

Identifikasi Model Parametrik Sistem Suhu dan Kelembaban Udara Greenhouse Secara Eksperimental

Karsid[✉], Rofan Aziz

Jurusan Teknik Pendingin dan Tata Udara, Politeknik Negeri Indramayu

[✉]karsid@polindra.ac.id

Abstrak: Pemodelan sistem greenhouse dilakukan secara eksperimental, dimana data input dan output dijadikan dasar pemodelan. Data diambil menggunakan *datalogger* yang terbuat dari Arduino, 2 (dua) buah sensor suhu dan kelembaban udara DHT22, modul *SD card reader*, modul *real time clock*, di mana data diambil dan disimpan oleh *datalogger* setiap 5 menit sekali selama 2 (dua) hari. Model yang diuji adalah model Autoregresive Exogenous (ARX), autoregressive-moving-average eXogenous (ARMAX), Output Error (OE) dan Box Jenkins (BJ). Dari hasil pengujian didapatkan untuk sistem temperature adalah pemodelan sistem dengan metode ARMAX4441, dimana mempunyai tingkat kepercayaan sebesar 41,06 persen dengan *loss function* sebesar 0,0662069 dan *final prediction error* (FPE) sebesar 0,0692983. Sedangkan untuk sistem kelembaban udara, model yang paling sesuai adalah ARMAX4441 dengan tingkat kepercayaan sebesar 58,77 persen, *loss function* sebesar 0,310379 dan FPE sebesar 0,324872.

Kata kunci: ARX, ARMAX, BJ model, OE, greenhouse.

Abstract: Greenhouse system modeling is done experimentally, where input and output data are used as a basis for modeling. Data was taken using a datalogger made from Arduino, 2 (two) temperature and humidity sensors DHT22, SD card reader module, real time clock module, where data was collected and stored by the datalogger every 5 minutes for 2 (two) days. The models tested were the Autoregressive eXogenous (ARX) model, eXogenous autoregressive-moving-average (ARMAX), Output Error (OE) and Box Jenkins (BJ). From the test results obtained for the temperature system is modeling the system with the ARMAX4441 method, which has a confidence level of 41.06% with a loss function of 0.0662069 and Final Prediction Error (FPE) of 0.0692983. Whereas for the air humidity system, the most suitable model is ARMAX4441 with a confidence level of 58.77%, loss function of 0.310379 and FPE of 0.324872.

Keywords: ARX, ARMAX, BJ model, OE, greenhouse.

I. PENDAHULUAN

Dunia pertanian di Indonesia dewasa ini telah mengalami perkembangan yang cukup signifikan dengan bidang pertanian menjadi salah satu penopang perekonomian nasional. Produk-produk hasil pertanian menjadi tumpuan kebutuhan baik di dalam negeri maupun luar negeri.

Bangunan *greenhouse* digunakan untuk melindungi tanaman dari efek lingkungan yang tidak dibutuhkan oleh tanaman, misalnya suhu udara yang tidak sesuai, kelembaban udara yang terlalu tinggi atau rendah.

Kecepatan angin yang terlalu tinggi dapat mengakibatkan tanaman roboh, gangguan curah hujan yang tidak dibutuhkan oleh tanaman dan efek lainnya yang tidak dibutuhkan. Isolasi tanaman dengan menggunakan *greenhouse* pada awalnya dibuat dengan menggunakan kaca, namun karena biaya yang digunakan terlalu mahal, maka diganti dengan menggunakan plastik. *Greenhouse* merupakan metode budidaya pertanian dengan menggunakan bangunan rumah kaca dimana proses budidaya pertanian dilakukan pada bangunan yang sudah terkontrol intensitas sinar matahari, suhu udara, kelembaban udara, terisolasi dari lingkungan luar untuk

menghindari hal-hal yang mengganggu dalam proses budidaya pertanian.

