandingkan dengan nilai referensi. Selisih antara nilai referensi dengan nilai umpan balik hasil pembacaan sensor disebut dengan *error* aktual kedua. Kemudian selisih antara *error* aktual kedua dengan *error* aktual pertama disebut dengan perubahan *error* atau $\Delta e(t)$ dimana *error* atau $e(t)$ dan perubahan *error* atau $\Delta e(t)$ akan menjadi masukan untuk selanjutnya diproses oleh *Fuzzy Logic Controller* agar mendapatkan hasil keluaran atau $y(t)$ yang sesuai dengan yang diinginkan.

2.2.3. Kendali Logika Fuzzy Parameter Kelembaban Udara

Kendali fuzzy pada parameter kelembaban udara dirancang dengan satu masukan yaitu *error* dan satu keluaran. Masukan diolah melalui serangkaian proses mulai dari fuzzifikasi hingga defuzzifikasi dan menghasilkan sinyal kendali untuk mengendalikan kecepatan putar kipas DC dalam sistem kendali kelembaban udara. Serangkaian proses kendali fuzzy tersebut membutuhkan dua parameter utama yaitu fungsi keanggotaan (*membership function*) dan aturan dasar (*rule base*). Blok diagram program kendali fuzzy diperlihatkan pada Gambar 4.

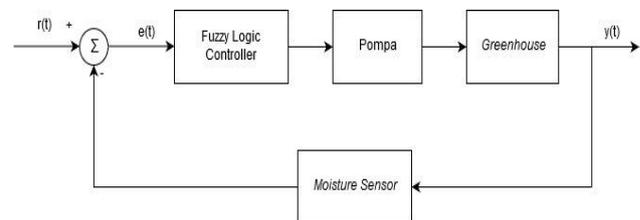


Gambar 4. Diagram blok sistem pengendalian kelembaban udara pada *Greenhouse*

Pada Gambar 4 nilai referensi atau $r(t)$ diatur sesuai dengan nilai yang diinginkan. Sistem akan membaca keluaran atau $y(t)$ yang kemudian akan diumpun balikkan oleh sensor suhu DHT 22. Hasil dari umpan balik tersebut akan di bandingkan dengan nilai referensi. Selisih antara nilai referensi dengan nilai umpan balik disebut error aktual atau $e(t)$. Selanjutnya nilai error tersebut akan diolah menggunakan *Fuzzy Logic Controller* yang akan menghasilkan sinyal kontrol atau $u(t)$ berupa PWM untuk mengatur kecepatan putar kipas DC. Sensor suhu DHT22 akan membaca suhu aktual *Plant* ketika sinyal kontrol mempengaruhi kecepatan kipas DC. Pembacaan sensor suhu DHT22 tersebut akan dibandingkan dengan nilai referensi. Kemudian nilai *error* atau $e(t)$ akan menjadi masukan untuk selanjutnya diproses oleh *Fuzzy Logic Controller* agar mendapatkan hasil keluaran atau $y(t)$ yang sesuai dengan yang diinginkan.

2.2.4. Kendali Logika Fuzzy Parameter Kelembaban Tanah

Kendali fuzzy pada parameter kelembaban tanah dirancang dengan satu masukan yaitu *error* dan satu keluaran. Masukan diolah melalui serangkaian proses mulai dari fuzzifikasi hingga defuzzifikasi dan menghasilkan sinyal kendali untuk mengendalikan kecepatan pompa dalam sistem kendali kelembaban tanah. Serangkaian proses kendali fuzzy tersebut membutuhkan dua parameter utama yaitu fungsi keanggotaan (*membership function*) dan aturan dasar (*rule base*). Blok diagram program kendali fuzzy diperlihatkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Diagram blok sistem pengendalian kelembaban tanah pada *Greenhouse*

Pada Gambar 5 nilai referensi atau $r(t)$ diatur sesuai dengan nilai yang diinginkan. Sistem akan membaca keluaran atau $y(t)$ yang kemudian akan diumpun balikkan oleh *Moisture*

Sensor. Hasil dari umpan balik tersebut akan di bandingkan dengan nilai referensi. Selisih antara nilai referensi dengan nilai umpan balik disebut error aktual atau $e(t)$. Selanjutnya nilai error tersebut akan diolah menggunakan *Fuzzy Logic Controller* yang akan menghasilkan sinyal kontrol atau $u(t)$ berupa kecepatan putar pompa. *Moisture sensor* akan membaca suhu aktual *Plant* ketika sinyal kontrol mempengaruhi kecepatan pompa. Pembacaan *moisture sensor* tersebut akan dibandingkan dengan nilai referensi. Kemudian nilai *error* atau $e(t)$ akan menjadi masukan untuk selanjutnya diproses oleh *Fuzzy Logic Controller* agar mendapatkan hasil keluaran atau $y(t)$ yang sesuai dengan yang diinginkan.

