

Perancangan Sistem Pengendalian Suhu Kumbung Jamur dengan Logika *Fuzzy*

Mahendra Ega Higuitta dan Hendra Cordova

Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

email: hendracordova@yahoo.com

Abstrak—Penelitian ini fokus pada pengendalian suhu dan kumbung jamur tiram dengan kontrol *fuzzy gain scheduling* yang digunakan untuk mentuning K_p , K_i , dan K_d agar diperoleh respon yang terbaik untuk aktuator sprayer dan blower. Pemodelan matematis ARX untuk membuat fungsi pengendalian suhu terhadap kelembaban. Variabel input yang digunakan dalam kontrol logika *fuzzy* GS ini adalah nilai *setpoint* suhu dan *error* suhu. Hasil *output* dari kontrol logika *fuzzy* adalah nilai otomatis tuning dari K_p , K_i , K_d Dari hasil *fitting data real plant* dengan data estimasi dengan menggunakan pemodelan ARX, diperoleh angka 66,69% dan 54,49% untuk hasil *fitting data real plant* dengan data validasi. Dilihat dari bentuk kurva yang diperoleh, terdapat kesamaan tren antara *data real plant* dengan data estimasi maupun validasi. Telah dilakukan uji *open loop* dan juga *close* pada sistem pengendalian yang dirancang. Pemberian nilai *set point* pada suhu yang sesuai untuk pertumbuhan jamur yaitu pada suhu 28°C dapat dicapai dan dipertahankan dengan nilai *maximum overshoot* dari pengendali tersebut sebesar 0,89% dan *time settling* sekitar 325 detik. Fungsi suhu terhadap kelembaban dengan pemodelan ARX menghasilkan respon sistem dengan *maximum overshoot* dari pengendali tersebut sebesar 35% dan *time settling* sekitar 240 detik, dan *error steady state* sebesar 0,03%.

Kata Kunci—Suhu, , autoregressive exogeneous, kontrol logika *fuzzy*

I. PENDAHULUAN

PERKEMBANGAN budidaya jamur tiram saat ini mengalami pertumbuhan yang sangat pesat ditandai dengan semakin banyaknya petani pembibit maupun pembesaran jamur yang berbanding lurus dengan banyaknya jumlah pelaku usaha makanan di bidang jamur. Dalam proses pembesaran jamur pada kumbung sangat tergantung pada faktor fisik seperti suhu, kelembaban, cahaya, pH media tanam, dan aerasi, udara. Jamur tiram dapat menghasilkan tubuh buah secara optimum pada rentang suhu $26-28^\circ\text{C}$, kelembaban udara 80-90% dan pH media tanam yang agak masam antara 5-6 [1].

Seiring berjalannya waktu para petani ternyata mengalami hambatan dalam melakukan pengendalian suhu kumbung jamur sehari-hari. Upaya yang mereka lakukan biasanya adalah dengan manual menggunakan sprayer yang disemprotkan pada kumbung jamur saat pagi dan sore setiap harinya. Selain kurang praktis, ada kelemahan lain yang terjadi dengan metode yang seperti itu, yaitu jika kondisi suhu dan kelembaban berfluktuasi sepanjang hari seperti yang biasa

terjadi pada pergantian musim saat ini, maka tidak cukup hanya disemprot dengan sprayer tiap pagi dan sore hari. fluktuasi suhu dan kelembaban sangat tinggi dan ini menyebabkan hasil panen mereka terganggu. Sebagai contoh yang terjadi pada petani jamur di Mojokerto, Sidoarjo dan Malang, pada masa pergantian musim kemarau ke musim hujan saat bulan September 2012 mereka mengalami penurunan panen jamur rata-rata sampai 20-40% per hari nya. Akan menjadi sebuah permasalahan tersendiri apabila para petani harus sepanjang waktu berada di kumbung jamur untuk melakukan penyemprotan. Oleh karena itu pada tugas akhir ini, akan dibahas mengenai sistem pengendalian suhu kumbung jamur tiram dengan Logika *Fuzzy*

II. URAIAN PENELITIAN

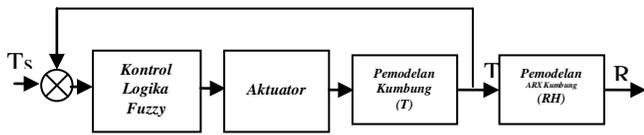
A. Pengambilan Data Termodinamik Kumbung