Pengembangan teknologi *greenhouse* terus berkembang khususnya pada proses pengkondisian lingkungan *greenhouse* agar sesuai dengan jenis tanaman yang sedang dibudidayakan, beberapa variabel yang secara umum perlu dikontrol dalam *greenhouse* adalah sinar radiasi dari matahari, suhu dan kelembaban udara yang optimal, efek curah hujan dan gangguan hama penyakit. Proses kontrol tersebut sedapat mungkin dilakukan dengan biaya yang seminimal mungkin dan proses operasional yang murah, hal ini berpengaruh terhadap biaya produksi keseluruhan hasil pertanian sampai ke tahap harga jual produk. Efisiensi biaya dapat dilakukan dengan desain dan perancangan sistem kontrol yang tepat dan operasional energi listrik dapat ditekan seminimal mungkin. *Back propagation neural network* telah digunakan sebagai kontrol untuk mengatur kecepatan motor induksi [1], ketika model fisik didapatkan dari variable-variabel yang telah tersedia informasi, kemudian metode perancangan kendali *heuristic* atau penalaan terbukti mampu memberikan kriteria performansi sistem kendali yang baik [2]. Maka untuk mendapatkan kondisi lingkungan yang tepat bagi

tumbuhnya tanaman dengan biaya pengadaan dan operasional yang murah sebelum digunakan metode kontrol yang tepat, maka perlu diidentifikasi model suhu dan kelembaban udara untuk *greenhouse*.

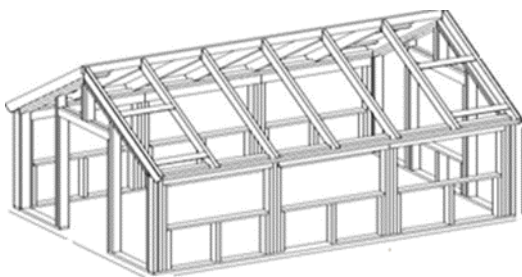
Pemodelan sistem dilakukan guna menentukan jenis kontrol yang tepat untuk diterapkan pada sistem tersebut. Penelitian tentang pemodelan sistem telah banyak dilakukan, di antaranya yaitu simulasi *switching control* berdasarkan model terprediksi [3], identifikasi sistem dinamik temperature *greenhouse* berdasarkan model neural network [4], pemodelan *greenhouse* menggunakan metode autoregressive, perbandingan pemodelan data dan model simulasi *greenhouse* pada era *big data* [5], identifikasi sistem *greenhouse* berdasarkan metode fuzzy [6], identifikasi sistem *photovoltaic greenhouse* telah juga dilakukan dengan berdasar pemodelan diskrit [7] dan pemodelan sistem *greenhouse* dengan metode particle swam optimization (PSO) and differential evolution [8]. Model jaringan petri sebagai salah satu jenis model kejadian diskrit, juga telah digunakan untuk memodelkan manajemen energi listrik [9].

II. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan melalui beberapa tahap yaitu melakukan perancangan dan pembuatan *greenhouse*, Pembuatan *datalogger* suhu dan kelembaban udara, pemilihan struktur model suhu dan kelembaban udara, simulasi dalam program SIMULINK dan membandingkan hasil *realtime* pengambilan data dengan hasil simulasi.

A. Perancangan dan Pembuatan Greenhouse

Untuk konstruksi green house menggunakan baja ringan sebagai rangka dan penutup menggunakan plastik ultraviolet (UV). Adapun desain dari *greenhouse* adalah:



Gambar 1. Desain *greenhouse*.

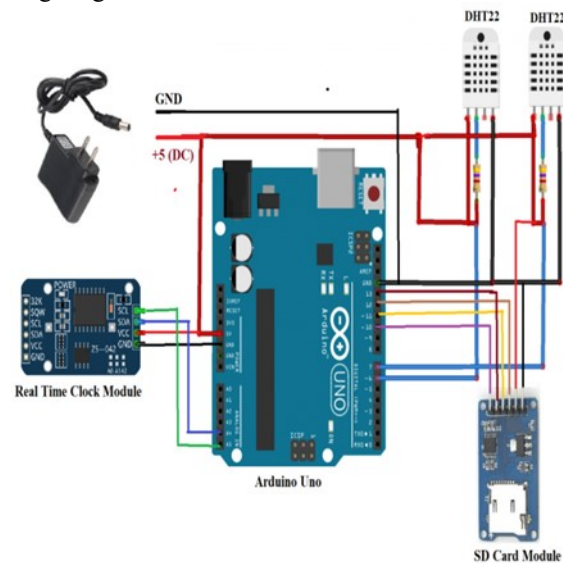
Pada Gambar 1 dapat dilihat bahwa ukuran *greenhouse* tersebut adalah $2\text{ m} \times 3\text{ m} \times 3\text{ m}$ dimana akan diambil data variabel suhu dan kelembaban udara menggunakan sensor suhu dan kelembaban udara DHT22, dengan pemroses Arduino Uno. Dari Gambar 2 dapat dilihat bahwa bangunan *greenhouse* terbuat dari rangka baja ringan dengan penutup plastik ultraviolet.



