

PERANCANGAN PENGENDALI KONDISI RUANGAN DENGAN METODE KONTROL FUZZY

Raditya Naufal Fathoni^{*)}, Aris Triwiyatno, dan Achmad Hidayatno

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

^{*)} E-mail: rdtinaufal@student.undip.ac.id

Abstrak

Pengkondisian udara adalah proses mengubah kondisi udara saat ini menjadi yang diinginkan dengan menggunakan pendingin udara. Namun, sebagian besar air conditioner (AC) yang digunakan saat ini masih tidak dapat mendukung parameter kelembaban udara. Perancangan ini bertujuan untuk menambah fitur kontrol sehingga AC menjadi responsif terhadap perubahan suhu ruangan dan mampu mengontrol kelembaban. Sistem kontrol menggunakan metode kontrol fuzzy untuk parameter suhu dan metode kontrol on-off untuk parameter kelembaban. Sistem kontrol mengambil masukan Set Point, dan masukan umpan balik dari sensor DHT22. Hasil pengujian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa sistem berhasil mencapai set point suhu dengan respon transient sistem terbaik pada kondisi 1, yaitu $t_d = 3,7$ menit, $t_r = 15,3$ menit, $t_p = 20,2$ menit, $m_p = 0\%$, error steady state = 0% , dan menjaga nilai kelembapan udara dalam rentang yang ditentukan, yaitu 50-60%.

Kata kunci: Pengkondisi Udara, Kontrol Fuzzy, Kontrol On-Off, DHT22, Suhu, Kelembapan Udara.

Abstract

Air conditioning is a process of changing the current air condition into a desired one by using an air conditioner. However, most of the air conditioner (AC) used today still cannot support the air humidity parameter. This design aims to add control features so that AC is responsive to room temperature changes and able to control humidity. The control system uses a fuzzy control method for temperature parameter and on-off control method for the humidity parameter. The control system takes a set point input, and feedback input from a DHT22 sensor. Test results show that the system succeeds in reaching the temperature set point, with best transient system response in condition 1, with $t_d = 3,7$ minutes, $t_r = 15,3$ minutes, $t_p = 20,2$ minutes, $m_p = 0\%$, steady state error = 0% , and maintains the humidity within the specified range of 50-60%.

Keywords: Air conditioning, Fuzzy Control, On-Off Control, DHT22, Temperature, Air Humidity.

1. Pendahuluan

Pengkondisian udara (*air conditioning*) adalah proses merubah kondisi udara (umumnya suhu dan kelembapan) ke keadaan yang diinginkan [1]. Pengkondisian udara umumnya menggunakan bentuk teknologi yang mampu melembapkan udara, mengeringkan udara, memanaskan udara, mendinginkan udara, membersihkan udara, atau menggerakkan udara yang memodifikasi kondisi udara. Secara umum, pengkondisi udara adalah perangkat yang mampu menurunkan suhu udara. Proses pendinginan yang lazim digunakan adalah siklus pendinginan sederhana, namun terkadang prinsip penguapan juga digunakan. Nilai suhu dan kelembapan yang nyaman bagi manusia dicantumkan dalam ISO 7730:2005 [2] untuk internasional, dan dalam SNI T-14-1993-03 [3].

Sistem kendali adalah sebuah perangkat, atau satuan perangkat, yang mengendalikan, memerintah,

mengarahkan, atau mengatur perilaku dari perangkat atau sistem lainnya [4]. Sebuah sistem kendali terdiri dari kontroler dan *plant*, yang membutuhkan sebuah aktuator untuk berinteraksi dengan *plant* maupun kontroler. Perilaku dan performa sebuah sistem kontrol bergantung pada interaksi dari semua elemen.

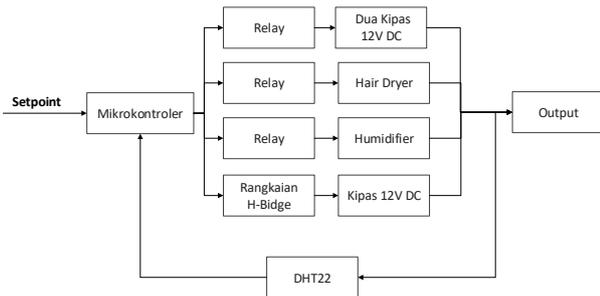
Penelitian ini akan merancang sebuah purwarupa pengendali kondisi ruangan yang dapat mengendalikan nilai suhu dan kelembapan di dalamnya agar tetap stabil pada rentang nilai yang telah ditentukan. Menggunakan mikrokontroler Atmega 328p [5] sebagai pusat pengendalian, sinyal kontrol akan dikirimkan ke aktuator setelah mendapatkan masukan berupa *feedback* dari sensor yang digunakan dan *setting point* parameter suhu dan kelembapan. Sistem kendali akan dibantu oleh *Fuzzy Inference System* (FIS) metode Sugeno dalam pengambilan keputusan kendali [6]. Penelitian ini menggunakan sensor DHT22, yang digunakan untuk pembacaan suhu dan

kelembapan udara pada ruangan, dan pada pengendalian parameter suhu dan kelembapan pada ruang digunakan perangkat tambahan seperti pendingin, pembuat embun, pengering udara, dan juga pemanas.

2. Metode

2.1. Perancangan Perangkat Keras

Perancangan perangkat keras ini meliputi mikrokontroler Atmega 328p sebagai pengendali, DHT22 [7] sebagai sensor suhu dan kelembapan udara, kipas 12V DC [8] sebagai aktuator penurun suhu dan pengatur kelembapan, *hairdryer* [9] sebagai aktuator peningkat suhu (*heater*), *ultrasonic mist maker* [10] sebagai peningkat kelembapan udara, modul *driver* tegangan sebagai pengendali tegangan *input* DC pada kipas, *adaptor* 24V 1A sebagai catu daya untuk *ultrasonic mist maker* dan kipas, dan *adaptor* 12V DC 5A sebagai catu daya untuk *board relay*, *board driver tegangan*, dan *board* mikrokontroler Atmega 328p. Diagram blok sistem pengendalian kondisi ruangan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1, dan diagram blok perancangan catu daya dapat dilihat pada Gambar 2.