2.3 Perancangan Perangkat Lunak

Perancangan perangkat lunak meliputi algoritma sistem perekayasa lingkungan greenhouse dan kontroler kecepatan putar kipas DC dan pompa secara keseluruhan.

Pemrograman rekayasa lingkungan greenhouse dibuat dengan mengikuti algoritma yang telah dirancang. Algoritma pada baris program *void loop* perekayasa lingkungan greenhouse dalam bahasa C adalah sebagai berikut :

1. Mulai
2. Menjalankan perintah `void loop ()`.
3. Membaca nilai suhu dan kelembaban udara menggunakan sensor DHT 22 dan kelembaban tanah menggunakan *Moisture Sensor*.
4. Mendefinisikan *error* dan $\Delta error$ sebagai nilai input pada proses kontrol *fuzzy*.
5. Menjalankan perintah *fuzzyfikasi* pada setiap parameter.
6. Menentukan *rule base* pada setiap parameter.
7. Melakukan *defuzzyfikasi* dengan menggunakan metode *weighted average*.
8. Mengirimkan hasil sinyal pada proses *defuzzyfikasi* ke setiap aktuator.
9. Sistem kembali ke poin 2 untuk melakukan *looping*.
10. Selesai.

2.3.1. Pembacaan Sinyal Masukan Tiap Parameter

Perancangan *software* untuk melakukan pembacaan nilai ADC masukan algoritma programnya adalah sebagai berikut :

1. Mulai.
2. Menjalankan perintah `baca sensor ()` untuk parameter suhu dan kelembaban udara, dan `baca sensor2 ()` untuk parameter kelembaban tanah.
3. Melakukan proses *Analog to Digital Converter* untuk sensor kelembaban tanah.
4. Melakukan kalibrasi nilai minimal dan maksimal kelembaban tanah.
5. Selesai

2.3.2. Pemrosesan Kontrol Logika Fuzzy

i. Fuzzyfikasi

Perancangan *software* pada *membership function* disesuaikan dengan perancangan kontroler *fuzzy* yang telah dirancang pada subbab 3.2. Algoritma yang dirancang adalah sebagai berikut :

1. Mulai.
2. Menjalankan perintah `void fuzzyfikasi()` untuk parameter suhu, `void fuzzyfikasi2()` untuk parameter kelembaban udara, dan `void fuzzyfikasi3()` untuk parameter kelembaban tanah.
3. Melakukan *fuzzyfikasi* nilai *error* dan $\Delta error$ pada parameter suhu.
4. Melakukan *fuzzyfikasi* nilai *error* pada parameter kelembaban udara dan kelembaban tanah.
5. Menentukan nilai *membership function* pada setiap parameter menggunakan logika *if then*.
6. Selesai.

ii. Rule Base

Perancangan *software* untuk menentukan *rule base* menggunakan aturan *min* pada parameter suhu dimana nilai minimum dari hasil perhitungan yang akan diambil. Sehingga dalam bahasa pemrograman dapat dituliskan sebagai berikut :

1. Mulai
2. Menjalankan perintah `rule_base ()`.
3. Menentukan bobot $W1$ hingga $W9$ pada parameter suhu menggunakan metode *min*.
4. Menentukan bobot $X1$ hingga $X4$ pada parameter kelembaban tanah.
5. Menentukan bobot $Z1$ hingga $Z4$ pada parameter kelembaban udara.
6. Selesai

iii. Defuzzyfikasi

Penerapan *defuzzyfikasi* dalam bahasa pemrograman C dapat dialgoritmakan sebagai berikut :