Data yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah data kondisi suhu dan kelembaban di dalam dan di luar *plant* kumbung jamur tiram dengan lokasi di desa kwangsan, kecamatan sedati, sidoarjo pada setiap rentang waktu 2 jam pada pukul 06.30 – 20.30 WIB

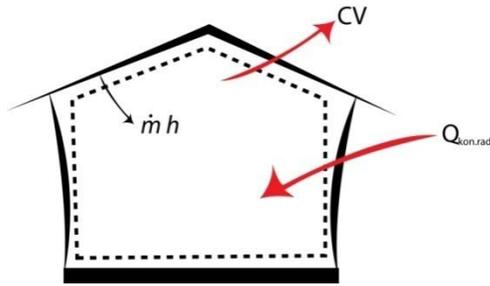
B. Perancangan Sistem Pengendalian Suhu pada Kumbung Jamur

Perancangan sistem untuk tugas akhir ini terdiri dari aktuator blower dan sprayer, sensor suhu, *plant* kumbung jamur, dan kontrol logika *fuzzy*. Secara diagram blok sistem dapat dilihat pada gambar. Tujuan dari pemodelan sistem ini adalah agar sistem secara keseluruhan dapat dilihat dengan lebih mudah (lihat Gambar 1).

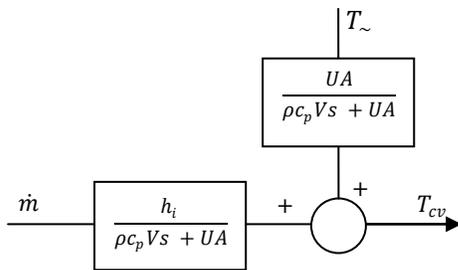
Untuk mendapatkan fungsi transfer *plant* kumbung dari parameter suhu, digunakan pendekatan neraca energi dalam melakukan pemodelan. Sedangkan dari parameter kelembaban (RH), digunakan pendekatan model matematis ARX (*Autoregressive Exogeneous*) untuk mendapatkan fungsi transfer nya. Aktuator yang digunakan untuk melakukan aksi pada *plant* adalah blower dan sprayer. Fungsi transfer akan didapatkan dengan acuan *psychometric process* yang terdiri dari proses *Cooling* dan *Humidifying*. Kontroler yang dipakai menggunakan Kontrol Logika *Fuzzy Gain Scheduling* tipe Mamdani dengan sistem MIMO (Multi Input, Multi Output). Input sistem yang digunakan pada KLF ini adalah *error* suhu (eT) dan suhu *set point* dengan output nilai K_p' , K_d' , alfa (α).



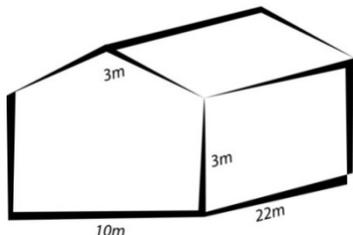
Gambar. 1. Diagram blok sistem pengendalian suhu kumbung jamur dengan kontrol logika fuzzy.



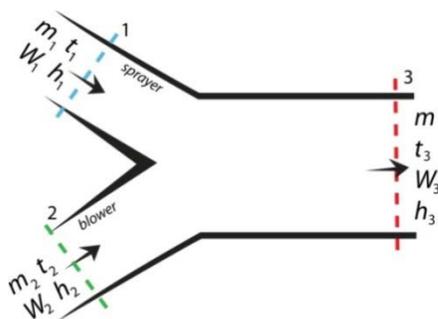
Gambar. 2. Skema konsep pemodelan suhu pada plant kumbung jamur.



Gambar. 3. Fungsi transfer suhu pada kumbung jamur.



Gambar. 4. Ukuran riil kumbung jamur .



Gambar. 5. Skema adiabatic mixing dari dua actuator.