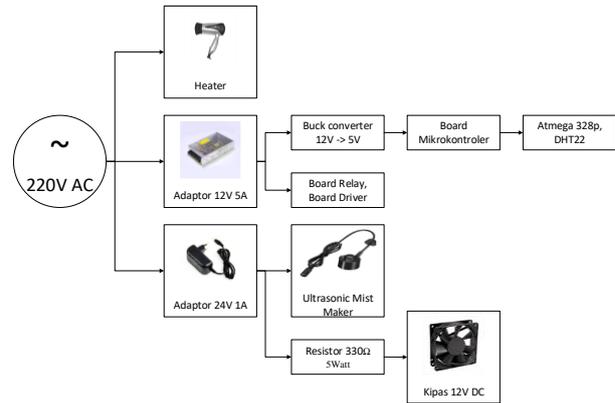


Gambar 1. Diagram blok sistem pengendalian kondisi ruangan.

Set point yang digunakan oleh sistem kendali berasal dari nilai referensi yang diinginkan, kemudian diproses oleh mikrokontroler Atmega 328p untuk mengendalikan suhu dan kelembapan. Nilai referensi akan dibandingkan dengan bacaan sensor DHT22 untuk melakukan proses kendali. Parameter suhu akan dikendalikan menggunakan logika *fuzzy* Sugeno untuk mengendalikan kecepatan kipas 12V, dan kontrol *on-off* pada penyalaan *hair dryer* melalui *relay* [11]. Parameter kelembapan udara akan dikendalikan menggunakan kontrol *on-off* untuk menyalakan *ultrasonic mist maker* (*humidifier*) dan kipas melalui *relay* untuk meningkatkan kelembapan, atau dua kipas 12V DC yang tersambung *relay* untuk menurunkan kelembapan udara. Kipas untuk menurunkan kelembapan juga dilengkapi *silica gel* untuk meningkatkan efektivitas penurunan kelembapan.

Tegangan 220V AC yang bersumber dari PLN akan disambung dengan catu daya yang digunakan. *Heater* akan tersambung langsung dengan 220V AC, *adaptor* 12VDC 5A digunakan untuk daya *board* mikrokontroler, *relay*, dan

driver tegangan, dan *adaptor* 24VDC 1A digunakan untuk daya *ultrasonic mist maker* dan kipas. Tegangan dari *adaptor* 12V DC akan diturunkan menjadi 5V DC menggunakan *buck converter* [12], dan akan digunakan untuk memberi daya mikrokontroler Atmega 328p, dan sensor DHT22. Tegangan dari *adaptor* 24V DC dilewati resistor batu 330Ω 5Watt untuk menurunkan tegangan agar mencapai tegangan kerja kipas 12V DC.



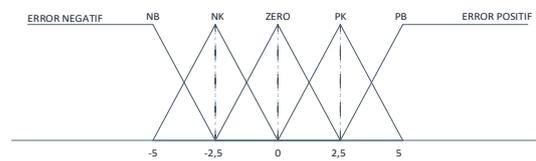
Gambar 2. Diagram blok perancangan catu daya.

2.2. Perancangan Metode Kontrol Fuzzy

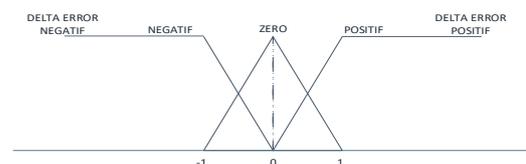
Pada penelitian ini menggunakan metode kontrol *Fuzzy Inference System (FIS)* untuk pengendalian parameter suhu. *FIS* memiliki 3 bagian utama, yaitu *fuzzification*, *rule base*, dan *defuzzification* [13].

2.2.1. Fuzzifikasi

Fuzzyfikasi adalah proses pemasukan nilai masukan ke dalam *membership function* agar dapat memiliki nilai derajat keanggotaan [14]. Proses pada perancangan *fuzzyfikasi* ini diawali dengan pembacaan sensor dan penentuan nilai *error* pada fungsi “*definisi_error*”. Himpunan keanggotaan masukan *error fuzzy* ditunjukkan pada Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 3. Himpunan keanggotaan masukan *error fuzzy*.



Gambar 4. Himpunan keanggotaan masukan *delta error fuzzy*.

Gambar 3 merupakan masukan kontroler *fuzzy* berupa *error* yang terdiri dari tiga segitiga dan dua trapesium, dan Gambar 4 merupakan masukan kontroler *fuzzy* berupa *delta error* yang terdiri dari 1 segitiga dan dua trapesium.