Gambar 2. Pembuatan *greenhouse*.

B. Datalogger Suhu dan Kelembaban Udara

Adapun pembacaan suhu dan kelembaban udara dapat dilihat pada Gambar 3. Pada gambar tersebut digunakan 2 (dua) buah sensor DHT22, dimana satu buah sensor diletakan di dalam ruang *greenhouse* dan yang satunya lagi dipasang di sisi luar. *Datalogger* dibuat menggunakan Arduino dengan *real time clock (RTC) module* sebagai pembaca waktu dan *SD card module* guna menyimpan informasi data suhu dan kelembaban udara baik di dalam ruang maupun lingkungan.



Gambar 3. *Datalogger* suhu dan kelembaban udara.

C. Pemilihan Model Suhu dan Kelembaban Udara

Adapun model yang akan dilakukan uji terhadap data eksperimental dari suhu dan kelembaban *greenhouse* adalah sebagai berikut:

1. Model ARX

ARX model adalah Autoregressive Exogenous, dimana hubungan input dan output didapatkan dari Persamaan (1)

$$\begin{aligned}
 y(t) + a_1 y(t-1) + \dots + a_n y(t-n) \\
 = b_1 u(t-n_k) \dots \\
 + b_{nb} u(t-n_k-n_b \\
 + 1) + e(t)
 \end{aligned}
 \quad (1)$$

dengan $y(t)$ adalah output pada waktu t , n_a adalah orde sistem dimana menyatakan *poles* dari sistem, n_b juga orde sistem yang menyatakan jumlah dari *zero* ditambah 1, n_k adalah *dead time (delay)* pada sistem, $y(t-1) \dots y(t-n_a)$ adalah keluaran-keluaran berikutnya dari sistem, $u(t-n_k) \dots b_{n_b}u(-n_k-n_b+1)$ adalah masukan-masukan dari sistem, sedangkan $e(t)$ adalah nilai gangguan. Persamaan dari Model ARX dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$A(z)y(t) = B(z)u(t - n_k) + e(t) \quad (2)$$

dengan z adalah operator *delay*, sedangkan:

$$A(z) = 1 + a_1z^{-1} + a_2z^{-2} + \dots + a_{n_a}z^{-n_a} \quad (3)$$

$$B(z) = b_1 + b_2z^{-1} + b_3z^{-2} + \dots + b_{n_b}z^{-n_b} \quad (4)$$

2. Model ARMAX

Struktur dari model ARMAX dinyatakan Persamaan (5)

$$y(t) + a_1y(t-1) + \dots + a_{n_a}y(t-n_a) = b_1u(t-n_k) + \dots + b_{n_b}u(t-n_k-+1) + e(t) + \dots + c_{n_c}e(t-n_c) + e(t) \quad (5)$$

dengan n_c adalah jumlah koefisien.

Persamaan differensial model ARMAX sesuai dengan Persamaan (6)

$$A(z)y(t) = B(z)u(t - n_k) + C(z)e(t) \quad (6)$$

dengan

$$A(z) = 1 + a_1z^{-1} + a_2z^{-2} + \dots + a_{n_a}z^{-n_a} \quad (7)$$

$$B(z) = b_1 + b_2z^{-1} + b_3z^{-2} + \dots + b_{n_b}z^{-n_{b+1}} \quad (8)$$

$$C(z) = 1 + c_1z^{-1} + c_2z^{-2} + \dots + c_{n_c}z^{-n_c} \quad (9)$$

3. Model Output-Error (OE)

Struktur model OE dinyatakan dengan Persamaan (10)