C. Pemodelan Komponen Pengendalian Suhu pada Kumbung Jamur Perancangan Kendali Logika Fuzzy

- Suhu (kumbung)

Persamaan neraca energi :

$$\frac{dE_{cv}}{dt} = \dot{\phi}_{cv} - \dot{w}_{cv} + \dot{m}_i h_i - \dot{m}_e h_e \dots \dots \dots (1)$$

Visualisasi suku sambung diberikan pada Gambar 2. Karena tidak ada kerja mekanis, maka $\dot{w}_{cv} = 0$, sistem tertutup dan

tidak ada aliran keluaran sehingga $\dot{m}_e = 0$. Sehingga diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$\frac{d\rho \cdot c_p \cdot V \cdot T_{cv}}{dt} = UA(T_{cv} - T_{cv}) + \dot{m}_i h_i \dots \dots \dots (2)$$

$$\rho c_p V \frac{dT_{cv}}{dt} = UA(T_{cv} - T_{cv}) + \dot{m}_i h_i \dots \dots \dots (3)$$

Kemudian dilakukan transformasi *laplace* pada persamaan (3.8), sehingga diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$\rho c_p V s T_{cv}(s) = UA T_{cv} - UA T_{cv}(s) + m_i(s) h_i \dots \dots \dots (4)$$

$$T_{cv}(s)(\rho c_p V s + UA) = UA T_{cv} + m_i(s) h_i \dots \dots \dots (5)$$

$$T_{cv}(s) = \frac{UA T_{cv}}{\rho c_p V s + UA} + \frac{m_i(s) h_i}{\rho c_p V s + UA} \dots \dots \dots (6)$$

Fungsi transfer suhu pada kumbung jamur yang diperoleh diberikan dalam Gambar 3.

Karena material yang digunakan pada kumbung jamur adalah kayu bambu, maka didapatkan nilai $U = 0,145$. Sedangkan nilai A didapat dari luas seluruh penampang kumbung jamur, berikut ini adalah gambaran ukuran plant kumbung jamur di desa kwangsan, kecamatan sedati, sidoarjo (lihat Gambar 4).

Luas penampang keseluruhan adalah :

$$\begin{aligned} A &= 2A_1 \\ A &= 2A_1 + 2A_2 + 2A_3 + A_4 \\ &= 2 \cdot (10 \cdot 3 + 10 \cdot 3) + 2 \cdot (3 \cdot 22) + 2 \cdot (3 \cdot 22) + 10 \cdot 22 \\ &= 120 + 132 + 132 + 220 \\ &= 704 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Nilai Volume Kumbung adalah 990 m^3 , dengan $\rho = 1,024 \text{ kg/m}^3$ Konstanta panas jenis udara (C_p) diperoleh pada tabel termodinamika A20 yaitu sebesar $1,005 \text{ kJ/kgK}$. Nilai entalpi udara dari aktuator, h_i , dihitung dari psychometric chart pada C-8SI pada sea level sebesar 85 kJ/kg .

Dari persamaan (3.11) diperoleh

$$T_{cv}(s) = \frac{102,8 \cdot T_{cv}}{1018828 \text{ s} + 102,8} + \frac{85000 \text{ m}_i(s)}{1018828 \text{ s} + 102,8} \dots \dots \dots (7)$$

- Kelembaban

Dilakukan perancangan model matematis berbasis *auto regressive exogeneous* (ARX) untuk memberikan pemodelan fungsi suhu terhadap kelembaban.

Berikut ini adalah persamaan dasar model matematis ARX :

$$A(q^{-1})y(kT) = B(q^{-1})u(kT-nT) \dots \dots \dots (3.3)$$

Dimana T adalah waktu sampling, q^{-1} operator backward-shift, n adalah bilangan delay dari input ke output, dan A dan B adalah bilangan polynomial dalam q^{-1} dengan $A(q^{-1}) = 1 + a_1 q^{-1} + a_2 q^{-2} + \dots + a_n q^{-n}$,

Setelah diturunkan ke domain s , maka fungsi transfer kelembaban terhadap suhu, dari plant kumbung jamur adalah :

$$\begin{aligned} \frac{f_{RH}(s)}{f_T(s)} &= \frac{P(s)}{Z(s)} \\ &= \frac{-0,2843s^9 - 6,041 \cdot 10^{-5} \cdot s^8 - 7,21 \cdot 10^{-8} \cdot s^7 - 6,322 \cdot 10^{-12} \cdot s^6}{s^9 - 0,000152 \cdot s^8 - 3,599 \cdot 10^{-7} \cdot s^7 + 3,805 \cdot 10^{-11} \cdot s^6} \\ &\quad - 3,922 \cdot 10^{-15} \cdot s^5 + 7,839 \cdot 10^{-19} \cdot s^4 + 1,693 \cdot 10^{-22} \cdot s^3 \\ &\quad + 3,056 \cdot 10^{-26} \cdot s^2 + 6,576 \cdot 10^{-30} \cdot s + 3,494 \cdot 10^{-34} \\ &\quad - 3,833 \cdot 10^{-14} \cdot s^5 + 2,498 \cdot 10^{-18} \cdot s^4 + 1,313 \cdot 10^{-21} \cdot s^3 \\ &\quad + 4 \cdot 10^{-26} \cdot s^2 + 1,055 \cdot 10^{-29} \cdot s + 1,237 \cdot 10^{-34} \end{aligned}$$

