

Technical Paper

Penentuan Parameter Optimal Kendali Greenhouse Berbasis Fazi Dan Pid Menggunakan Algoritma Genetika

Determination of Optimal Parameters Control in Greenhouse based on Fuzzy and PID Using Genetic Algorithm

Tamrin¹**Abstract**

The development of the control system of adaptive biological-environment was equipped with the optimization technique of Genetic Algorithm in solving the problem of optimizing parameters. Optimizing the determination of parameters of fuzzy control and PID were carried out by stimulating the real noise from solar irradiation in greenhouse, such as fluctuation of solar radiation in day time. The parameters of optimal control were determined by minimizing the cumulative square error for each physical unit, such as temperature and humidity with the fitness function which was reciprocally arranged. The performance of control system was better with the availability of genetic algorithm, and therefore the mode of fuzzy control and PID could be used to control the whole biological-environment. The fuzzy parameters for temperatures were $P_1=0.17$, $P_2=0.32$, $P_3=11.28$, $P_4=4.58$, and $P_5=141.89$, for humidity $P_1=0.38$, $P_2=0.05$, $P_3=6.96$, $P_4=11.73$, and $P_5=968.65$; whereas the PID parameter for temperature were $K_P=0.06$, $T_I=0.08$, and $T_D=1.91$, for humidity were $K_P=0.01$, $T_I=0.0012$, and $T_D=16$.

Keywords: optimal parameter, fuzzy control, PID control, genetic algorithm

Diterima: 21 Januari 2008; Disetujui: 27 Mei 2008

Pendahuluan

Upaya pengendalian terhadap besaran fisik lingkungan tanaman berbasis komputer, khususnya di Indonesia, telah banyak dilakukan, antara lain pengendalian suhu, cahaya, dan kelembaban dengan kendali fazi dan PID (Seminar *et al.*, 1998), pengendalian suhu pada budidaya jamur dengan kendali fazi (Setiawan, 2001), dan pengendalian nutrisi pada budidaya hidroponik dengan kendali fazi (Suhardiyanto *et al.*, 2001).

Namun demikian pengendalian besaran fisik lingkungan tanaman tersebut masih berupa sistem iteratif dengan masukan-keluaran terpisah, sehingga interaksi dalam sistem masih terabaikan. Selain itu, pengaturan (*setting*) atau penghalusan (*tuning*) dari parameter kendali tersebut masih menggunakan cara konvensional, kurang praktis terutama bila besaran fisik lingkungan yang hendak dikontrol terpadu, yaitu adanya keterkaitan antar besaran fisik yang dikontrol.

Telah banyak upaya yang dilakukan untuk memecahkan masalah pertanian dengan pendekatan, metode, dan alat bantu yang memiliki ketelitian akurat. Demikian juga dengan sistem kendali dalam menentukan parameter optimalnya sehingga didapat kinerja kendali yang lebih baik. Namun demikian, bukan berarti metode tersebut sudah praktis, terutama

bila besaran fisik lingkungan yang hendak dikontrol lebih dari satu dan terpadu. Seperti pengontrolan kelembaban dan suhu di dalam greenhouse, selain dari besaran fisik lain, yaitu iradiasi matahari yang menjadi gangguan (*disturbance*), kedua besaran fisik lingkungan yang dikontrol (kelembaban dan suhu) juga merupakan variabel gangguan antara yang satu dengan yang lainnya. Karena itu perlu dicoba alternatif metode penentuan parameter optimal yang lebih praktis. Salah satu metode yang tengah berkembang adalah menggunakan algoritma genetika (AG). Algoritma genetika adalah metode adaptif yang digunakan untuk memecahkan masalah optimasi. Metode ini didasarkan pada proses genetik dari organisme biologik. Setelah beberapa generasi populasi berevolusi secara alami, berdasarkan prinsip seleksi alam, yang terbaik akan bertahan. Dengan meniru proses ini, algoritma genetika melalui iterasi akan dapat menyelesaikan masalah tertentu bila masalah tersebut dipresentasikan dengan tepat (Buseti, 2007). Aplikasi algoritma genetika dalam bidang pertanian, diantaranya telah dikemukakan oleh Tamrin *et al.* (2005).