1. Mulai.
2. Menjalankan perintah `void defuzzyfikasi()` untuk parameter suhu, `void defuzzyfikasi2()` untuk parameter kelembaban tanah, dan `void defuzzyfikasi3()` untuk parameter kelembaban udara.
3. Menentukan nilai *pwm* menggunakan metode *weighted average* yaitu dengan menjumlahkan masing-masing bobot dengan nilai keluaran yang dihasilkan, kemudian dibagi dengan jumlah bobot.
4. Selesai

2.3.3. Aktuator Perekayasa Lingkungan Greenhouse

Perancangan *software* pada aktuator perekaya lingkungan adalah bertujuan untuk menggerakkan motor DC dan

pompa sebagai output. Senarai programnya adalah sebagai berikut :

1. Mulai
2. Menjalankan perintah void pompa () untuk melakukan proses irigasi, void humidifier () untuk kelembaban udara, void fanDC () untuk sistem pendingin.
3. Mengaktifkan tiap aktuator dengan dikendalikan oleh kecepatan putar yang telah diolah menggunakan proses fuzzy untuk kipas DC dan pompa.
4. Selesai

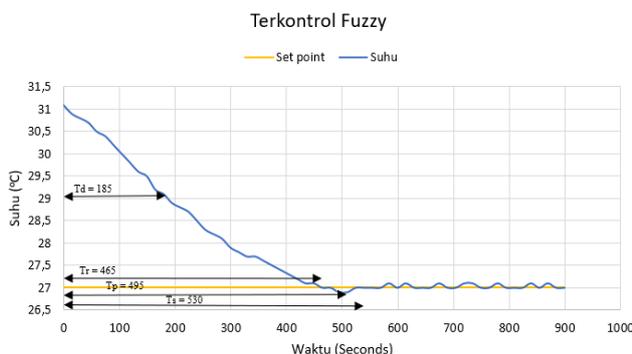
3. Hasil dan Pembahasan

Prototype perékayasa lingkungan greenhouse diuji untuk mengetahui keberhasilan perancangan dan kehandalan dari prototype yang sudah dihasilkan. Pengujian dilakukan dengan membandingkan pengujian terkontrol (Fuzzy Logic Controller) dan pengujian tanpa kontroler. Hasil yang diharapkan adalah perancangan kontrol fuzzy dapat menyetabilkan parameter referensi dan memiliki osilasi yang kecil.

3.1. Pengujian Respon Sistem Parameter Suhu Tanpa Gangguan

3.1.1. Pengujian Menggunakan Kontroler Fuzzy

Pengujian respon sistem dilakukan dengan referensi parameter suhu ideal pertumbuhan tanaman cabai yaitu sebesar 27°C[14] dan dilakukan pada pukul 12.52 WIB dengan suhu awal internal greenhouse 31,1°C. Sistem pendingin yang digunakan pada saat pengujian memiliki suhu maksimal di dalam ruangan sistem pendingin yaitu ±20°C Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan kontroler fuzzy dalam mengontrol suhu di dalam greenhouse. Gambar 6 adalah grafik analisis respon sistem dengan referensi 27°C pada kondisi awal 31,1°C menggunakan kontrol fuzzy.



Gambar 6. Analisis respon sistem kontroler fuzzy dengan referensi suhu 27°C

Dari Gambar 6 terlihat bahwa respon sistem mempunyai karakteristik sebagai berikut :

1. Waktu naik/Rise Time (T_r) atau waktu yang diperlukan respon sistem untuk turun dari 0% sampai 100% dari harga akhirnya (27°C) adalah 465 detik.
2. Waktu Tunda/Delay Time (T_d) atau waktu yang diperlukan oleh sistem untuk mencapai setengah dari nilai kenaikan referensi yang telah ditetapkan (27°C) adalah 185 detik.
3. Waktu Puncak/Peak Time (T_p) atau waktu yang diperlukan tanggapan sistem untuk mencapai puncak lewatan yang pertama kali adalah 495 detik.
4. Lewatan maksimum / maximum overshoot (M_p) dari kurva tanggapan sistem adalah 0,1 detik.
5. Waktu penetapan / settling time (T_s) atau waktu yang diperlukan tanggapan sistem untuk mencapai dan menetap dalam daerah disekitar harga akhir (2% dari set point) adalah 530 detik.

Pengujian parameter suhu dengan menggunakan kontroler fuzzy mengalami osilasi yang tidak besar dan berhasil untuk menyetabilkan suhu referensi yang diinginkan.

