

PERANCANGAN SISTEM PENGENDALIAN SUHU DENGAN PENGENDALI PID MENGGUNAKAN ESTIMASI ARX

Ainie Khuriati Riza Sulistiati

Laboratorium Instrumentasi Elektronika, Jurusan Fisika, Universitas Diponegoro

Abstract

In this paper ARX estimation methodology used to design a PID controller for temperature control of the air heater. The step input applied on heating systems and logging the data to MATLAB via a data acquisition system. The data obtained is used to identify the model of the process in the form of ARX. PID parameters obtained by minimising a standard integral errors using the least squares method. Then, the results were compared with the classical methods

Keywords: *PID, Identification, air heater*

Abstrak

Pada makalah ini digunakan metodologi estimasi ARX untuk merancang pengendali PID yang digunakan untuk mengendalikan suhu pemanas udara. Masukan tangga dikenakan terhadap sistem pemanas dan data suhu udara dikirim ke MATLAB melalui system akuisisi data. Data yang diperoleh digunakan untuk mengidentifikasi model proses dalam bentuk ARX. Parameter PID diperoleh dengan meminimalkan integral galat menggunakan metoda kuadrat terkecil. Kemudian hasilnya dibandingkan dengan metoda klasik

Kata Kunci: *PID, Identifikasi, pemanas udara*

Pendahuluan

Pengendali Proporsional Integral Derivative (PID) merupakan salah satu pengendali yang banyak digunakan dalam proses industri [5], dan dapat diimplementasikan dalam berbagai cara: berdiri sendiri sebagai regulator atau sebagai komponen dari DCS. Hal ini tidak hanya disebabkan karena strukturnya yang sederhana, secara konseptual mudah dipahami, tetapi juga fakta menunjukkan bahwa algoritma memberikan kinerja memadai dalam sebagian besar aplikasinya [3].

Kemampuan pengendali PID semakin meningkat bila dipadukan dengan algoritma lainnya. Riviera mengembangkan algoritma PID digital menggunakan model estimasi ARX. Pada makalah ini ditunjukkan bahwa prosedur desain dapat diterapkan secara langsung untuk identifikasi. Data diperoleh dari langkah ini relatif

"bersih" atau impulse response tes, yaitu tes menampilkan perbandingan sinyal terhadap derau cukup tinggi sehingga keluaran secara visual tidak signifikan tertutup oleh gangguan dan derau [5].

Kombinasi kontrol PID fuzzy dan keputusan pakar mampu digunakan untuk mengatasi masalah non-linearitas, delay besar dan waktu varian dari tungku pemanas untuk pengaturan suhu [1]. Perpaduan antara pengendali neuro-PID menggunakan meminimalkan kriteria entropi galat terbukti dapat menurunkan fluktuasi suhu uap panas lanjut [6].

Pada tahap perancangan sampai dengan pada tahap penalaan system kendali, pengetahuan akan model dinamik (model matematik) sangat diperlukan [7]. Perilaku dinamik sangat dipengaruhi oleh perilaku internal dan sulit untuk memperhitungkan semua faktor yang

mempengaruhi fenomena internal, misalnya untuk alih kalor dan massa dalam materi [8]. Model system dinamik dapat dibangun melalui pengukuran masukan-keluaran yang disebut sebagai identifikasi kotak hitam. Model ARX adalah salah satu cara identifikasi kotak hitam.

Metode ARX dengan loop tertutup tanggapan fungsi tangga yang diterapkan pada masalah pemeliharaan model dari distilasi kolom dengan pengendali MPC dalam kilang industri menunjukkan peningkatan akurasi model dibandingkan dengan model asli. Pengendali MPC dengan diidentifikasi model ARX juga menunjukkan kinerja yang lebih baik daripada pengendali asli lakukan [2]. Dengan memilih model ARX yang tepat dapat menampilkan model yang dipilih tampil dengan sangat baik [4].

Dasar Teori

1. PID Digital

PID kontinyu

$$u(t) = K \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d \frac{de(t)}{dt} \right]$$

Dengan galat $e(t)$ adalah perbedaan antara setpoint dan keluaran plan. Sedangkan $u(t)$ adalah keluaran pengendali. K , T_i , dan T_d masing-masing menyatakan bati proporsional, waktu integral, dan waktu derivative.

Pers. (1) disederhanakan menjadi

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{de(t)}{dt}$$

Dengan $K_p = K$, $K_i = \frac{K}{T_i}$, dan $K_d = KT_d$

Perancangan Sistem Pengendalian...