Penentuan parameter kontrol fazi dan PID merupakan hal penting dalam menentukan analisis kinerja control tersebut. Biasanya, untuk tujuan praktis masih menggunakan *trial-error* untuk

¹ Staf Pengajar Program Studi Teknik Pertanian, FAPERTA-UNSRI

Tabel 1. Matriks aturan kendali fazi

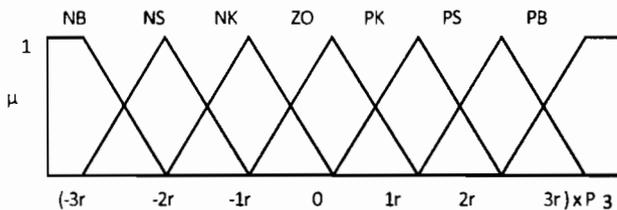
		Beda error (<i>de</i>)						
		NB	NS	NK	ZO	PK	PS	PB
E r r o r (e)	NB	-1	-1	-1	-3r	-3r	r	0
	NS	-1	-1	-3r	-2r	-2r	0	r
	NK	-1	-3r	-2r	-r	0	r	2r
	ZO	-3r	-2r	-r	0	r	2r	3r
	PK	-2r	-r	0	r	2r	3r	1
	PS	-r	0	r	2r	3r	1	1
	PB	0	r	2r	3r	1	1	1

mendapatkannya. Cara demikian (Rudiyanto dan Setiawan, 2003), selain akan menghabiskan waktu dalam pelaksanaannya juga memunculkan permasalahan terhadap penerimaan nilai parameter yang dihasilkan.

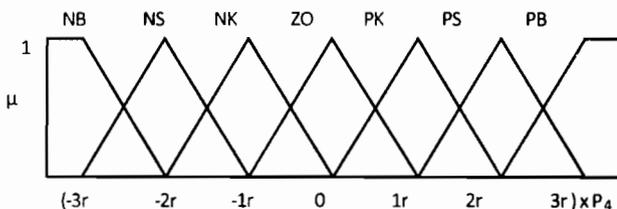
Pada makalah ini akan dipaparkan simulasi kinerja kendali fazi dan PID dalam mengontrol beberapa besaran fisik lingkungan tanaman (kelembaban dan suhu) secara terpadu, adanya keterkaitan antar kedua besaran fisik tersebut dengan menggunakan metode optimasi algoritma genetika dalam menentukan *setting* atau *tuning* parameter optimalnya.

Kendali Fazi Dan PID

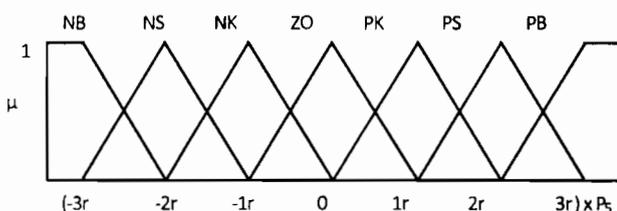
Teknik logika fazi telah banyak diaplikasikan dalam sistem kendali. Antara lain, aplikasi pada pengendalian posisi (Rohmanuddin 1994) dan aplikasi pada pengendalian suhu (Saptomo 1995). Adapun



Gambar 1. Fungsi keanggotaan *error* (*e*)



Gambar 2. Fungsi keanggotaan beda *error* (*de*)



Gambar 3. Fungsi keanggotaan keluaran (*u*)

tahapannya secara ringkas adalah: menghitung *error* (Gambar 1) dan beda *error* (Gambar 2), fazifikasi (gambar 3), menentukan aturan kendali (Tabel 1) dan menghitung nilai maksimum, dan defazifikasi. Untuk kebutuhan *setting* atau *tuning*, *error* (Gambar 4) dan beda *error* dibagi dengan suatu faktor, masing-masing disebut dengan parameter P_1 dan P_2 .