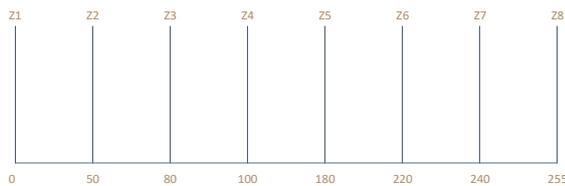
2.2.2. Rule Base

Rule base atau basis aturan [f] dirancang sesuai dengan keluaran yang diharapkan untuk suhu ruangan. Penentuan rule base dilakukan dengan melihat dari sistem pengendali kondisi ruangan ketika menggunakan kontrol open loop (tanpa feedback). Berdasarkan pengamatan karakteristik sistem yang telah dilakukan, diperoleh *rule base* yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Rule base fuzzy

	Error NB	Error NK	Error Zero	Error PK	Error PB
Δ error neg	Z8	Z7	Z4	Z3	Z1
Δ error zero	Z8	Z7	Z5	Z3	Z1
Δ error pos	Z8	Z7	Z6	Z4	Z2

Nilai-nilai parameter *rule base* didapatkan melalui *tuning* dengan nilai-nilai PWM yang acak sesuai dengan karakteristik sistem. Percobaan yang dilakukan beberapa kali menghasilkan nilai-nilai konstanta yang paling baik dan dilambangkan dalam variabel seperti yang tertera pada Tabel 1. *Singleton* pada perancangan ini dibuat agar dapat memberikan nilai PWM yang sesuai agar sistem dapat mencapai *set point* dan tahan terhadap gangguan. Grafik *singleton* sistem *fuzzy* ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik singleton sistem fuzzy.

2.2.3. Defuzzifikasi

Defuzzifikasi merupakan tahap akhir dari perancangan metode kontrol *fuzzy* [f]. Perancangan menggunakan metode *fuzzy logic* Sugeno dengan metode *weighted average* agar didapatkan nilai keluaran *fuzzy* untuk semua nilai keluaran dari masing-masing aturan. Metode *weighted average* dilakukan dengan menjumlahkan masing-masing bobot dengan nilai keluaran yang dihasilkan, kemudian dibagi dengan jumlah bobot. Di bawah ini merupakan persamaan *defuzzification* tipe *weight of average*:

$$z = \frac{W_1 \cdot Z_1 + W_2 \cdot Z_2}{Z_1 + Z_2} \tag{1}$$

2.3. Perancangan Perangkat Lunak

2.3.1. Algoritma Sistem Pengendali Kondisi Ruangan

Perancangan perangkat lunak terdiri dari algoritma sistem pengendali kondisi ruangan, yaitu:

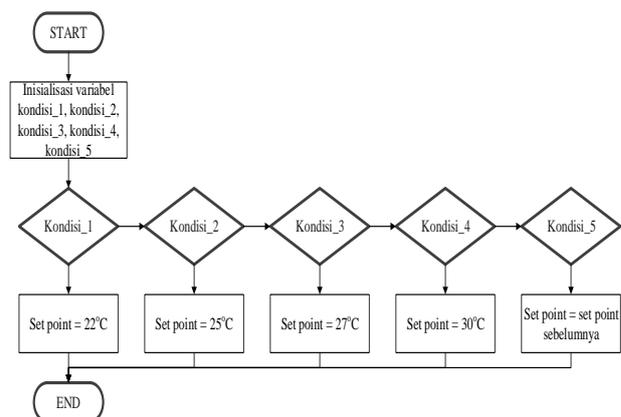
- Mulai.
- Inisialisasi I/O *register* dan variabel.
- Pendeteksian kondisi *input* untuk penentuan *set point*.
- Pendeteksian dan inialisasi sensor DHT22 dan komunikasi serial
- Pembacaan sensor DHT22.
- Proses kontrol pendingin dengan logika *fuzzy*.
- Proses kontrol pemanas dengan kontrol *on-off*.
- Proses kontrol kelembapan dengan kontrol *on-off*.

Mengulang langkah d, e, f, g, h, selama proses kontrol berjalan.

2.3.2. Perancangan Senarai Program pada Mikrokontroler Atmega 328p

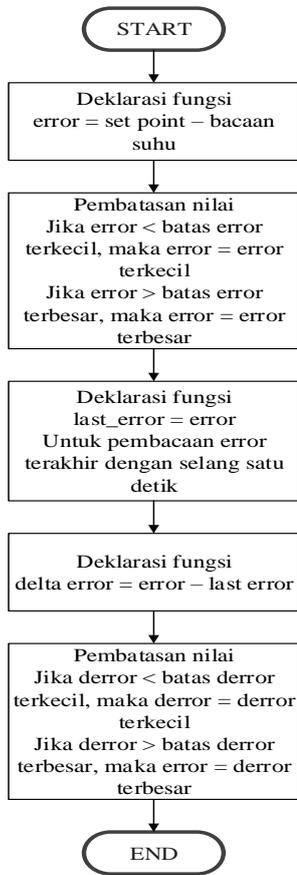
Program yang dibuat berfungsi menjalankan sistem kontrol agar kondisi ruangan sesuai dengan *set point* yang diharapkan. Mikrokontroler menerima data masukan dari sensor DHT22 yang kemudian diproses di dalamnya. Keluaran dari mikrokontroler adalah penyalan aktuator dengan pengaturan nilai PWM ke rangkaian *driver*, dan penyalan aktuator melalui *relay*. Perancangan senarai program terbagi menjadi perancangan program pendeteksi kondisi, perancangan program *baca_dht*, perancangan program definisi *error*, perancangan program *rule_base*, perancangan program *defuzzifikasi*, perancangan program pemanas, dan perancangan program kontrol *lembap*.

2.3.2.1. Program deteksi kondisi



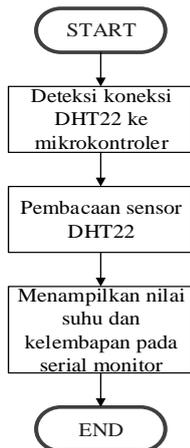
Gambar 6. Diagram alir program deteksi_kondisi.

2.3.2.2. Program definisi_error



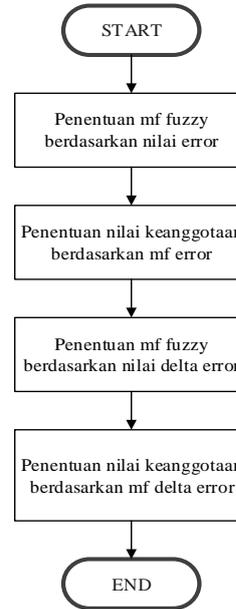
Gambar 7. Diagram alir program definisi_error.