Karena pengendali PID akan diimplementasikan pada mikrokontroler. Transformasi z dari pers. (2)

$$U(z) = \left[K_p + \frac{K_i}{1-z^{-1}} + K_d(1-z^{-1}) \right] E(z)$$

Disusun ulang

$$U(z) = \frac{[(K]_p + K_i + K_d) + [(-K_p - 2K]_d)z^{-1} + K_d z^{-2}}{1 - z^{-1}} E(z)$$

Didefinisikan:

$$K_p + K_i + K_d = K_1$$

$$-K_p - 2K_d = K_2$$

$$K_d = K_3$$

Pers (4) dapat dituliskan dengan

$$U(z) - z^{-1}U(z) = [K_1 + K_2 z^{-1} + K_3 z^{-2}] E(z)$$

Dituliskan dalam bentuk persamaan diferensi:

$$u(t) = u(t-1) + K_1 e(t) + K_2 e(t-1) + K_3 e(t-2)$$

2. Struktur Model Identifikasi

Pandang struktur model linier waktu diskret masukan-keluaran umum yang dinyatakan oleh

$$y(t) = G(q, \theta)u(t) + H(q, \theta)e(t) \quad (1)$$

Dengan $y(t)$ menyatakan keluaran dari model proses, u adalah masukan model proses. $G(q, \theta)$ adalah model proses, $H(q, \theta)$ adalah model gangguan adalah masukan, dan $e(t)$ menyatakan white noise dengan statistik Gaussian, rerata nol dan variansi satu. Sedangkan q adalah operator geser maju

$q^{-1}u(t) = u(t - T)$ dan θ adalah vector parameter.

Hubungan masukan-keluaran yang paling sederhana diberikan dalam bentuk persamaan diferensi linier [Ljung]

#

$$y(t) + a_1y(t - 1) + \dots + a_{n_a}y(t - n_a) = u(t - 1) + \dots + b_{n_b}u(t - n_b) \quad (2)$$

Atau dapat dituliskan pula dalam format yang lebih kompak sebagai berikut:

$$A(q)y(t) = B(q)u(t) + e(t) \quad (3)$$

Dengan $e(t)$ adalah *white noise* dengan statistik Gaussian, rata-rata nol dan ragam (variance) sama dengan satu $e(t) \sim N(0,1)$.

Sedangkan polynomial $A(q)$ dan $B(q)$ diberikan oleh:

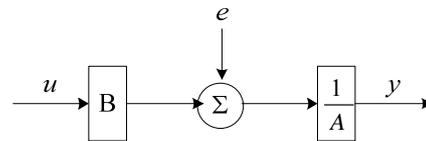
$$\begin{aligned} A(q) &= 1 + a_1q^{-1} + \dots + a_{n_a}q^{-n_a} \\ B(q) &= b_1q^{-1} + \dots + a_{n_b}q^{-n_b} \end{aligned} \quad (4)$$

Pers. (2) disebut model ARX. AR berarti proses dengan masukan "exogenous" (eksternal). Bagian autoregresif (AR) adalah $A(q)y(t)$ dan $B(q)u(t)$ adalah masukan "exogenous"

Kita peroleh hubungan antara pers (1) dengan pers (3),

$$\begin{aligned} G(q, \theta) &= \frac{B(q)}{A(q)} \\ H(q, \theta) &= \frac{1}{A(q)} \end{aligned} \quad (5)$$

kotak struktur model ARX ditunjukkan gambar 1



Gambar 1. Diagram kotak struktur model ARX

3. Kriteria Kinerja Integral waktu

Tiga criteria umum yang digunakan adalah Integral Galat kuadrat (ISE, *Integral of Square Error*), Integral harga mutlak Galat (IAE, *Integral of the Absolute Value of the Error*) dan Galat Integral harga mutlak Waktu pembobotan (ITAE, *Integral of the Absolute Value of the Error*), dan didefinisikan sebagai:

$$\begin{aligned} ISE &= \int e^2 dt \\ IAE &= \int |e| dt \\ ITAE &= \int t|e| dt \end{aligned} \quad (6)$$

Sistem kendali yang ditentukan untuk meminimalkan ISE akan cenderung menghilangkan galat besar dengan cepat, tetapi akan mentolerir galat kecil yang bertahan untuk jangka waktu yang panjang. Seringkali ini menyebabkan respon cepat, tetapi akan menyebabkan amplitudo rendah dan osilasi.

IAE mengintegrasikan galat mutlak dari waktu ke waktu. Ini tidak menambah bobot galat dalam respon sistem. Hal ini cenderung untuk menghasilkan respon lebih lambat dari sistem optimal ISE, tetapi biasanya mengurangi osilasi berkelanjutan. IAE mengintegrasikan galat mutlak dikalikan dengan waktu dari waktu ke waktu. ITAE Tuning menghasilkan sistem tunak jauh lebih cepat dibandingkan dengan dua metode penalaan lainnya. Kelemahan dari ini adalah bahwa penalaan ITAE juga memproduksi sistem dengan respon

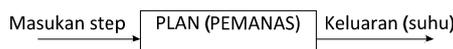
awalyang lamban (diperlukan untuk menghindari osilasi berkelanjutan).