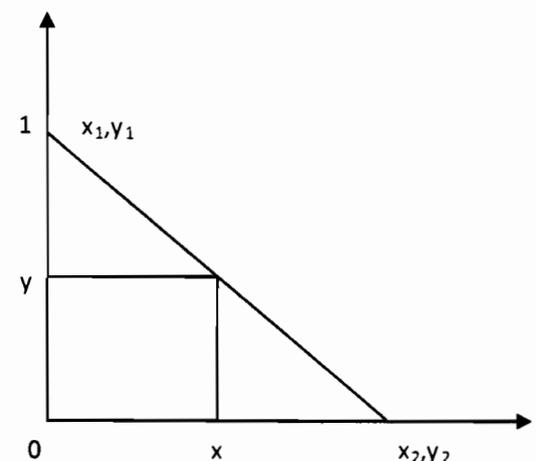
$$e = \frac{T_{ac} - T_{ak}}{P_1} \tag{1}$$

$$de = \frac{e_1 - e_2}{P_2} \tag{2}$$

Demikian juga, kisaran (*range*) nilai numerik untuk fungsi keanggotaan *error*, beda *error* dan keluaran dikalikan dengan suatu faktor, secara berturut-turut disebut parameter P_3 , P_4 , dan P_5 . Nilai optimal dari lima parameter ini (P_1 , P_2 , P_3 , P_4 , dan P_5) ditentukan sehingga fungsi tujuan minimum, karena itu parameter-parameter tersebut merupakan variabel keputusan (*decision variable*).

Pada Gambar 4, untuk (*x,y*) dimana *x* adalah *error* (*e*), dan *y* adalah derajat keanggotaan *error* ($\mu_x(e)$), (x_1,y_1) adalah *error* dengan derajat keanggotaan y_1 atau sama dengan 1 ($\mu_{x_1}(e) = 1$) sedangkan (x_2,y_2) adalah *error* dengan derajat keanggotaan y_2 atau sama dengan nol ($\mu_{x_2}(e) = 0$).

Modus kendali PID dan penentuan parameternya



Gambar 4. Metode penentuan derajat keanggotaan *error* dan beda *error*

dengan metode Ziegler dan Nichols adalah mengikuti persamaan berikut (Phillips dan Harbor 1988),

$$m(t) = K_P e(t) + K_I \int e(t)dt + K_D d e(t)/dt \quad (3)$$

$$K_I = (S_T/T_I) \times K_P \quad (4)$$

$$K_D = (T_D/S_T) \times K_P \quad (5)$$

$$K_P = 1,2 / (R_f \times L_f) \quad (6)$$

$$T_I = 2 \times L_f \quad (7)$$

$$T_D = 0,5 \times L_f \quad (8)$$

Dimana $m(t)$ adalah keluaran PID, $e(t)$ adalah *error*, K_P adalah konstanta proporsional, K_I adalah konstanta integral, K_D adalah konstanta diferensial, S_T adalah *sampling time* (detik), T_I adalah waktu integrasi (detik), T_D adalah waktu diferensial(detik), R_f adalah gradien besaran fisik, L_f adalah seperempat periode.

Pemecahan persamaan integral dan diferensial dapat diselesaikan secara analitik (Setiawan 2004) dan juga berdasarkan pendekatan Euler. Adapun pemecahan persamaan integral (Euler), besarnya luasan daerah di bawah kurva didekati dengan menghitung besarnya luasan daerah empat persegi panjang. Jika $m(t)$ adalah integral dari $e(t)$,

$$m[(k+1)T] = m[(k)T] + Te[(k+1)T] \quad (9)$$

Pemecahan persamaan diferensial dengan mengasumsikan gradien $e(t)$ pada $t=(k+1)T$ sama dengan gradien garis lurus yang menghubungkan $e(k)T$ dengan $e[(k+1)T]$, maka

$$\frac{m[(k+1)T]}{T} = e[(k+1)T] - e[(k)T] \quad (10)$$

Metode Penelitian

Tempat dan Alat

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Instrumentasi JTP Fakultas Pertanian Universitas Sriwijaya. Data RH dan suhu *greenhouse*, RH, suhu dan iradiasi matahari selama 72 jam diperoleh dari *greenhouse* PT Saung Mirwan, kecamatan Megamendung, kabupaten Bogor. Alat-alat yang digunakan, yaitu: *multi points recorder*-tipe/model: T-50 s.d. 150 °C/3038; *psycrometric chart*; satu unit *greenhouse*-tipe *span*; *pyranometer*-model: Ms-401; *anemometer*-model: Lutron AM-4204HA; bahasa pemrograman Delphi 5.0; satu set komputer PC dengan spesifikasi CPU Pentium (R) 4; memory RAM 512 MB; dan hardisk 40 GB.