Aktuator

Persamaan dasar yang dapat diaplikasikan sesuai dengan proses tersebut adalah sebagai berikut

$$\dot{m} = \dot{m}_1 - \dot{m}_2 \dots \dots \dots (8)$$

$$W_3 = \frac{\dot{m}_1}{\dot{m}} W_1 + \frac{\dot{m}_2}{\dot{m}} W_2 \dots \dots \dots (9)$$

$$h_3 = \frac{\dot{m}_1}{\dot{m}} h_1 + \frac{\dot{m}_2}{\dot{m}} h_2 \dots \dots \dots (10)$$

Dengan mengeliminasi \dot{m} , maka diperoleh

$$\frac{\dot{m}_1}{\dot{m}_2} = \frac{h_2 - h_3}{h_3 - h_1} = \frac{W_2 - W_3}{W_3 - W_1} \dots \dots \dots (11)$$

Dari persamaan tersebut digunakan pendekatan persamaan yang melibatkan suhu *dry-bulb* dari aliran udara untuk menemukan kondisi udara campuran.

$$\dot{m} (c_{pa} + W_3 c_{pw}) t_3 = \dot{m}_1 (c_{pa} + W_1 c_{pw}) t_1 + \dot{m}_2 (c_{pa} + W_2 c_{pw}) t_2 \dots \dots \dots (12)$$

Atau bisa juga didefinisikan sebagai berikut :

$$\dot{m} c_{p3} t_3 = \dot{m}_1 c_{p1} t_1 + \dot{m}_2 c_{p2} t_2 \dots \dots \dots (13)$$

$$\dot{m} = \frac{\dot{m}_1 c_{p1} t_1 + \dot{m}_2 c_{p2} t_2}{c_{p3} t_3} \dots \dots \dots (14)$$

Dikarenakan $c_{p1} = c_{p2} = c_{p3}$, maka nilai \dot{m} dapat didefinisikan sebagai berikut :

$$\dot{m} = \frac{\dot{m}_1 t_1 + \dot{m}_2 t_2}{t_3} \dots \dots \dots (15)$$

Dimana t_1 adalah suhu air, t_2 adalah suhu udara, t_3 adalah suhu campuran. Dari data lapangan yang diambil, maka dapat dihitung sebagai berikut :

$$\dot{m} = \frac{\dot{m}_1 \cdot 24 + \dot{m}_2 \cdot 29,2}{28,8} \dots \dots \dots (16)$$

$$\dot{m} = 0,833 \cdot \dot{m}_1 + 1,01 \cdot \dot{m}_2 \dots \dots \dots (17)$$

Kontrol Logika Fuzzy

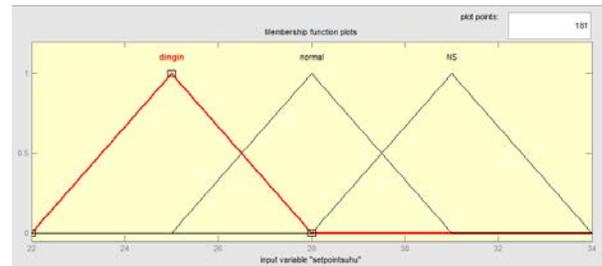
Prosedur pengaturan menggunakan kontrol logika *fuzzy* merupakan kumpulan dari aturan-aturan kontrol yang menjadi acuan bagi aksi kontroller. Aturan tersebut disusun berdasarkan pengamatan atau perkiraan terhadap respon dinamik suatu sistem. Untuk menentukan *rule base* digunakan metode pendekatan secara linguistik, yaitu dengan melakukan pengamatan respon terhadap masukan. Selanjutnya ditentukan *rule base* kontrol logika *fuzzy* yang disesuaikan dengan kondisi yang terjadi. Pada tugas akhir ini digunakan *fuzzy gain scheduling* dengan tipe *mamdani* [2]. Langkah-langkah atau prosedur dalam perancangan kontrol logika *fuzzy* :

a. Menentukan variabel masukan dan keluaran.