3.1.2. Pengujian Tidak Terkontrol



Gambar 7. Analisis respon sistem tanpa kontroler dengan referensi suhu 27°C

Gambar 7 adalah grafik analisis respon sistem dengan referensi 27°C pada kondisi awal 31,1°C tanpa menggunakan kontroler. Dari Gambar 7 terlihat bahwa respon sistem mempunyai karakteristik sebagai berikut :

1. Waktu naik/Rise Time (T_r) atau waktu yang diperlukan respon sistem untuk turun dari 0% sampai 100% dari harga akhirnya (27°C) adalah 405 detik.
2. Waktu Tunda/Delay Time (T_d) atau waktu yang diperlukan oleh sistem untuk mencapai setengah dari nilai kenaikan referensi yang telah ditetapkan (27°C) adalah 170 detik.
3. Waktu Puncak/Peak Time (T_p) atau waktu yang diperlukan tanggapan sistem untuk mencapai puncak lewatan yang pertama kali adalah 450 detik.
4. Lewatan maksimum / maximum overshoot (M_p) dari kurva tanggapan sistem adalah 0,3 detik
5. Waktu penetapan / settling time (T_s) atau waktu yang diperlukan tanggapan sistem untuk mencapai dan menetap dalam daerah disekitar harga akhir (2% dari set point) adalah 555 detik.

3.1.3. Perbandingan Pengujian Terkontrol Fuzzy dengan Tidak Terkontrol



Gambar 8. Perbandingan respon sistem terkontrol fuzzy dan tidak terkontrol

Grafik perbandingan pada Gambar 8 memperlihatkan bahwa pada pengujian menggunakan kontroler fuzzy, nilai suhu terukur membutuhkan waktu yang lebih lama untuk mencapai setpoint yaitu 465 detik sedangkan pengujian tanpa kontroler membutuhkan waktu yang lebih cepat yaitu 405 detik. Hal ini disebabkan karena pada kontroler fuzzy tingkat kecepatan putaran kipas DC 12 Volt mengalami penurunan ketika mendekati setpoint guna menjaga kestabilan suhu referensi yang diinginkan. Pada pengujian tidak terkontrol, grafik nilai suhu mengalami osilasi yang lebih besar daripada pengujian dengan kontroler fuzzy ketika menjaga kestabilan suhu referensi 27°C.

Pada Tabel 1 diketahui hasil respon sistem untuk pengujian dengan kontrol fuzzy dan tidak terkontrol. Pada pengujian menggunakan kontroler fuzzy diperoleh waktu naik (Tr) sebesar 465 detik dan waktu penetapan (Ts) sebesar 530 detik, sedangkan untuk metode tidak terkontrol diperoleh waktu naik (Tr) sebesar 405 detik dan waktu penetapan (Ts) sebesar 555 detik. Nilai osilasi maksimum pada kontroler fuzzy memiliki nilai 0,1 detik sedangkan pada pengujian tidak terkontrol memiliki nilai 0,3 detik.

Tabel 1. Perbandingan respon sistem terkontrol dan tidak terkontrol pada parameter suhu

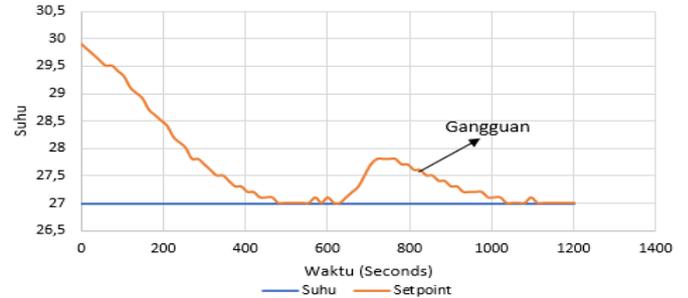
Metode	Referensi (°C)	Suhu Awal (°C)	Waktu Naik (Tr)	Waktu Penetapan (Ts)	Osilasi Maksimum
Terkontrol Fuzzy	27	31,1	465 detik	530 detik	0,1
Tidak Terkontrol	27	31,1	405 detik	555 detik	0,3

Pada pengujian ini terlihat bahwa respon sistem pada kontroler fuzzy lebih stabil dan lebih sedikit berosilasi dibandingkan respon sistem tidak terkontrol.