Prosedur Kerja

Setelah mendesain dan membangun perangkat lunak sistem kendali lingkungan-biologik, dilanjutkan dengan pengambilan data di lapangan, yaitu suhu

dan kelembaban lingkungan mikro yang diukur menggunakan *lutron-meter set*. Sebagian lagi, suhu dan kelembaban baik lingkungan mikro maupun lingkungan di luar *greenhouse* direkam dengan alat *multi points* melalui suhu bola basah dan kering kemudian dilanjutkan dengan pembacaan kurva psikrometrik untuk menentukan kelembaban. Sedangkan iradiasi matahari diukur dengan menggunakan *pyranometer*. Selanjutnya dilakukan pengolahan data untuk keperluan simulasi dalam menentukan parameter optimal kendali fazi dan PID dengan menggunakan operator algoritma genetika.

Solusi Parameter Optimal Kendali

Pemecahan masalah optimasi disini menggunakan operator AG (algoritma genetika). Untuk mencari solusi optimal parameter-parameter kendali fazi (P_1, P_2, P_3, P_4 , dan P_5), dan parameter-parameter kendali PID, (K_P, T_I , dan T_D) guna mempertahankan suhu dan kelembaban berada disekitar acuan (meminimalkan *error* sebagai representasi dari performansi kendali) digunakan fungsi tujuan atau fungsi *fitness* berikut:

$$F = 1 / \left(\alpha \sum_i^n e_{suhu}^2 + \beta \sum_i^n e_{rh}^2 \right) \quad (11)$$

dimana, α dan β adalah koefisien, e adalah *error*, yaitu selisih antara acuan dengan kondisi aktual dari besaran fisik (suhu dan kelembaban), i adalah data ke- i , dan n adalah data ke- n . *Invers* dari penggabungan nilai *error* suhu dan kelembaban bertujuan untuk meminimalkan nilai *error* kedua besaran tersebut secara simultan (ada keterkaitan antara faktor suhu dan kelembaban).

Seberapa besar peran yang diharapkan dari komponen e_{suhu} dan e_{rh} di dalam persamaan fungsi *fitness*, dilakukan dengan mengatur koefisien α dan β yang disesuaikan dengan kebutuhan.

Pemecahan optimasi AG disini digunakan untuk melihat kinerja kendali atau dengan kata lain untuk keperluan *tuning*. Parameter-paramater optimal kedua modus kendali ($P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, K_P, T_I$, dan T_D) ditentukan agar fungsi tujuan maksimum. Karena itu parameter-paramater P_1, P_2, P_3, P_4 , dan P_5 , merupakan *decision variable* untuk untuk dua besaran fisik, yaitu suhu dan kelembaban (modus kendali fazi) sedangkan K_P, T_I , dan T_D merupakan *decision variable* untuk dua besaran fisik, yaitu suhu dan kelembaban (modus kendali PID) Sedangkan Variabel kendala, ditentukan pada waktu simulasi dengan cara melihat kecenderungan kinerjanya, untuk masing-masing modus kendali adalah nilai-nilai minimum dan maksimum dari masing-masing parameter.

Dalam solusi parameter optimal ini, karena *decision variable* diberikan oleh lima parameter modus kendali fazi dan tiga parameter dari modus kendali PID untuk dua besaran fisik, yaitu suhu dan kelembaban, masing-masing individu dalam AG didefinisikan sebagai berikut:

$P_{1S}, P_{2S}, P_{3S}, P_{4S}, P_{5S}, P_{1K}, P_{2K}, P_{3K}, P_{4K}, P_{5K}$ = individu modus kendali fazi

$K_{PS}, T_{IS}, T_{DS}, K_{PK}, T_{IK}, T_{DK}$ = individu modus kendali PID

dengan teknik optimasi algoritma genetika dalam pemecahan problem optimasinya.