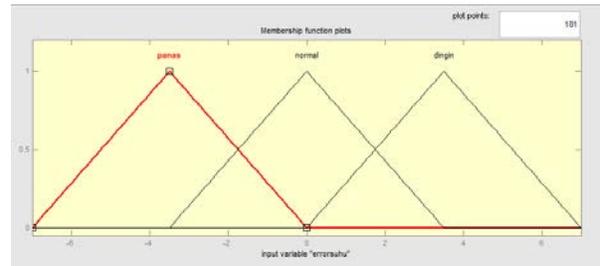
Variabel input dalam kontroller ini adalah *nilai set point suhu dan error suhu*. Hasil output dari kontrol logika *fuzzy* Kp adalah nilai Kp', untuk logika *fuzzy* Kd adalah nilai Kd', Logika *Fuzzy* Alfa (α) adalah untuk mencari nilai Alfa (α). Nilai Kp', Alfa (α), Kd' yang diperoleh nanti akan digunakan untuk mendapatkan nilai Kp, Ki, Kd untuk pengendalian pada aktuator sprayer dan blower

b. Menentukan fungsi keanggotaan (*membership function*)

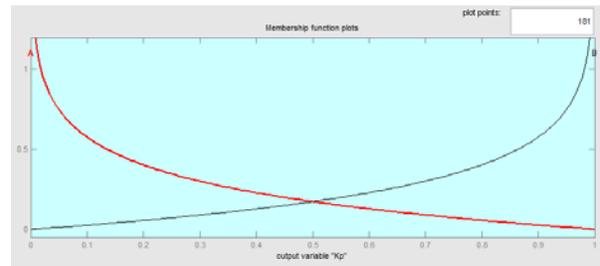
Masukan dan keluaran logika *fuzzy* dinyatakan dalam fungsi keanggotaan (*membership function*) untuk melakukan pengelompokan variabel-variabel yang ada. Berikut adalah fungsi keanggotaan yang digunakan dalam sistem



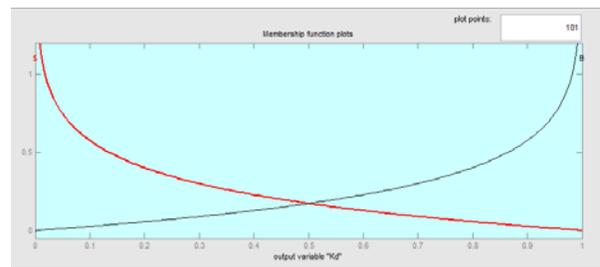
Gambar. 6. Fungsi keanggotaan input set point suhu pada *fuzzy* kp', *fuzzy* kd', dan *fuzzy* alfa (α).



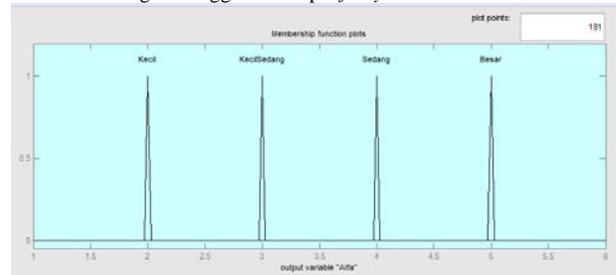
Gambar. 7. Fungsi keanggotaan input error suhu *fuzzy* kp', *fuzzy* kd', dan *fuzzy* alfa (α).



Gambar. 8. Fungsi Keanggotaan Output *Fuzzy* Kp'.



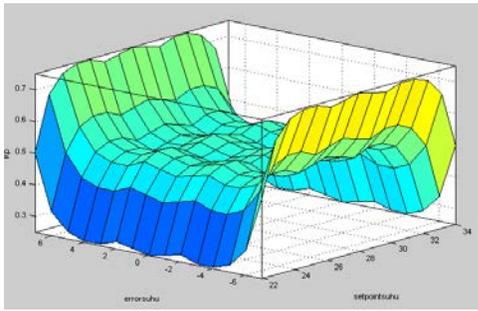
Gambar. 9. Fungsi keanggotaan output *fuzzy* kd'.