Metode Penelitian

Sistem yang digunakan dalam percobaan adalah pemanas udara dalam sangkar nyamuk.

Untuk menunjukkan pelacakan setpoint, setpoint diubah 34,93-39,93°C secara mendadak melalui computer yang terhubung ke mikrokontroler ATMEGA 8535 melalui port USB. Suhu sangkar nyamuk diukur dengan menggunakan sensor SHT11, hasilnya dikirimkan ke mikrokontroler melalui port A0.

Diagram skematik yang dipergunakan untuk pengambilan data.



Gambar 2

Untuk identifikasi off-line, pengolahan data diimplementasikan pada sebuah PC dengan menggunakan Toolbox Sistem Identifikasi dari MATLAB.

Hasil Dan Pembahasan

1. Hasil Eksperimen

Data yang diperoleh dari hasil pengukuran dengan masukan tangga terhadap system pemanas secara grafis ditunjukkan pada gambar 3.

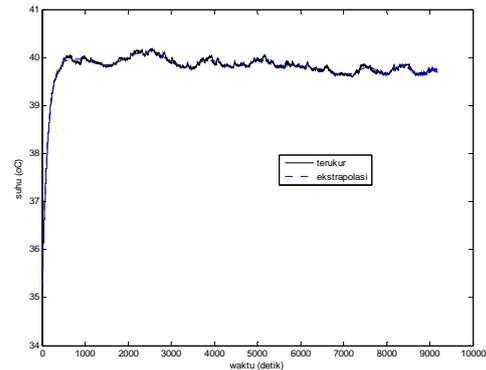
Untuk mendapatkan model data dari hasil pengukuran digunakan pencocokan kurva polinomial data dengan perintah

```
n=[1:1:9172]';
p=polyfit(n,y,39);
ypoly=polyval(p,n)
```

Dengan menggunakan polynomial orde ke tigapuluh sembilan diperoleh pendekatan yang sangat bagus dari data

hasil pengukuran. Kualitas dari sestimasi model matematis ditunjukkan oleh nilai galat relative yang cukup kecil yaitu

$$\delta = \frac{|y - y_{pendekatan}|}{y} = 0,0807\%$$



Gambar 3. Sinyal terukur dari pemanas udara (garis lurus) dan sinyal pendekatan (garis putus-putus)

2. Identifikasi Model dengan Metode Kurva Reaksi

Fungsi alih $G(s)$ orde satu yang diperoleh dengan menggunakan metode kurva reaksi adalah

$$G(s) = \frac{4,933}{121s + 1} \tag{7}$$

Harga numeric konstanta waktu yang diperoleh sebesar 121 detik dengan factor penguatan sebesar 4,933

3. Identifikasi plan dengan Model ARX

Model yang diidentifikasi dengan menggunakan model ARX dari system pemanas udara dengan $T_s = 1$ detik adalah:

$$A(q) = 1 - 0,9922q^{-1}$$

$$B(s) = 0.3109 s^{-1}$$

Fungsi alih yang diperoleh dalam waktu kontinyu diberikan dalam pers. (8)

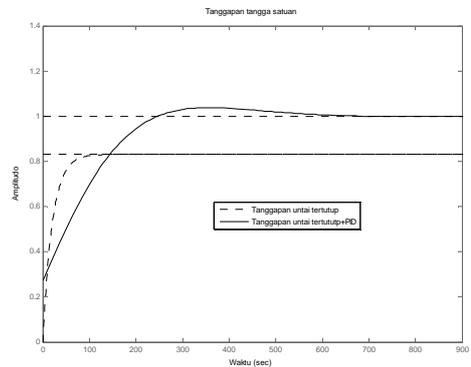
$$G(s) = \frac{0,3121}{s + 0,007831} \quad (8)$$

Yang mempunyai kutub $p = -0,007831$ terletak disisi kiri bidang s yang menunjukkan model adalah stabil

4. Disain Sistem Pengendali PID

Dengan menggunakan simulasi perilaku pengendali PID yang diterapkan pada kedua model ditunjukkan pada gambar 4 dan gambar 5. Kedua gambar masing-masing membandingkan dengan perilaku model tanpa pengendali PID. Dari sini dapat dilihat bahwa pengendali PID memperbaiki perilaku sistem untuk mencapai setpoint (setpoint adalah nilai yang diharapkan).