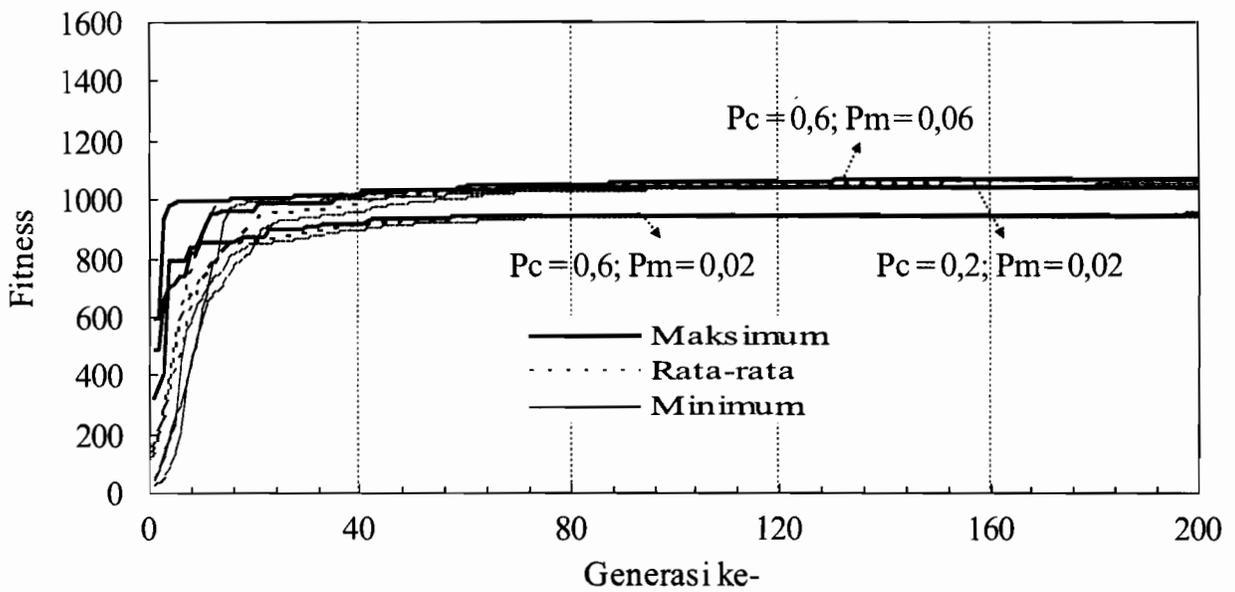
Hasil Dan Pembahasan

Masing-masing parameter kedua modus kendali disusun dengan delapan *string* binari sehingga masing-masing individu terdiri dari delapan puluh gen untuk modus kendali fazi dan enam puluh gen untuk modus kendali PID.

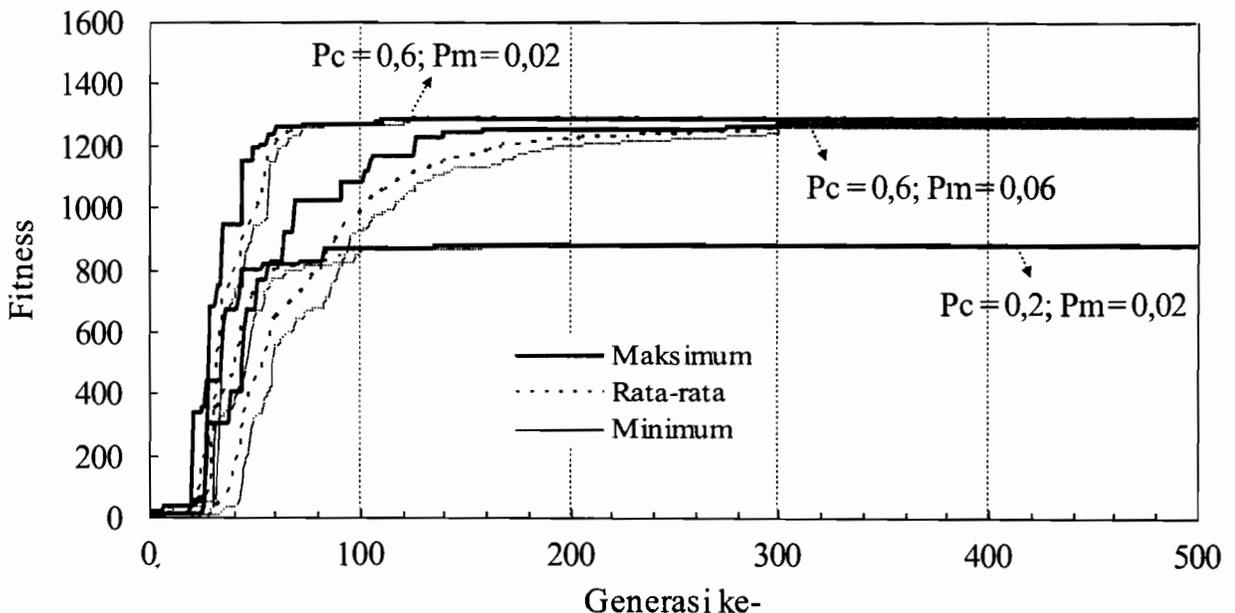
Penentuan parameter optimal kendali dilakukan selama 72 jam dengan mensimulasikan gangguan *real* dari iradiasi matahari di dalam rumah tanaman, yaitu fluktuasi radiasi matahari di siang hari. Sistem kendali adaptif lingkungan-biologik ini dilengkapi