$$y(t) = \frac{B(z)}{F(z)}u(t - n_k) + e(t) \quad (10)$$

dengan

$$B(z) = b_1 + b_2z^{-1} + b_3z^{-2} + \dots + b_{n_b}z^{-n_{b+1}} \quad (11)$$

$$F(z) = 1 + f_1z^{-1} + f_2z^{-2} + \dots + f_{n_f}z^{-n_f} \quad (12)$$

4. Model *Box-Jenkins* (BJ)

Struktur model BJ dinyatakan dengan Persamaan (13)

$$y(t) = \frac{B(z)}{A(z)}u(t - n_k) + \frac{C(z)}{D(z)}e(t) \quad (13)$$

dengan

$$A(z) = 1 + a_1z^{-1} + a_2z^{-2} + \dots + a_{n_a}z^{-n_a} \quad (14)$$

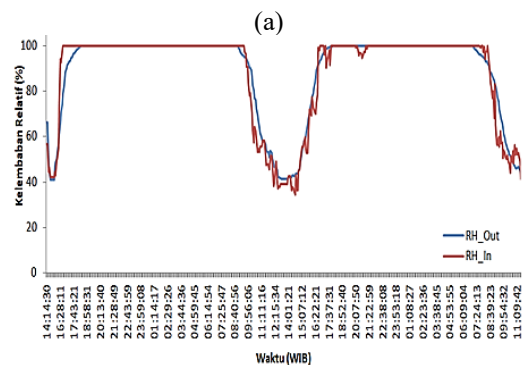
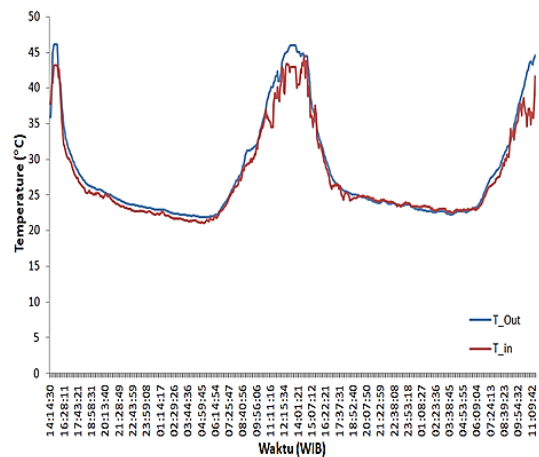
$$B(z) = b_1 + b_2z^{-1} + b_3z^{-2} + \dots + b_{n_b}z^{-n_{b+1}} \quad (15)$$

$$C(z) = 1 + c_1z^{-1} + c_2z^{-2} + \dots + c_{n_c}z^{-n_c} \quad (16)$$

$$D(z) = 1 + d_1z^{-1} + d_2z^{-2} + \dots + d_{n_d}z^{-n_d} \quad (17)$$

D. Pengambilan Data Suhu dan Kelembaban Udara

Sebelum dilakukan pemodelan secara eksperimental, dilakukan pengambilan data dimana data yang diambil adalah masukan dan keluaran dari sistem *greenhouse* yaitu suhu dan kelembaban udara, adapun hasil pengambilan data diplot menjadi grafik pada Gambar 4.



Gambar 4. (a) Temperatur dalam dan luar *greenhouse*, (b) Kelembaban relatif dalam dan luar *greenhouse*.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah dilakukan pengambilan data, kemudian dilakukan pengujian dengan beberapa model, yaitu model ARX, ARMAX, OE dan BJ. Dari keempat model tersebut kemudian diidentifikasi model manakah yang paling sesuai.