Gambar 6 membandingkan perilaku pengendali PID terhadap kedua model. Dapat dilihat bahwa lewat puncak (*overshoot*) untuk model dap. klasik lebih besar dari model ARX. Demikian pula kecepatan menanggapi perubahan masukan metode klasik lebih lambat daripada model ARX

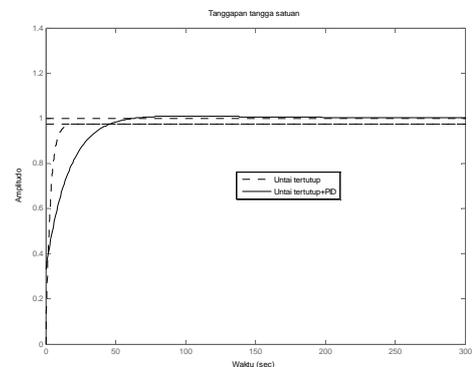


Gambar 4. Tanggapan tangga satuan tanpa dan dengan pengendali PID terhadap metode klasik

$K_d = 9.1958, K_p = 0.2874, K_i = 0.0034,$
 waktu naik = 92,6 detik, overshoot = 5,75%,
 waktu penetapan = 278 detik, fase margin=63,9°

Kriteria galat:

IAE = 3,3043, ISE = 0,4236, ITAE = 222,3931

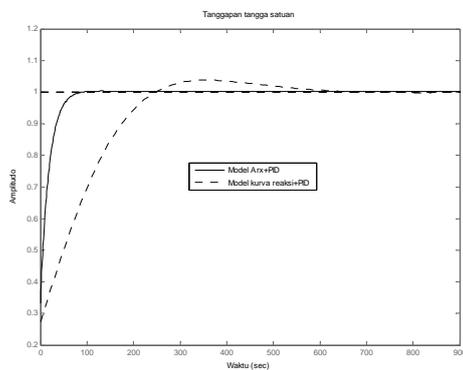


Gambar 5. Tanggapan tangga satuan tanpa dan dengan pengendali PID terhadap model ARX

$K_d = 1.5919, K_p = 0.3114, K_i = 0.0029,$
 waktu naik = 14,8 detik, overshoot = 5,75%,
 waktu penetapan = 45,5 detik, fase margin=64,2°

Kriteria galat :

IAE = 13.0626, ISE = 0.2407, ITAE = 349.7361



Gambar 6. Perbandingan perilaku PID terhadap kedua model

Kesimpulan

Kami telah menyajikan dalam makalah ini penggunaan estimasi ARX untuk mendapatkan model yang mengarah langsung ke penalaan parameter pengendali PID. Metode PID-ARX ini digunakan untuk mengatur suhu dalam sangkar nyamuk. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pengendali PID-ARX lebih unggul dibandingkan dengan pengendali PID konvensional dalam hal waktu naik dan kecepatan dalam menanggapi masukan.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada FSM atas dukungannya dan mahasiswa saya Ibnu Sulistiono yang telah membantu dalam pembuatan alatnya.

Daftar Pustaka

[1]. Dequan, S, Guili G, Zhiwei, G, Peng X, Application of Expert Fuzzy PID Method for Temperature Control of Heating Furnace, *Procedia Engineering* 29 (2012) 257 – 261

[2]. Kon J, Yamashita Y, Tanaka, T, Practical Tashiro A, Daiguji M application of model identification based on ARX model with transfer functions, *Control Engineering Practice*, 2012

[3]. Liu. G.P, Daley S, Optimal-tuning PID control for industrial systems, *Control Engineering Practice* 9 (2001) 1185–1194

[4]. Qin P, Nishii R, Nakagawa T, Nakamoto T, ARX models for time-varying systems estimated by recursive penalized weighted least squares method, *Journal of Math-for-Industry*, Vol.2(2010A-11), pp.109-114

[5]. Rivera D, E., Gaikwad S, V, “Digital PID Controller Design Using ARX Estimation” *Computers & Chemical Engineering* Volume 20, Issue 11, 1996, Pages 1317–1334

[6]. Zhang J, Zhang F, Ren M, Hou G, Fang F, Cascade control of superheated steam temperature with neuro-PID controller, *ISA Transactions* vol 51, 2012, 778–785

[7]. Tjokronegoro, H.A. Estimasi Model Parametrik Komponen Feedback, Feedforward, dan Nois pada Sistem Lup Tertutup dengan Teknik Extended Least, Square PROC. ITB Sains & Tek. Vol. 35 A, No. 1, 2003, 1-17 1

[8]. Unklesbay K, Unklesbay N, Boza-Chacon A Air temperature transfer function of a convection oven, *Food Control*, Vol. X, No. I, pp. 39-43, 1997