Seberapa besar peran yang diharapkan dari komponen e_{suhu} dan e_{rh} di dalam persamaan fungsi *fitness*, dilakukan dengan mengatur koefisien α dan β yang disesuaikan dengan kebutuhan, dalam kasus ini α dan β adalah 0,5. Parameter yang dioptimalkan (*decision variable*) adalah $P_1, P_2, P_3, P_4,$ dan P_5 untuk kendali fazi; dan K_P, T_I dan T_D untuk PID.

Kurva evolusi menunjukkan proses penelusuran nilai *fitness* maksimum untuk menentukan parameter-parameter optimal kendali fazi dan PID. Kedua kurva



Gambar 5. Kurva evolusi penentuan parameter optimal kendali fazi



Gambar 6. Kurva evolusi penentuan parameter optimal kendali PID

Tabel 2. Perbandingan parameter algoritma genetika P_c dan P_m

Kasus	Skenario yang dibandingkan		Hasil baik (ditunjukkan oleh nilai <i>fitness</i> yang lebih tinggi dan konstan)
1	$P_c = 0,2; P_m = 0,2$	$P_c = 0,2; P_m = 0,02$	$P_c = 0,2; P_m = 0,02$
2	$P_c = 0,6; P_m = 0,2$	$P_c = 0,6; P_m = 0,02$	$P_c = 0,6; P_m = 0,02$
3	$P_c = 0,6; P_m = 0,6$	$P_c = 0,6; P_m = 0,06$	$P_c = 0,6; P_m = 0,06$
4	$P_c = 0,8; P_m = 0,8$	$P_c = 0,8; P_m = 0,08$	$P_c = 0,8; P_m = 0,08$
5	$P_c = 0,2; P_m = 0,02$ $P_c = 0,8; P_m = 0,08$	$P_c = 0,6; P_m = 0,02$ $P_c = 0,6; P_m = 0,06$	$P_c = 0,6; P_m = 0,06$ $P_c = 0,6; P_m = 0,02$ (fazi) (PID)

Tabel 3. Parameter optimal kendali fazi dan PID

Suhu		Kelembaban	
Parameter fazi	Parameter PID	Parameter fazi	Parameter PID
$P_1 = 0,17$	$K_P = 0,06$	$P_1 = 0,38$	$K_P = 0,01$
$P_2 = 0,32$	$T_I = 0,08$	$P_2 = 0,05$	$T_I = 0,0012$
$P_3 = 11,28$	$T_D = 1,91$	$P_3 = 6,96$	$T_D = 16$
$P_4 = 4,58$		$P_4 = 11,73$	
$P_5 = 141,89$		$P_5 = 968,65$	

evolusi (Gambar 5 dan 6) meningkat secara tajam pada awal dan kemudian mencapai nilai maksimum. Penelusuran dihentikan bila nilai *fitness* maksimum bertahan pada nilai yang sama sampai pada generasi tertentu, dan individu tersebut dianggap memberikan nilai parameter optimal untuk kendali fazi dan PID.

Pada kedua kurva evolusi ditampilkan beberapa skenario probabilitas terjadinya rekombinasi (P_c) dan mutasi (P_m). Kedua probabilitas tersebut tidak boleh terlalu tinggi dan tidak boleh terlalu rendah. Probabilitas rekombinasi terlalu tinggi, memberikan eksplorasi ruang solusi yang terlalu besar sehingga solusi yang mungkin sudah mendekati optimum bahkan menjadi jauh.