2.3.2.3. Program baca_dht



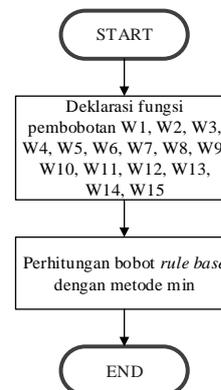
Gambar 8. Diagram alir program deteksi_kondisi.

2.3.2.4. Program fuzzifikasi



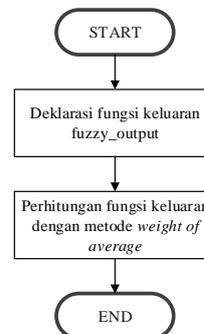
Gambar 9. Diagram alir program fuzzifikasi.

2.3.2.5. Program rule_base



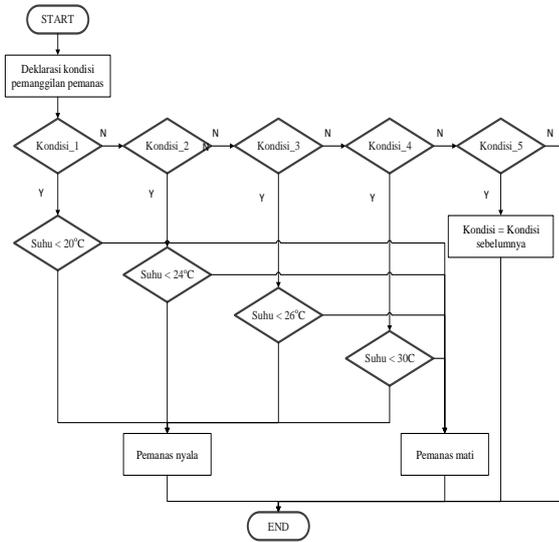
Gambar 10. Diagram alir program rule_base.

2.3.2.6. Program defuzzifikasi



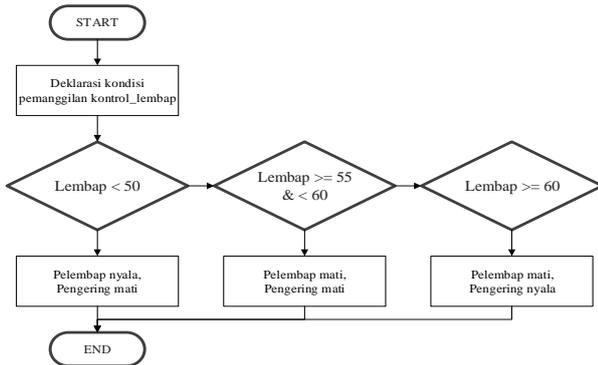
Gambar 11. Diagram alir program defuzzifikasi.

2.3.2.7. Program pemanas



Gambar 12. Diagram alir program pemanas.

2.3.2.8. Program kontrol_lembap



Gambar 13. Diagram alir program kontrol_lembap.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Pengujian Perangkat Keras

3.1.1. Pengujian Sensor DHT22

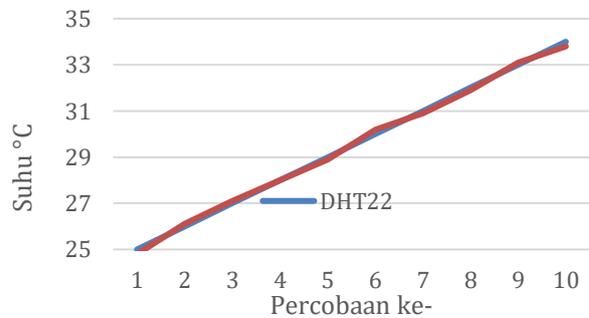
Pengujian sensor DHT22 dilakukan dengan membandingkan pembacaan suhu dan kelembapan udara yang terbaca oleh sensor DHT22 melalui serial monitor dengan pembacaan suhu yang terbaca di thermometer digital, dan kelembapan udara yang terbaca oleh higrometer digital. Perbandingan bacaan suhu pada sensor DHT22 dengan thermometer digital dapat dilihat pada Tabel 2.

Dari Tabel 2 diatas dapat dilihat dari sepuluh kali pengambilan data, didapatkan selisih suhu rata-rata antara pembacaan sensor DHT22 dengan thermometer digital sebesar 0,11°C. Error suhu terbesar pada pengujian ke-6 dan ke-10 yaitu sebesar 0,2°C. Sedangkan pada pengujian lainnya yaitu pengujian ke-4 tidak terdapat error. Selisih

kedua sensor dikarenakan perbedaan respon dalam pembacaan suhu antara thermometer digital dengan sensor DHT22. Data hasil pengujian sensor suhu pada DHT22 dapat dilihat pada Gambar 14.

Tabel 2. Perbandingan bacaan suhu pada sensor DHT22 dengan thermometer digital.

No.	Suhu DHT22 (%)	Suhu Thermometer (%)	Error (%)
1	25	24,8	0,2
2	26	26,1	0,1
3	27	27,1	0,1
4	28	28	0
5	29	28,9	0,1
6	30	30,2	0,2
7	31	30,9	0,1
8	32	31,9	0,1
9	33	33,1	0,1
10	34	33,8	0,2



Gambar 14. Grafik perbandingan pembacaan suhu sensor DHT22 dan thermometer digital.