A. Pengujian Model Temperatur Udara

Dari Gambar 5 dapat dilihat bahwa model yang paling sesuai mewakili sistem adalah model BJ44441 artinya $n_a=4$, $n_b=4$, $n_c=4$, $n_d=4$ dan $n_k=1$, yaitu menghasilkan kesesuaian sebesar 85,26%, diikuti model OE441 sebesar 84,89%, BJ2221 sebesar 84,71%, OE221 sebesar 84,55%, ARX441 sebesar 58,53%, ARMAX4441 sebesar 41,06%, ARX221 sebesar 38,95% dan ARMAX 2221 sebesar 26,72%. Dari Gambar 6 dapat dilihat bahwa dengan menggunakan analisis residual sistem dari beberapa model yang dibandingkan kemudian dilihat model yang berada di antara garis putus-putus dan mendekati titik sumbu nol. Jadi model system yang dipilih adalah model ARMAX441. Setelah dilakukan analisa *autocorrelation* residu dari output dari masukan dan keluaran sesuai dengan Gambar 7 dan Tabel 1, bahwa

model yang berada di antara garis lurus putus-putus adalah model ARMAX441. Jadi model temperature sistem yang paling sesuai dari beberapa model yang dibahas adalah model ARMAX441.

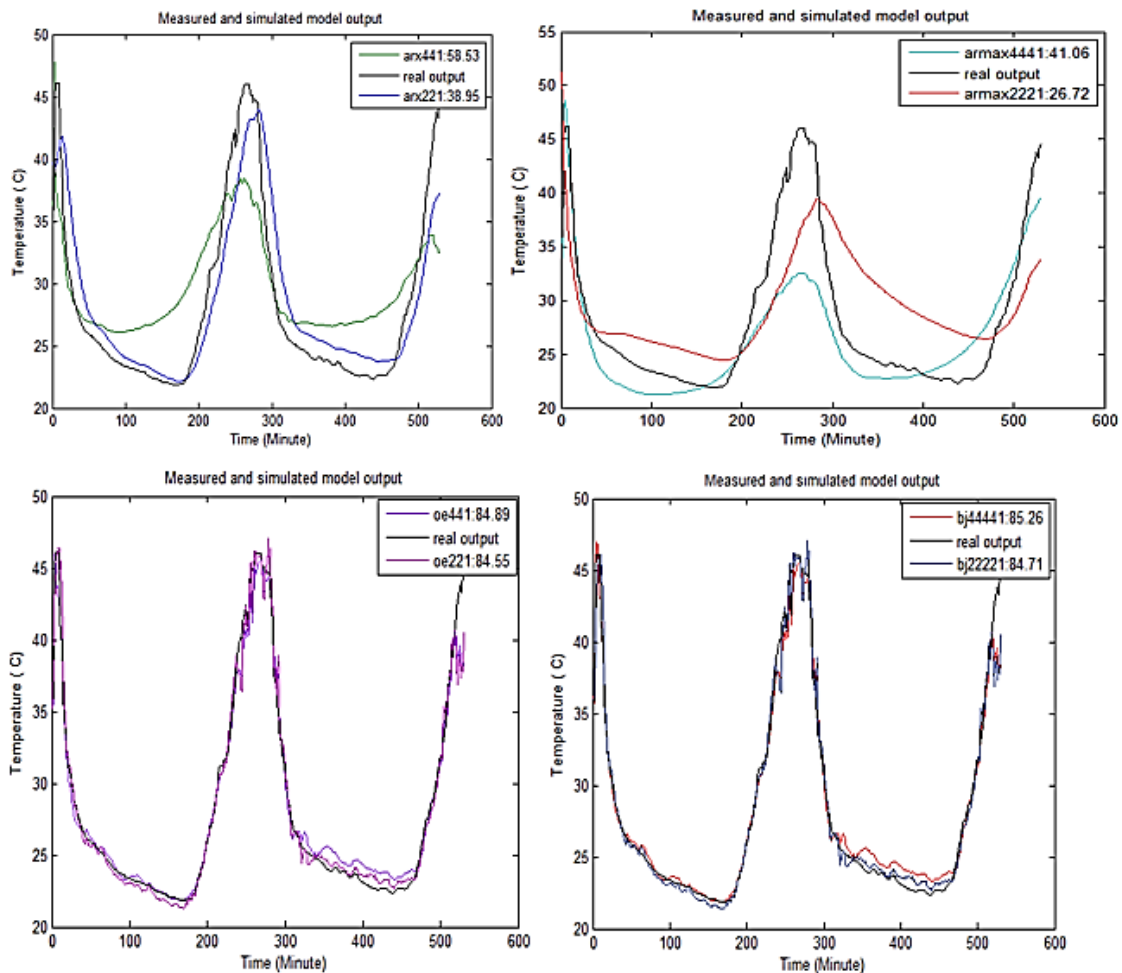
$$A(q)y(t) = B(q)u(t) + C(q)e(t) \quad (18)$$