Probabilitas rekombinasi yang terlalu rendah akan mengakibatkan ruang eksplorasi solusi menjadi terbatas karena banyak kromosom yang mungkin dapat memberi solusi tidak terikut dalam evolusi.

Probabilitas mutasi yang terlalu tinggi mengakibatkan terlalu banyak gen berubah dan akan menghilangkan kemiripan antara *offspring* dan *parent* yang pada gilirannya dapat mengacaukan proses evolusi, demikian juga bila terlalu rendah, kemungkinan gen-gen yang bermanfaat tidak pernah dapat diikuti dalam proses evolusi.

Untuk mencapai optimum *global*, solusi yang paling mungkin dari problem, dapat diupayakan dengan memepersarakan ukuran populasi dan jumlah iterasi. Namun hal ini harus tetap disesuaikan dengan kebutuhan, karena bila kedua parameter ini terlalu besar dapat mengakibatkan waktu perbaikan tiap generasi menjadi sangat lama dan bisa jadi solusi

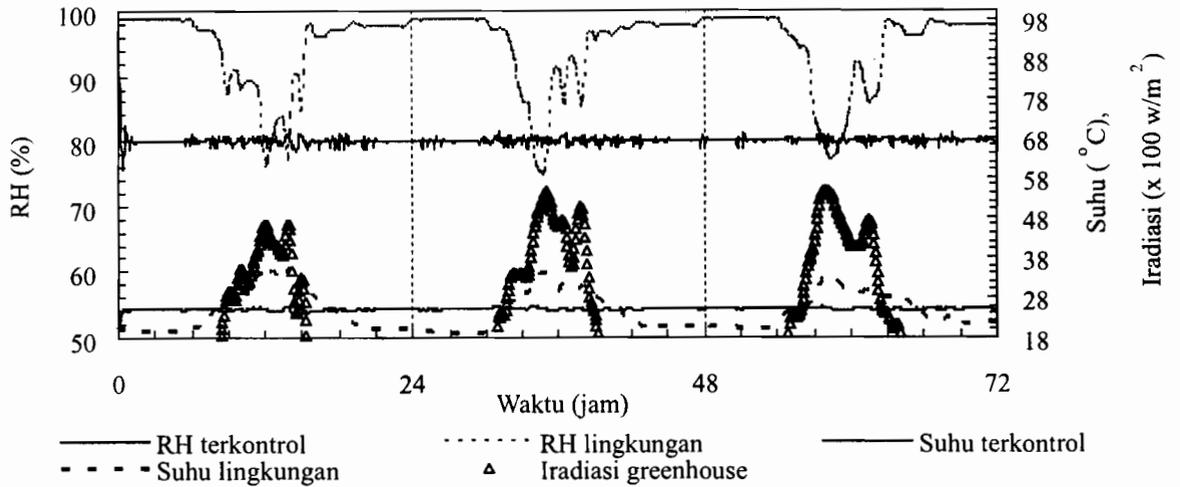
yang diharapkan tidak pernah tercapai. Pada penelusuran ini, untuk mempercepat tercapainya optimum *global*, ukuran populasi yang digunakan adalah 35. Sedangkan menurut Kusumadewi (2003), untuk sembarang jenis permasalahan, sebaiknya ukuran populasi tidak kurang dari 30.

Jumlah iterasi yang digunakan dalam penelusuran penentuan parameter kendali optimal fazi dan PID ini adalah 500. Hal ini cukup memadai untuk menghindari optimum lokal, yaitu solusi yang lebih baik dari beberapa solusi lain tetapi kurang baik dari solusi optimum global. Tentunya, kombinasi antara ukuran populasi yang makin besar dan jumlah iterasi yang makin besar akan dapat mempercepat tercapainya optimum global, tetapi kemampuan komputer harus memadai.