3.2 Pengujian Respon Sistem Parameter Suhu Dengan Gangguan

Pengujian respon sistem dilakukan dengan menambahkan gangguan yang dapat mempengaruhi suhu internal

greenhouse. Gangguan dilakukan dengan memindahkan greenhouse ke tempat dengan temperature yang lebih tinggi. Pengujian dilakukan pada pukul 13.47 WIB dan suhu awal internal greenhouse yaitu 30,1°C.



Gambar 9 Respon sistem kontroler fuzzy dengan gangguan dan referensi suhu 27°C

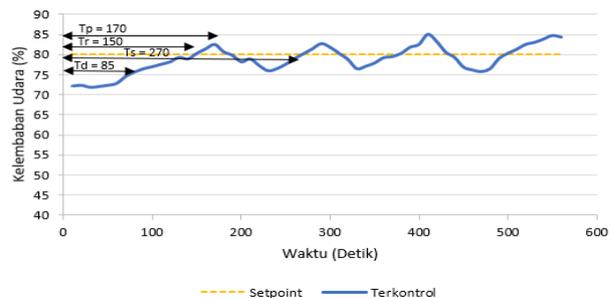
Pada Gambar 9, ketika ada gangguan, sistem dapat mempertahankan kestabilan suhu referensi dengan membutuhkan waktu 405 detik. Hal ini disebabkan karena sistem pendingin tidak dapat menurunkan suhu dengan cepat.

3.3. Pengujian Respon Sistem Parameter Kelembaban Udara

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui tanggapan yang diberikan sistem terhadap nilai referensi parameter kelembaban udara yang diberikan. Nilai referensi kelembaban udara yang dibutuhkan untuk syarat tumbuh tanaman cabai yaitu 70-80% [15]. Tanggapan sistem yang diambil yaitu respon sistem dengan menggunakan kontroler fuzzy dan tanpa menggunakan kontroler.

3.3.1. Pengujian Kelembaban Udara Menggunakan Kontroler Fuzzy

Pengujian dilakukan dengan referensi parameter kelembaban udara ideal pertumbuhan tanaman cabai yaitu sebesar 80% dan dilakukan pada pukul 16.28 WIB dengan kelembaban udara internal greenhouse 72,1%. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan kontroler fuzzy dalam mengontrol kestabilan kelembaban udara di dalam greenhouse.



Gambar 10. Analisis respon sistem kontroler fuzzy dengan referensi kelembaban udara 80%

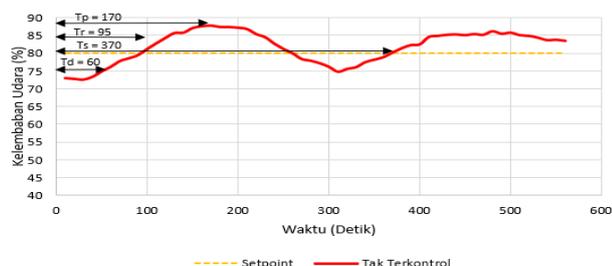
Gambar 10 adalah grafik analisis respon sistem kontroler *fuzzy* dengan referensi kelembaban udara 80% pada kondisi awal 55%. Dari Gambar 10 terlihat bahwa respon sistem mempunyai karakteristik sebagai berikut :

1. Waktu naik/*Rise Time* (T_r) atau waktu yang diperlukan respon sistem untuk turun dari 0% sampai 100% dari harga akhirnya (80%) adalah 150 detik.
2. Waktu Tunda/*Delay Time* (T_d) atau waktu yang diperlukan oleh sistem untuk mencapai setengah dari nilai kenaikan referensi yang telah ditetapkan (80%) adalah 85 detik.
3. Waktu Puncak/*Peak Time* (T_p) atau waktu yang diperlukan tanggapan sistem untuk mencapai puncak lewatan yang pertama kali adalah 170 detik.
4. Lewatan maksimum / *maximum overshoot* (M_p) dari kurva tanggapan sistem adalah 2,4% (kenaikan kelembaban udara 2 %).

Waktu penetapan / *settling time* (T_s) atau waktu yang diperlukan tanggapan sistem untuk mencapai dan menetap dalam daerah disekitar harga akhir (2% dari set point) adalah 270 detik.