dengan

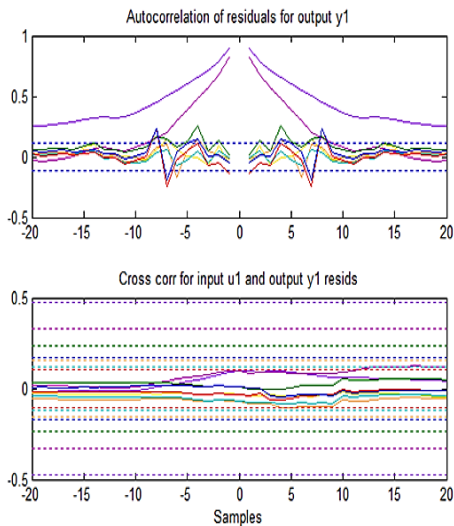
$$A(q) = 1 - (2.512)q^{-1} + (2.197)q^{-2} - (0.8203)q^{-3} + (0.1339)q^{-4} \quad (19)$$

$$B(q) = 0.3156q^{-1} - (0.03108)q^{-2} - (0.01701)q^{-3} + (0.01577)q^{-4} \quad (20)$$

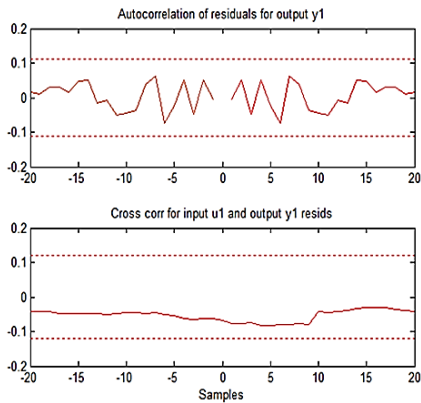
$$C(q) = 1 - (1.182)q^{-1} + (0.4032)q^{-2} + (0.002089)q^{-3} - (0.0401)q^{-4} \quad (21)$$



Gambar 5. Perbandingan model temperatur udara.



Gambar 6. Co-relation analysis residu model temperatur.



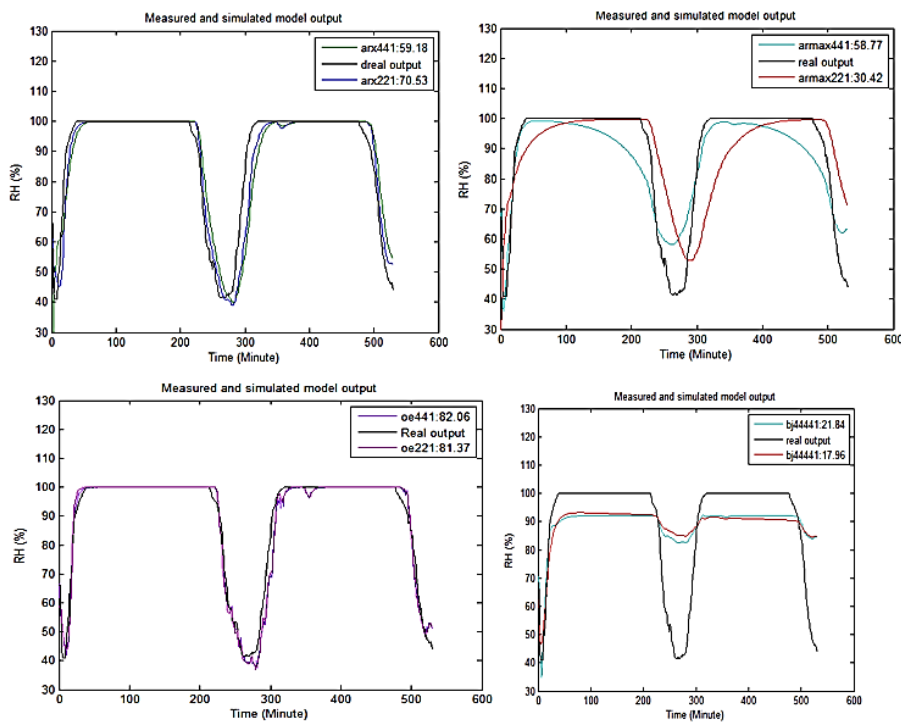
Gambar 7. Co-relation analysis model temperatur paling sesuai.