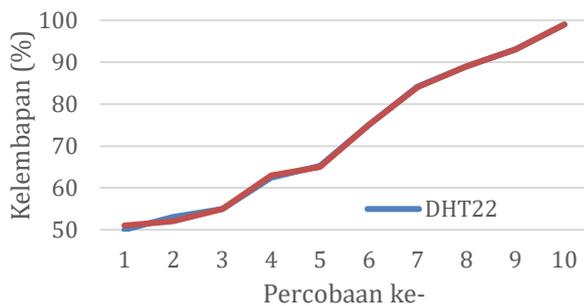
Setelah melakukan pengujian suhu, dilakukan pengujian berikutnya yaitu pengujian pembacaan kelembapan dari sensor DHT22. Tingkat kelembapan ruang di dalam plant ruangan yang digunakan diukur menggunakan dua sensor, yaitu DHT22 dan higrometer digital sebagai sensor pembandingnya. Perbandingan bacaan kelembapan pada sensor DHT22 dengan higrometer digital ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Perbandingan bacaan kelembapan pada sensor DHT22 dengan higrometer digital.

No.	Kelembapan DHT22 (%)	Kelembapan Higrometer (%)	Error (%)
1	50	51	1
2	53	52	1
3	55	55	0
4	62,5	63	0,5
5	65,2	65	0,2
6	75	75	0
7	84,2	84	0,2
8	89	89	0
9	93	93	0
10	97	97	0

Dari Tabel 3 diatas dapat dilihat dari sepuluh kali pengambilan data, didapatkan selisih kelembapan rata-rata antara pembacaan sensor DHT22 dengan higrometer

digital sebesar 0,16%. *Error* kelembapan terbesar didapat pada pengujian pertama yaitu sebesar 0,5%. Pada pengujian ke-4, ke-7 sampai dengan ke-10 tidak ada *error*. Selisih kedua sensor dikarenakan perbedaan respon dalam pembacaan kelembapan antara higrometer digital dengan sensor DHT22, dengan higrometer digital memiliki respon yang lebih lambat. Berdasarkan pengujian di atas, dapat disimpulkan bahwa pembacaan suhu sensor DHT22 sudah sesuai dengan perubahan yang terjadi pada higrometer digital. Grafik perbandingan pembacaan kelembapan sensor DHT22 dan higrometer digital ditunjukkan pada Gambar 15.



Gambar 15. Grafik perbandingan pembacaan kelembapan sensor DHT22 dan higrometer digital.

3.1.2. Pengujian Rangkaian Pengendali Tegangan Kipas

Pengujian dilakukan untuk mengetahui apakah *driver* tegangan sebagai pengendali kipas dapat bekerja sesuai dengan kondisi yang diharapkan. Pengujian dilakukan dengan cara memberikan nilai masukan PWM 0, 150, dan 255 dari mikrokontroler melalui pin 10. Data hasil pengujian *driver* tegangan ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Data hasil pengujian *driver* tegangan

Nilai PWM	Kipas
0	Mati
70	Berputar Lambat
150	Berputar Cukup Cepat
220	Berputar Agak Cepat
255	Berputar Cepat

Berdasarkan data pada Tabel 4.3, penyalan kipas sudah sesuai dengan yang diinginkan yaitu dapat diatur kecepatannya. Kipas akan mati ketika diberi nilai PWM 0, berputar lambat ketika diberi nilai PWM 70, berputar cukup cepat ketika diberi nilai PWM 150, berputar agak cepat ketika diberi nilai PWM 220, dan berputar cepat ketika diberi nilai PWM 255.

3.1.3. Pengujian Rangkaian Pengendali Ultrasonic Mist Maker dan Kipas

Pengujian dilakukan untuk mengetahui apakah *relay* sebagai pengendali *ultrasonic mist maker* beserta kipasnya

dapat bekerja sesuai dengan kondisi yang diharapkan. Kedua perangkat menggunakan kondisi *active low*, yang akan aktif jika diberikan logika 0. Pengujian dengan cara memberikan logika 0 dan 1 dari mikrokontroler melalui pin 8 ke *relay* yang terhubung dengan *ultrasonic mist maker* dan kipas. . Data hasil pengujian *Ultrasonic Mist Maker* dan kipas ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Data hasil pengujian *ultrasonic mist maker* dan kipas.

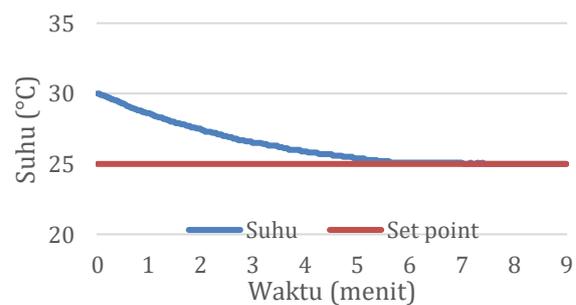
Logika Pin Input	Ultrasonic Mist Maker	Kipas
0	Nyala	Nyala
1	Mati	Mati

Berdasarkan data pada Tabel 6, penyalan *ultrasonic mist maker* dan kipas sudah sesuai dengan yang diinginkan yaitu kondisi *active low*. *Ultrasonic mist maker* dan kipas akan bekerja ketika diberikan logika 0 (*low*), dan sebaliknya ketika diberikan logika 1 (*high*) maka keduanya akan mati.

3.2. Pengujian Respon Sistem Suhu

3.2.1. Pengujian Respon Sistem Sistem *Open Loop* Suhu

Pengujian respon sistem *open loop* dilakukan guna mengetahui bagaimana karakteristik dari *plant* ruangan yang dikendalikan suhunya sesuai dengan referensi yang diinginkan. Pengujian dilakukan dengan cara memberikan nilai PWM melalui program mikrokontroler yang dikirim dari pin 10 bernilai 255 hingga keadaan *steady state*. Berikut ini adalah hasil dari pengujian respon sistem *open loop* yang dapat dilihat pada Gambar 16.