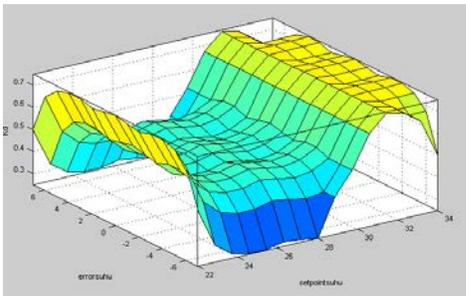
Gambar 10. Fungsi keanggotaan output *fuzzy* alfa.

c. Menentukan *Fuzzy Rule Base*

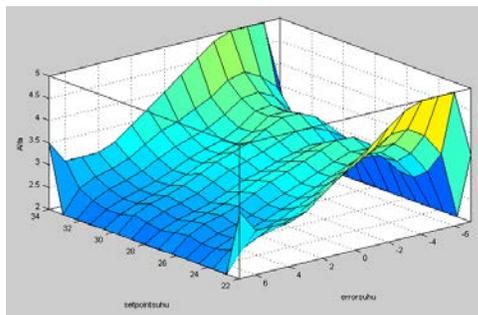
Rulebase merupakan sekumpulan aturan sebab akibat yang digunakan untuk mengambil keputusan akhir. Data masukan berupa suhu *set point* dan error suhu akan diolah dan menghasilkan keluaran berupa Kp' untuk *Fuzzy* Kp, Kd' untuk *fuzzy* Kd, dan juga Alfa (α) untuk *Fuzzy* Alfa (α) yang akan digunakan untuk menghitung Ki.



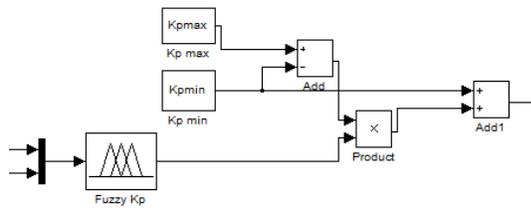
Gambar. 11. Surface kontrol logika fuzzy kp.



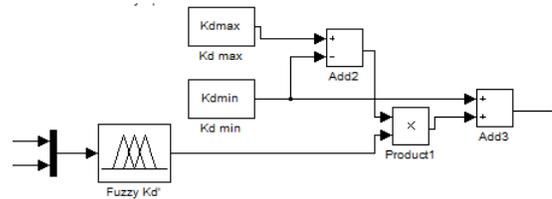
Gambar. 12. Surface kontrol logika fuzzy kd.



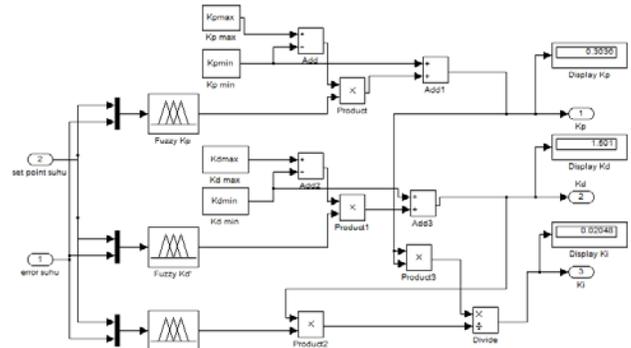
Gambar. 13. Surface kontrol logika fuzzy alfa.



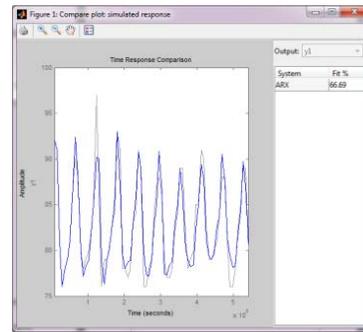
Gambar. 14. Simulink untuk persamaan 20



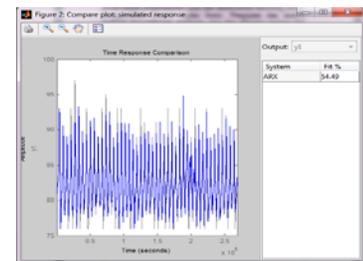
Gambar. 15. Simulink untuk persamaan 19.



Gambar. 16. Simulink untuk keseluruhan persamaan 20.



Gambar. 17. Hasil fitting data estimasi.



Gambar. 18. Hasil fitting data validasi.

Dari *rule base* yang dibentuk, maka akan terbentuk *surface* seperti pada Gambar 11-13.