3.3.2. Pengujian Kelembaban Udara Tanpa Menggunakan Kontroler

Pengujian dilakukan dengan referensi parameter kelembaban udara ideal pertumbuhan tanaman cabai yaitu sebesar 80% dan dilakukan pada pukul 17.18 WIB dengan kelembaban udara internal greenhouse 73%. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem tanpa kontroler dalam menstabilkan kelembaban udara di dalam *greenhouse*.



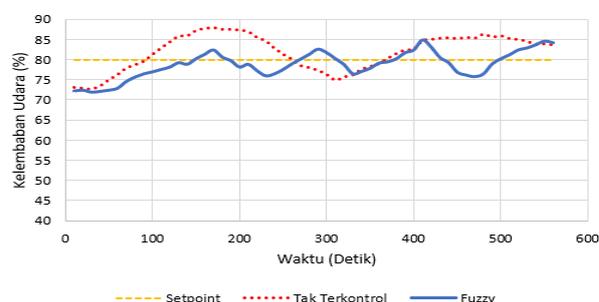
Gambar 11. Analisis respon sistem tanpa kontroler dengan referensi kelembaban udara 80%

Gambar 11 adalah grafik analisis respon sistem tanpa kontroler dengan referensi kelembaban udara 80% pada kondisi awal 73%. Dari Gambar 11 terlihat bahwa respon sistem mempunyai karakteristik sebagai berikut :

1. Waktu naik/*Rise Time* (T_r) atau waktu yang diperlukan respon sistem untuk turun dari 0% sampai 100% dari harga akhirnya (80%) adalah 95 detik.
2. Waktu Tunda/*Delay Time* (T_d) atau waktu yang diperlukan oleh sistem untuk mencapai setengah dari nilai kenaikan referensi yang telah ditetapkan (80%) adalah 60 detik.

3. Waktu Puncak/*Peak Time* (T_p) atau waktu yang diperlukan tanggapan sistem untuk mencapai puncak lewatan yang pertama kali adalah 170 detik.
4. Lewatan maksimum / *maximum overshoot* (M_p) dari kurva tanggapan sistem adalah 5,8% (kenaikan kelembaban udara 8 %).
5. Waktu penetapan / *settling time* (T_s) atau waktu yang diperlukan tanggapan sistem untuk mencapai dan menetap dalam daerah disekitar harga akhir (2% dari set point) adalah 370 detik.

3.3.3. Perbandingan Respon Sistem Kelembaban Udara Terkontrol Fuzzy dan Tidak Terkontrol



Gambar 12. Perbandingan respon sistem kontroler *fuzzy* dan tanpa kontroler dengan referensi kelembaban udara 80%

Tabel 2 Perbandingan respon sistem terkontrol dan tidak terkontrol pada parameter kelembaban udara

Metode	Referensi (%)	Kelembaban Udara Awal (%)	Waktu Naik (T_r)	Waktu Penetapan (T_s)	Osilasi Maksimum
Terkontrol Fuzzy	80	72,1	150 detik	270 detik	2,4%
Tidak Terkontrol	80	73	95 detik	370 detik	5,8%

Grafik perbandingan pada Gambar 12 memperlihatkan bahwa pada pengujian menggunakan kontroler *fuzzy*, nilai kelembaban udara terukur membutuhkan waktu yang lebih lama untuk mencapai *setpoint* yaitu 150 detik sedangkan pengujian tanpa kontroler membutuhkan waktu yang lebih cepat yaitu 95 detik. Hal ini disebabkan karena pada kontroler *fuzzy* tingkat kecepatan putaran kipas DC 12 Volt pada *humidifier* mengalami penurunan ketika mendekati *setpoint* guna menjaga kestabilan kelembaban udara referensi yang diinginkan. Pada pengujian tidak terkontrol, grafik nilai kelembaban udara mengalami osilasi yang lebih besar daripada pengujian dengan kontroler *fuzzy* ketika menjaga kestabilan kelembaban udara referensi 80%.

Pada tabel 2 diketahui hasil respon sistem untuk pengujian dengan kontrol *fuzzy* dan tidak terkontrol. Pada pengujian menggunakan kontroler *fuzzy* diperoleh waktu naik (T_r)

sebesar 150 detik dan waktu penetapan (T_s) sebesar 270 detik, sedangkan untuk metode tidak terkontrol diperoleh waktu naik (T_r) sebesar 95 detik dan waktu penetapan (T_s) sebesar 370 detik. Nilai osilasi maksimum pada kontroler *fuzzy* memiliki nilai 2,5% sedangkan pada pengujian tidak terkontrol memiliki nilai 10%.