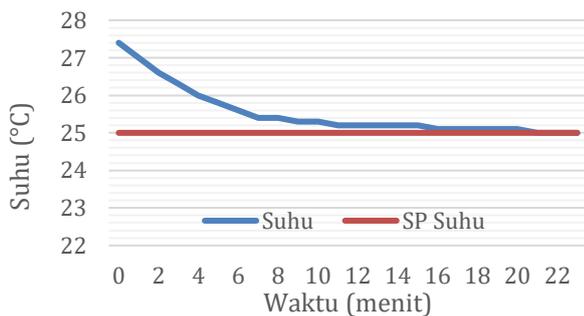
Gambar 16. Hasil pengujian respon sistem *open loop* suhu

Dari pengujian secara *open loop* yang dilakukan selama 522 detik atau sekitar 9 menit, dapat dilihat bahwa suhu semakin turun dengan nilai PWM tetap (255). Perubahan suhu terjadi dari suhu awal sebesar 30°C dan turun terus menerus sampai 25°C. Pada saat mencapai 25°C, suhu telah mencapai keadaan *steady*.

3.2.2. Pengujian Sistem Kontrol Fuzzy Sugeno

Pengujian respon sistem *fuzzy* Sugeno dilakukan guna mengetahui bagaimana karakteristik dari *plant* ruangan yang dikendalikan suhunya sesuai dengan referensi yang

diinginkan. Pengujian dilakukan dengan cara membaca masukan dari sensor, yang kemudian akan masuk ke dalam sistem logika fuzzy dengan menempati *membership function*, kemudian akan mengatur nilai PWM dari *driver* tegangan sesuai dengan pembobotan dari sistem fuzzy. Dari pengujian sistem kontrol fuzzy yang dilakukan selama sekitar 23 menit, dapat dilihat bahwa ketika nilai suhu bacaan sensor lebih besar dari *set point*, sistem akan menyalakan kipas dengan nilai PWM tertentu guna mencapai *set point* kembali. Hasil pengujian respon sistem kontrol fuzzy ditunjukkan pada Gambar 17.



Gambar 17. Hasil pengujian respon sistem kontrol fuzzy.

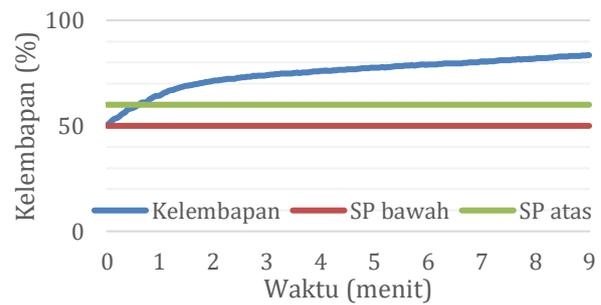
Ketika suhu berada di bawah *Set Point*, maka nilai PWM akan kecil sehingga sistem akan meningkatkan nilai suhu, sedangkan ketika suhu berada di atas *set point*, maka nilai PWM akan besar sehingga bisa menurunkan suhu hingga mencapai *set point*. Respon transient sistem [15] dari pengujian kontrol fuzzy memiliki hasil *time delay* (t_d) = 186 detik atau 3,1 menit, *rise time* (t_r) = 572 detik atau 9,5 menit, *peak time* (t_p) = 0 detik, *maximum overshoot* (m_p) = 0 detik, dan *settling time* (t_s) = 1214 detik atau 20,2 menit. T_p dan M_p bernilai nol karena respon sistem tidak memiliki *overshoot*.

3.2.3. Pengujian Respon Sistem Kelembapan

3.2.3.1. Pengujian Respon Sistem Open Loop Kelembapan

Pengujian dilakukan pada saat kelembapan awal yang terukur sebelumnya kurang dari 50%. Pengujian dilakukan untuk mengetahui kemampuan kontrol *open loop* yang digunakan dalam menanggapi *set point* kelembapan. Grafik hasil pengujian kelembapan dalam rentang 50-60% ditunjukkan pada Gambar 18.

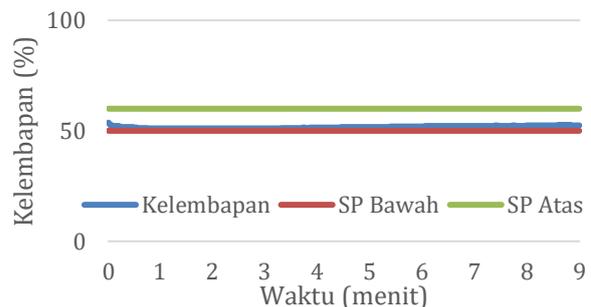
Pengujian kelembapan dalam rentang 50-60% dilakukan selama 522 detik atau sekitar 9 menit. Berdasarkan hasil respon sistem pada Gambar 18, dapat dilihat bahwa kontrol *open loop* mampu mencapai rentang yang diinginkan, yaitu 50-60%, namun tidak mampu mempertahankan nilai kelembapan dalam rentang yaitu 50-60%.



Gambar 18. Grafik hasil pengujian kelembapan dalam rentang 50-60%.

3.2.3.2. Pengujian Sistem Kontrol Kelembapan On-Off

Pengujian dilakukan untuk mengetahui kemampuan kontrol *on-off* yang digunakan dalam menanggapi *set point* kelembapan. Pengujian sistem kontrol kelembapan *on-off* dilakukan selama 522 detik atau sekitar 9 menit. Berdasarkan hasil respon sistem pada Gambar 19, dapat dilihat bahwa kontrol *on-off* mampu mempertahankan nilai kelembapan dalam rentang yang diinginkan, yaitu 50-60%. Grafik hasil pengujian kontrol *on-off* kelembapan ditunjukkan pada Gambar 19.