Tabel 1. Estimasi parameter model temperatur.

Model Temperature	Loss Function	FPE	Best Fit
ARX221	0,935167	0,94939	70,53%
ARX441	0,353098	0,363921	59,18%
ARMAX2221	0,877659	0,897835	30,42%
ARMAX4441	0,310379	0,324872	58,77%
OE221	26,2023	26,6047	81,37%
OE441	24,715	25,4873	82,06%
BJ2221	0,311836	0,321468	17,96%
BJ4441	0,233326	0,248082	21,84%

B. Pengujian Model Kelembaban Udara Greenhouse

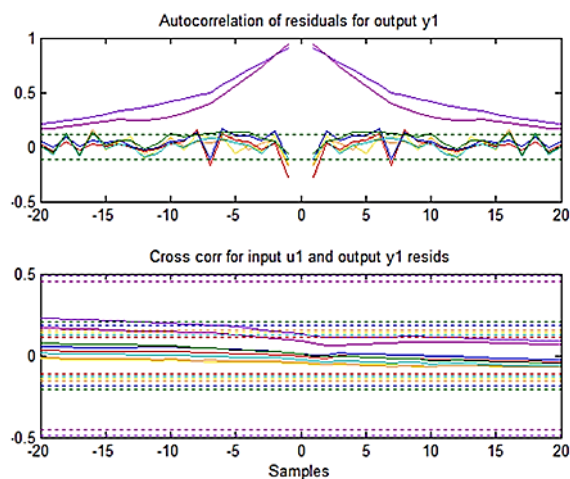
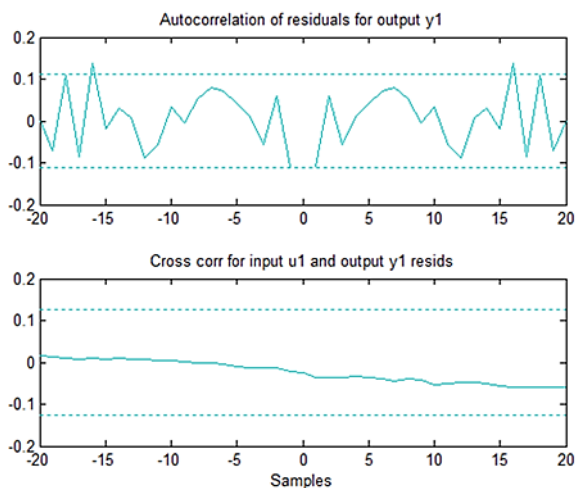
Adapun perbandingan model kelembaban udara dapat dilihat pada Gambar 8. Dimana keempat model tersebut dibandingkan guna mendapatkan model kelembaban relatif yang paling sesuai dengan kondisi nyata. Dari Gambar 8, model kelembaban relatif *greenhouse* dibandingkan guna mendapatkan model yang paling sesuai. bahwa model yang paling sesuai mewakili kelembaban udara adalah OE441 sebesar 82.06% lebih besar jika dibandingkan dengan model yang lainnya. Akan tetapi dari Tabel 2 dapat dilihat bahwa *loss function* dan FPE paling besar. Dari analisis *autocorrelation* residu pada Gambar 9 dan 10 dari masukan dan keluaran sistem bahwa model yang berada di antara garis lurus putus-putus adalah model yang berada pada batas kepercayaan. Dapat dilihat bahwa model yang mempunyai kepercayaan yaitu model ARMAX441.



Gambar 8. Perbandingan model kelembaban udara relatif *greenhouse*.

Tabel 2. Estimasi parameter model temperatur.