Setelah penentuan nilai K_p' , K_d' , dan α , proses selanjutnya adalah menghitung nilai parameter kendali K_p , K_d , dan K_i berdasarkan persamaan berikut:

$$K_p = (K_{p,max} - K_{p,min})K_p' + K_{p,min} \dots \dots (18)$$

$$K_d = (K_{d,max} - K_{d,min})K_d' + K_{d,min} \dots \dots (19)$$

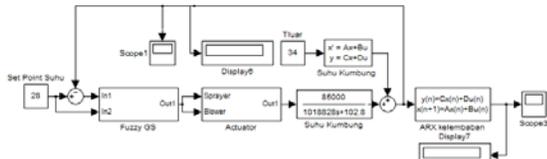
$$K_i = K_p^2 / (\alpha K_d) \dots \dots \dots (20)$$

Rangkaian simulink untuk Pers. 18-20 diberikan dalam Gambar 14-16.

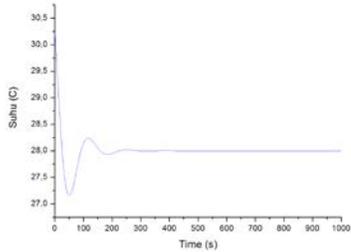
D. Hasil Pemodelan ARX kelembaban kumbung jamur

Dari pemodelan ARX yang telah dilakukan, diperoleh fitting data estimasi sebesar 66,69% dan data validasi sebesar 54,49%. Secara prosentase kesesuaian data estimasi dan data validasi dengan data riil memang terlihat masih bernilai kecil. Akan tetapi jika melihat asumsi data riil yang digunakan, prosentasi sebesar lebih dari 50% merupakan indikasi baik bahwasannya pemodelan yang dilakukan telah cukup sesuai jika juga melihat kesamaan tren grafik yang ditunjukkan baik oleh data estimasi maupun data validasi terhadap data riil plant (garis hitam dengan garis biru, lihat Gambar 17-18).

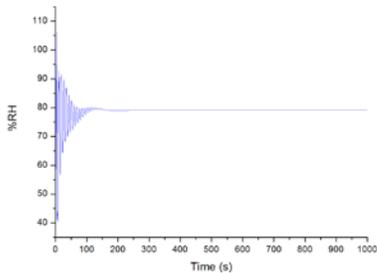
Uji Close Loop



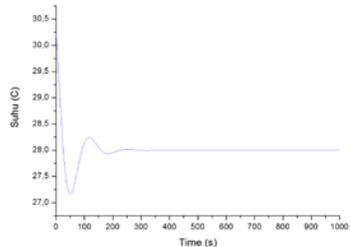
Gambar. 19. Pemodelan kontrol logika fuzzy pada simulink matlab.



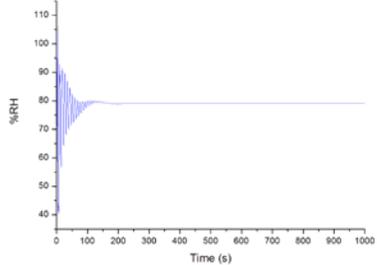
Gambar . 20. Hasil respon close loop dengan setpoint suhu 28 c, dan suhu luar 34 °c, simulation stop time 1000s.



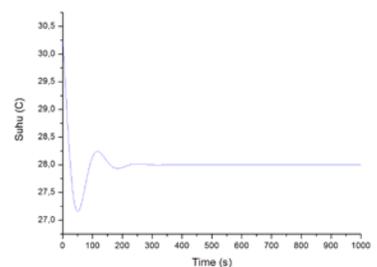
Gambar. 21. Hasil respon close loop kelembaban dengan setpoint suhu 28 c, dan suhu luar 34 °c, simulation stop time 1000s.



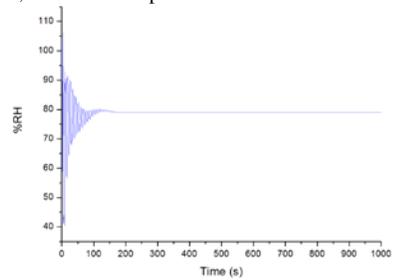
Gambar. 22. Hasil respon close loop dengan setpoint suhu 28 c, dan suhu luar 37 °c, simulation stop time 1000s.



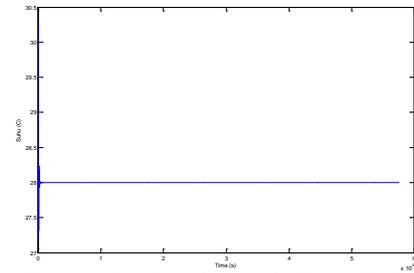
Gambar. 23. Hasil respon close loop dengan setpoint suhu 28 c, dan suhu luar 37 °c, simulation stop time 1000s.