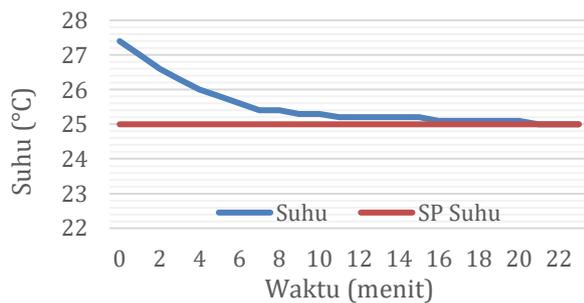
Gambar 19. Grafik hasil pengujian kontrol on-off kelembapan.

3.2.4. Pengujian Respon Sistem Kelembapan

Pengujian bertujuan untuk mengetahui kinerja kontrol fuzzy Sugeno untuk mengendalikan suhu dan kontrol *on-off* untuk mengendalikan kelembapan pada sistem pengendali kondisi ruangan.

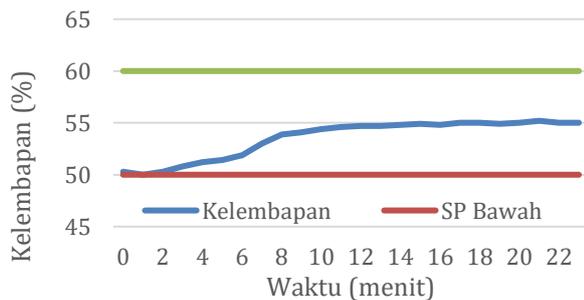
3.2.4.1. Kondisi 1 (Set Point 25°C)

Pengujian sistem dengan kondisi 1 dilakukan selama sekitar 23 menit. Grafik hasil pengujian suhu kondisi 1 ditunjukkan pada Gambar 20, dan hasil pengujian kelembapan kondisi 1 ditunjukkan pada Gambar 21.



Gambar 20. Grafik hasil pengujian suhu sistem pengendali kondisi ruangan kondisi 1.

Berdasarkan hasil pengujian pada Gambar 20, respon *transient* sistem dari pengujian kontrol *fuzzy* memiliki hasil *time delay* (t_d) = 222 detik atau 3,7 menit, *rise time* (t_r) = 918 detik atau 15,3 menit, *peak time* (t_p) = 1212 detik atau 20,2 menit, *maximum overshoot* (m_p) = 0%, dan *settling time* (t_s) = 1212 detik atau 20,2 menit, dengan *error steady state* = 0%. M_p bernilai nol karena respon sistem tidak memiliki *overshoot*.

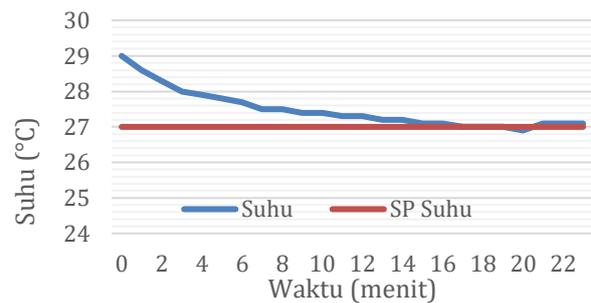


Gambar 21. Grafik hasil pengujian kelembapan sistem pengendali kondisi ruangan kondisi 1.

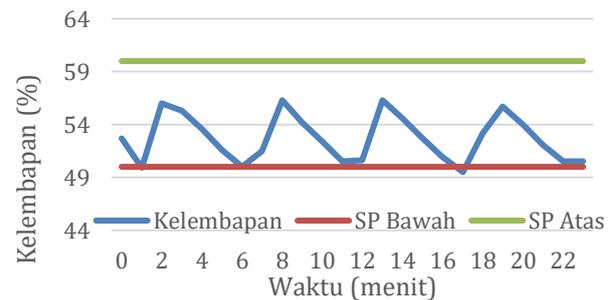
Berdasarkan hasil respon sistem pada Gambar 21, dapat dilihat bahwa kontrol *on-off* mampu mempertahankan nilai kelembapan dalam rentang yang diinginkan, yaitu 50-60%.

3.2.4.2. Kondisi 2 (Set Point 27°C)

Pengujian sistem dengan kondisi 2 dilakukan selama sekitar 23 menit. Grafik hasil pengujian suhu kondisi 2 ditunjukkan pada Gambar 22, dan hasil pengujian kelembapan kondisi 2 ditunjukkan pada Gambar 23. Berdasarkan hasil pengujian pada Gambar 22, respon *transient* sistem dari pengujian kontrol *fuzzy* memiliki hasil *time delay* (t_d) = 170 detik atau 2,8 menit, *rise time* (t_r) = 718 detik atau 11,9 menit, *peak time* (t_p) = 1190 detik atau 19,8 menit, *maximum overshoot* (m_p) = 0,003%, dan *settling time* (t_s) = 1212 detik atau 20,2 menit, dengan *error steady state* = 0.003%.



Gambar 22. Grafik hasil pengujian suhu sistem pengendali kondisi ruangan kondisi 2.



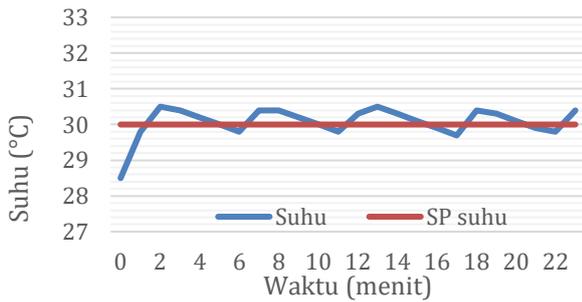
Gambar 23. Grafik hasil pengujian kelembapan sistem pengendali kondisi ruangan kondisi 2.