Model Temperature	Loss Function	FPE	Best Fit
ARX221	0,935167	0,94939	70,53%
ARX441	0,353098	0,363921	59,18%
ARMAX2221	0,877659	0,897835	30,42%
ARMAX4441	0,310379	0,324872	58,77%
OE221	26,2023	26,6047	81,37%
OE441	24,715	25,4873	82,06%
BJ2221	0,311836	0,321468	17,96%
BJ4441	0,233326	0,248082	21,84%

**Gambar 9.** Co-relation analysis model kelembaban udara.**Gambar 10.** Co-relation analysis model kelembaban udara paling sesuai.

Dari analisis *autocorrelation* residu pada Gambar 9 dan 10 terhadap masukan dan keluaran sistem diketahui bahwa model yang berada di antara garis lurus putus-putus adalah model yang berada pada batas kepercayaan. Dapat dilihat bahwa model yang mempunyai kepercayaan yaitu model ARMAX441.

IV. KESIMPULAN

Sistem *greenhouse* merupakan sistem MIMO, dimana mempunyai 2 (dua) masukan dan 2 (dua) keluaran yaitu variabel suhu dan kelembaban udara. Pemodelan sistem *greenhouse* berguna untuk menentukan sistem secara matematis, yang menjadi dasar pertimbangan dalam memilih teknik kontrol. Model yang diuji adalah model eksperimental parametrik ARX, ARMAX, OE dan BJ, yang kemudian dipilih dari beberapa model tersebut yang paling sesuai dengan sistem nyata. Dari hasil pengujian didapatkan untuk sistem temperatur adalah pemodelan sistem dengan metode ARMAX4441 yang mempunyai tingkat kesesuaian sebesar 41,06% dengan *loss function* sebesar 0,0662069 dan *final prediction error* (FPE) sebesar 0,0692983. Sedangkan untuk sistem kelembaban udara model yang paling sesuai adalah ARMAX4441 dengan tingkat kesesuaian sebesar 58,77%, *loss function* sebesar 0,310379 dan FPE sebesar 0,324872.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktur Politeknik Negeri Indramayu, Ketua Jurusan Teknik Pendingin dan Tata Udara yang telah memberikan dukungan. Demikian juga Kami ucapkan kepada Kemenristek Dikti yang telah memberikan dukungan pada penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. R. Djalal, K. Hutoro and A. Imran, "Kontrol kecepatan motor induksi menggunakan algoritma backpropagation neural network," *Elkomnika*, vol. 5, no. 2, pp. 138-148, 2017.
- [2] Waluyo, A. Fitriansyah and Syahril, "Analisis penalaan kontrol PID pada simulasi kendali kecepatan putaran motor DC berbeban menggunakan metode Heuristik," *Elkomnika*, vol. 1, no. 2, pp. 79-92, 2013.
- [3] Z. Xu and J. Chen, "Switching control strategy for greenhouse temperature humidity system based on prediction modeling: A simulation study," *Journal of Engineering and Technological Sciences* vol. 49, no. 5, pp. 689-703, 2017.
- [4] H. U. Frausto, J. G. Pieters and J. M. Deltour, "Modelling greenhouse temperature by means of auto regressive models," *Biosystems Engineering* vol. 84, no. 2, pp. 147-157, 2013.
- [5] B. S. Kim, B. G. Kang, S. H. Choi and T. G. Kim, "Data modeling versus simulation modeling in the big data era: Case study of a greenhouse control system," *Sage* vol. 93, no. 7, pp. 579-594, 2017.
- [6] A. Trabelsi, F. Lafont, M. Kamound and G. Enea, "Fuzzy identification of a greenhouse," *Science Direct*, vol. 7, no. 3, pp. 1092-1101, 2007.
- [7] C. Foued, M. Hfaied and H. Amira, "System identification of discrete model for photovoltaic greenhouse," *International Journal of Control*,

- Energy and Electrical Engineering*, vol. 2, no. 2, pp. 6-11, 2015.
- [8] A. P. Gonzalez, O. B. Mendoza and J. L. Leon, "Modelling of a greenhouse prototype using pso and differential evolution algorithms based on a real time labview application," *Science Direct*, vol. 62, pp. 86-100, 2018.
- [9] A. Halim, "Pemodelan sistem ketenagalistrikan skala kecil terisolasi menggunakan jaring petri kontinu berwaktu," *Jurnal Nasional Teknik Elektro*, vol. 5, no. 2, pp.384-391, 2016.