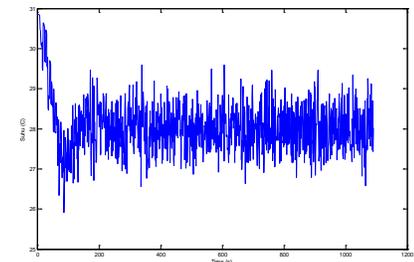
Gambar. 24. Hasil respon close loop dengan setpoint suhu 28 c, dan suhu luar 40 °c, simulation stop time 1000s.



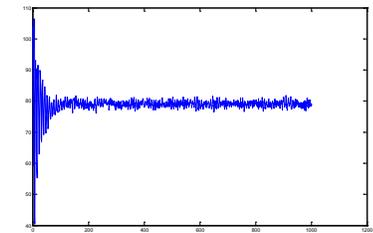
Gambar 25 Hasil Respon Close Loop dengan Setpoint Suhu 28 C, dan Suhu Luar 40°C, simulation stop time 1000s



Gambar. 26 .Hasil respon close loop fungsi suhu luar terhadap waktu.



Gambar . 27. Hasil respon close loop suhu dengan gaussian noise.



Gambar. 28. Hasil respon close loop kelembaban dengan gaussian noise.

Sistem ini akan disimulasikan dengan set point suhu 28^o C, dengan T_{luar} 34^o C, simulation stop time 1000s, dan simulation mode : normal.

Grafik hasil simulasi pengendalian suhu dengan Fuzzy Gain Scheduling, ditunjukkan pada gambar 4.9. Berdasarkan gambar tersebut, didapatkan bahwa minimum undershoot dari pengendali tersebut sebesar 3% dan time settling sekitar 325 detik. Berdasarkan gambar 19-28, didapatkan bahwa maximum overshoot dari pengendali tersebut sebesar 35% dan time settling sekitar 240 detik. Respon sistem dengan suhu luar 37^oC dan 40^oC memiliki nilai-nilai yang sama baik dari maksimum overshoot, minimum undershoot hingga time settling nya. Ini menunjukkan performansi aktuator dalam sistem berjalan mengendalikan dengan respon yang sesuai

setpoint yang dikehendaki. Dikarenakan *simulation stop time* mencapai 50.400s maka respon yang terlihat samar dan kecil jika tidak diperbesar. Jika diperbesar akan terlihat bahwa *maximum overshoot* dari pengendali tersebut juga sebesar 0.89% dan *time settling* sekitar 325 detik. Grafik hasil simulasi pengendalian suhu dengan *Fuzzy Gain Scheduling* menggunakan gaussian *noise*, ditunjukkan pada gambar 4.11. Berdasarkan gambar tersebut, didapatkan bahwa *error* yang terjadi adalah 3% .

III. KESIMPULAN/RINGKASAN

Dari hasil pengujian dan analisa penerapan pengendali logika *fuzzy* pada sistem kontrol kelembaban dan suhu pada kumbung jamur tiram ini didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- a) Penggunaan ARX untuk memodelkan kelembaban kumbung jamur sudah sangat sesuai meski fitting data estimasi yang dihasilkan hanya dapat mencapai 66, 69%, dan fitting data validasi 54.49%, akan tetapi jika melihat tren yang memiliki kesamaan, dapat diasumsikan sesuai
- b) Pemberian nilai set point pada suhu yang sesuai untuk pertumbuhan jamur yaitu pada suhu 28° C dapat

dicapai dan dipertahankan dengan nilai *minimum undershoot* dari pengendali tersebut sebesar 3% dan *time settling* sekitar 325 detik.

- c) Fungsi suhu terhadap kelembaban dengan pemodelan ARX menghasilkan respon sistem dengan *maximum overshoot* dari pengendali tersebut sebesar 35% dan *time settling* sekitar 240 detik, dan error steady state sebesar 0,03%

IV. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada yayasan KSE yang telah memberikan bantuan finansial melalui Beasiswa Tugas Akhir KSE tahun 2012-2013”.

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Susilawati., Raharjo, Budi. 2010. *Budidaya Jamur Tiram yang Ramah Lingkungan*. Report No 50. STE Final. Palembang
- [2] Zhao, Z.-Y., Tomizuka, M., & Isaka, S. (1993). *Fuzzy Gain Scheduling of PID Controller*. *IEEE TRANSACTIONS ON SYSTEMS, MAN, AND CYBERNETICS*, 23 (5), 1392-1398.