Berdasarkan hasil respon sistem pada Gambar 23, dapat dilihat bahwa kontrol *on-off* mampu mempertahankan nilai kelembapan dalam rentang yang diinginkan, yaitu 50-60%.

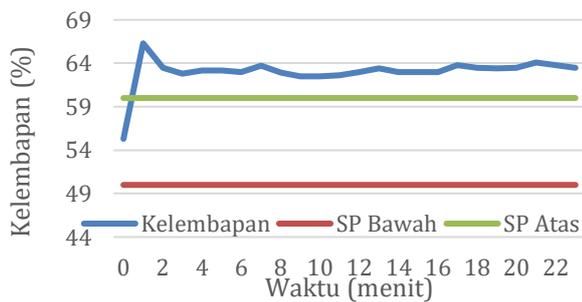
3.2.4.3. Kondisi 3 (Set Point 30°C)

Pengujian sistem dengan kondisi 2 dilakukan selama sekitar 23 menit. Grafik hasil pengujian suhu kondisi 2 ditunjukkan pada Gambar 24, dan hasil pengujian kelembapan kondisi 2 ditunjukkan pada Gambar 25. Berdasarkan hasil pengujian pada Gambar 23, respon *transient* sistem dari pengujian kontrol *fuzzy* memiliki hasil *time delay* (t_d) = 32 detik atau 0,5 menit, *rise time* (t_r) = 24 detik atau 0,4 menit, *peak time* (t_p) = 110 detik atau 1,83 menit, *maximum overshoot* (m_p) = 0,017%, dan *settling time* (t_s) = 390 detik atau 6,5 menit, dengan *error steady state* = 0.016%.

Berdasarkan hasil respon sistem pada Gambar 25, dapat dilihat bahwa kontrol *on-off* gagal mempertahankan nilai kelembapan dalam rentang yang diinginkan, yaitu 50-60%. Hal ini terjadi karena saat pemanas dinyalakan, udara dari luar *plant* akan ditarik oleh sistem untuk meningkatkan suhu, namun memiliki nilai kelembapan yang lebih tinggi dibandingkan *set point* yang ditetapkan untuk sistem.



Gambar 24. Grafik hasil pengujian suhu sistem pengendali kondisi ruangan kondisi 3.



Gambar 25. Grafik hasil pengujian kelembapan sistem pengendali kondisi ruangan kondisi 3.

4. Kesimpulan

Hasil pengujian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa sistem berhasil mencapai *set point* suhu dengan respon *transient* sistem terbaik pada kondisi 1, yaitu $t_d = 3,7$ menit, $t_r = 15,3$ menit, $t_p = 20,2$ menit, $m_p = 0\%$, $error\ steady\ state = 0\%$, dan menjaga nilai kelembapan udara dalam rentang yang ditentukan, yaitu 50-60%. Kondisi 3 sistem pengendali kelembapan gagal mengontrol kelembapan pada nilai 50-60%. Hal ini disebabkan adanya pengambilan udara lembap dari luar *plant* saat penyalaan pemanas.

Referensi

- [1]. Dr. V.V Prathibha Bharathi et al., "Design of Air Conditioning System for Residential/Office Building" International Journal of Emerging Research in Management & Technology, Vol. 6, Issue 3, Mar. 2017.
- [2]. *Ergonomics Of The Physical Environment*, ISO 7730, 2005.
- [3]. Standar Kenyamanan Termal Indonesia, SNI T-14-1993-03, 1993.
- [4]. Tarun Kumar Das, Yudhajit Das, "Design of A Room Temperature And Humidity Controller Using Fuzzy Logic," American Journal of Engineering Research, Vol. 2, Issue 11, pp-86-97, 2013.
- [5]. S.N. Wicaksono, "Aplikasi Kran Otomatis Berbasis Arduino," Tesis Diploma, Yogyakarta, STMIK AKAKOM Yogyakarta. 2017.
- [6]. T.J. Ross, *Fuzzy Logic with Engineering Applications*. 2004.
- [7]. *Temperature and humidity module AM2302 Product Manual*, Aosong (Guangzhou) Electronics Co., Ltd.
- [8]. Multicomp., "DC Brushless fan", 2015. Tersedia: <http://www.farnell.com/datasheets/1951759.pdf>, Diakses: Ags 21, 2019.
- [9]. Hair Dryer Maspion MP-5140. Tersedia: <https://www.hartonoelektronika.com/en/maspion-hair-dryer-mp5140.html> , Diakses Ags 21, 2019.
- [10]. Mist Maker Manual Instructions. Tersedia: <https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/61bQ10U043L.pdf>, Diakses: Ags 20, 2019.
- [11]. Datasheet HRM1 Relay, HKE.
- [12]. I. Kristofer, "Desain dan Implementasi Multiple Input Buck - Boost Converter pada Sel Surya dan Termoelektrik," Laporan Tugas Akhir, Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2015.
- [13]. O. Z. Bakhoda, M.B. Menhaj, dan G.B. Gharehpetian, "Fuzzy Logic Controller vs. PI Controller for MPPT of Three-Phase Grid-Connected PV System Considering Different Irradiation Conditions," dalam *J.Intell. Fuzzy Syst.*, vol. 30, no.3, pp 1353-1366, 2016.
- [14]. C.C. Lee, "Fuzzy Logic in Control Systems: Fuzzy Logic Controller Part I," IEEE Trans. Syst. Man. Cybern., vol.20, no.2, pp.404-418, 1990.
- [15]. K. Ogata, "Modern Control Engineering," Prentice-Hall, 1990.