Pada pengujian ini terlihat bahwa respon sistem pada kontroler *fuzzy* lebih stabil dan lebih sedikit berosilasi dibandingkan respon sistem tidak terkontrol.

3.4 Pengujian Respon Sistem Parameter Kelembaban Tanah

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui tanggapan yang diberikan sistem terhadap nilai referensi parameter kelembaban tanah yang diberikan. Nilai referensi kelembaban tanah yang dibutuhkan untuk syarat tumbuh tanaman cabai yaitu 80%. Media tanah yang digunakan merupakan tanah yang berasal dari Dinas Pertanian Kabupaten Magelang. Setiap pengujian menggunakan tanah bervolume 800-1000 ml yang diletakkan pada pot tanaman berukuran sedang. Tanggapan sistem yang diambil yaitu respon sistem kontroler *fuzzy* dengan memvariasi jarak *moisture sensor* dengan *water sprinkler* sebagai penyebar air ke pot tanaman.

3.4.1. Pengujian Respon Sistem Parameter Kelembaban Tanah

Sebelum pengujian respon sistem, *moisture sensor* terlebih dahulu dilakukan pengkalibrasian terhadap *Soil Meter* yang sudah terkalibrasi. *Soil Meter* memiliki rentang kelembaban tanah antara 1 hingga 9, sedangkan sinyal analog *Moisture Sensor YL-69* memiliki rentang nilai 1024 hingga 0. Berikut adalah tabel pengkalibrasian yang dilakukan.

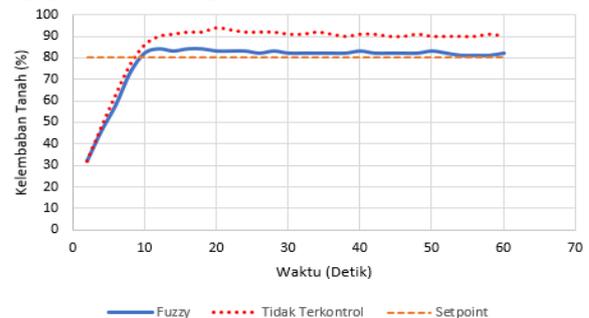
Dari tabel 3 diketahui bahwa tanah tanpa perlakuan penyiraman (kering) memiliki nilai kelembaban tanah 1,2 dengan sinyal analog *moisture sensor* 898. Nilai maksimal pada *Soil Meter* ketika dilakukan penyiraman 500 ml (basah) yaitu 9 dengan sinyal analog *moisture sensor* 160. Kemudian pada program arduino, sinyal analog *moisture sensor* dilakukan pengkalibrasian untuk kelembaban tanah dengan rentang 898 (12%) hingga 160 (90%).

Tabel 3 Pengkalibrasian *Moisture Sensor YL-69*

Kondisi Tanah	Volume Tanah (ml)	Kelembaban Tanah (<i>Soil Meter</i>)	Sinyal Analog <i>Moisture Sensor</i> (ADC)
Tanpa perlakuan	800	1,2	898
Penyiraman 60ml air	800	2,5	612
Penyiraman 120ml air	800	4,1	472
Penyiraman 240ml air	800	6	341
Penyiraman 500ml air	800	9	160

3.4.2. Pengujian Kelembaban Tanah

Pengujian kelembaban tanah dilakukan dengan memposisikan *moisture sensor* dan *water sprinkler* berjarak 3 cm. Tanah yang digunakan memiliki volume 800 ml dan memiliki nilai kelembaban awal 12%. Pengujian dilakukan pukul 09.23 WIB.



Gambar 13. Perbandingan respon sistem variasi satu pada kontroler *fuzzy* dan tanpa kontroler dengan referensi kelembaban tanah 80%

Pada Gambar 13 dapat dilihat bahwa pengujian menggunakan kontroler *fuzzy* tidak mengalami *overshoot* terlalu tinggi yaitu sebesar 3,75% sedangkan pada pengujian tanpa kontroler mengalami *overshoot* sebesar 17,5%. Hal ini dilakukan untuk menjaga kelembaban tanah pada suatu pot agar tidak mengalami kelebihan kelembaban tanah. Ketika kelembaban tanah berlebihan (>80%) dalam jangka waktu yang cukup lama, dapat mengganggu pertumbuhan tanaman cabai, sehingga dibutuhkan kontroler *fuzzy* agar tidak terjadi hal tersebut.

4. Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat dari perancangan, pengujian sistem, dan hasil analisis adalah bahwa alat *Smart Greenhouse* dapat melakukan pengendalian secara fuzzy dengan mencapai suhu referensi pada 27°C dalam waktu 7 menit 35 detik, pada pengendalian kelembaban udara dapat mencapai nilai referensi 80% dalam waktu 2 menit 30 detik dan pengendalian kelembaban tanah dapat mencapai nilai referensi 80% dalam waktu 10 detik. Untuk hasil yang lebih baik dan lebih detail disarankan melakukan penambahan parameter Ph tanah, kadar oksigen dan parameter-parameter lain yang mendukung dalam perkembangan tumbuh tanaman cabai.

Referensi

- [1]. A. Marliah, M. Nasution, and Armin, "Pertumbuhan dan Hasil Beberapa Varietas Cabai Merah Pada Media Tumbuh Yang Berbeda," *J. Floratek* 6, hal. 84-91, 2011.
- [2]. D. Rizqi Nurfalach, "Budidaya Tanaman Cabai Merah (*Capsicum annum L.*) di UPTD Perbibitan Tanaman Hortikultura Desa Pakopen Kecamatan bandungan Kabupaten Semarang," hal. 51, 2010.

- [3]. R. Vebriansyah, "Tingkatkan Produktivitas Cabai," Jakarta : Penebar Swadaya, 2018.
- [4]. A. Rakhmi, "Rancang Bangun *Smart Greenhouse* Untuk Budidaya Tanaman Cabai (*Capsicum Annum L.*) Berbasis Android," Laporan Tugas Akhir, Program Studi Teknik Elektro, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, 2018.
- [5]. Sunardi, "Sistem Pengaturan Intensitas Cahaya Pada Iklim Buatan Dalam *Greenhouse*" , Proyek akhir sarjana Elektronika Undip, Semarang, 2004.
- [6]. Irawan, Dimas Seto, "Aplikasi Fuzzy Pada Pengaturan *Green House* Tanaman Dataran Tinggi", Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektronika, Politeknik Elektronika Surabaya, 2011.
- [7]. Mashuri, Ahmad, "Perancangan Sistem Pengendalian Suhu dan Akuisisi Data Tingkat Kelembaban Pada Mesin Pengering Kertas Berbasis Kendali Logika Fuzzy", Tugas Akhir Teknik Elektro, Universitas Diponegoro, 2008.
- [8]. Bagas Imam, R. Reza, "Perancangan Sistem Kendali Iklim Buatan Pada Rumah Kaca Dengan HMI Berbasis Website", Tugas Akhir Teknik Elektro, Universitas Diponegoro, 2018.
- [9]. P. Marian, "AM2302 / DHT22 *Datasheet*". [Online]. Tersedia : <https://www.electroschematics.com/11293/>
- [10]. Dina, Fera, Geby, & Hendro, "Karakterisasi Sensor Kelembaban Tanah (YL-69) Untuk Otomatisasi Penyiraman Tanaman Berbasis Arduino Uno," dalam Prosiding SKF 2017, Bandung, hal 96.
- [11]. M. Azizi, "Perancangan Sistem Pengendali Suhu Pada *Prototype Green House* Berbasis Kendali Logika *Fuzzy*", Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro, 2014.
- [12]. Dewanti Samestari, "Alat Semi-Otomatis Penjemur Keripik Jengkol Berbasis Mikrokontroler ATmega 328", Tugas Akhir Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, 2019.
- [13]. Franck Dernoncourt, "Introduction to Fuzzy Logic Control," *Essentials Fuzzy Model. Control*, no. January, pp. 109-153, 2013
- [14]. Harpenas, Asep & R. Dermawan, "Budidaya Cabai Unggul", Jakarta : Penebar Swadaya, 2010.
- [15]. Dermawan, "Budi Daya Cabai Unggul, Cabai Besar, Cabai Keriting, Cabai Rawit, dan Paprika," Jakarta : Penebar Swadaya, 2010.