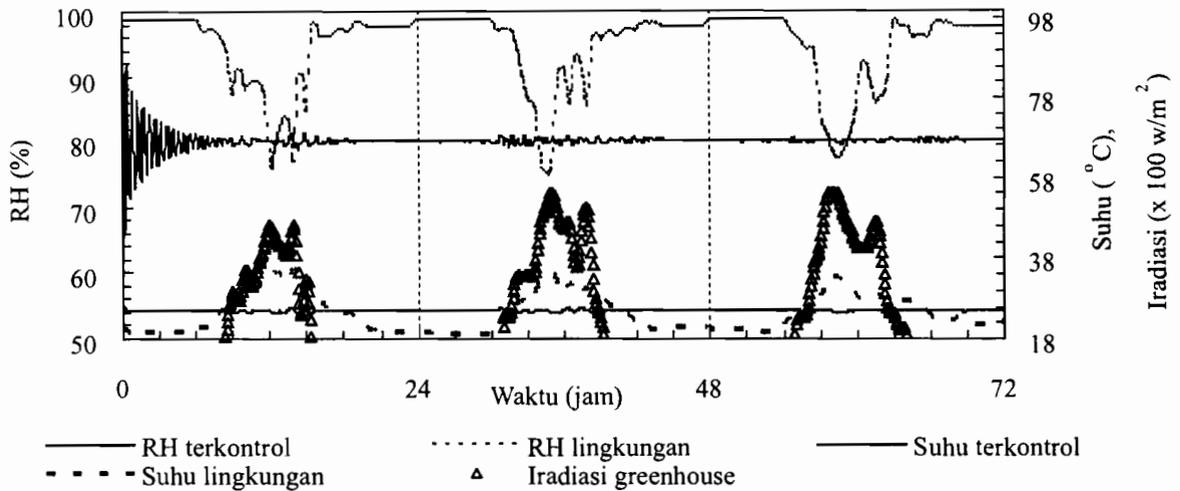
Dalam penelusuran parameter kendali optimal untuk pengendalian suhu dan kelembaban dengan kendali fazi dan PID, dicobakan beberapa skenario. Kemudian dari skenario yang dicobakan dibandingkan kurva evolusinya seperti pada Tabel 2. Pertama-tama dibandingkan P_c yang tetap dengan P_m yang lebih rendah (kasus 1). Kemudian seperti kasus 1 tetapi nilai P_c yang lebih tinggi (kasus 2, 3, dan 4). Selanjutnya hasil lebih baik dari masing-masing kasus dibandingkan (kasus 5).

Pada kasus 1, 2, 3, dan 4 baik untuk penelusuran parameter optimal kendali fazi maupun PID, umumnya P_c yang lebih besar akan lebih buruk. Kurva evolusi pada penelusuran kendali fazi cenderung belum konvergen sedangkan kendali PID cenderung terjebak optimum lokal.

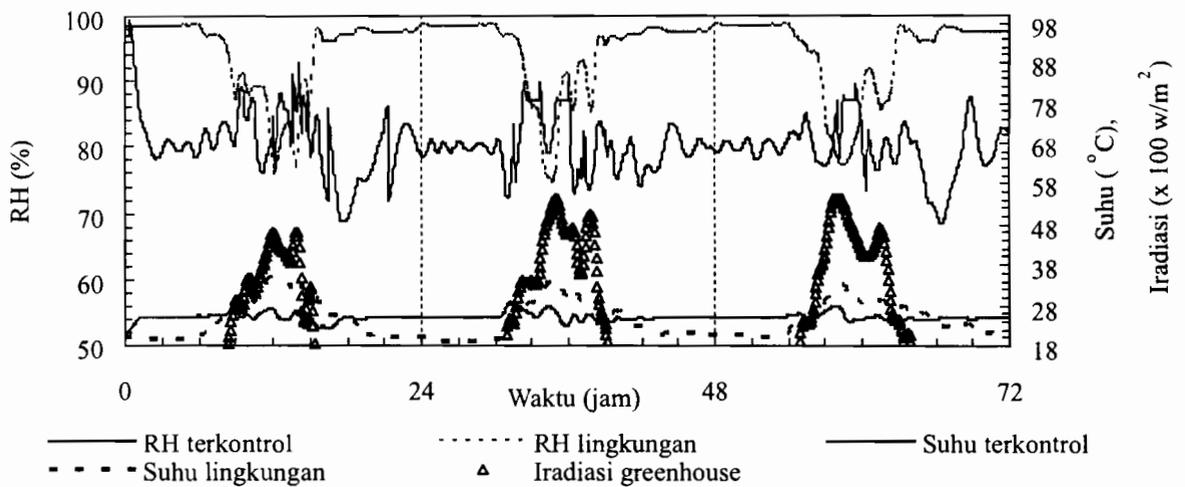
Pada kasus 5, diperoleh hasil yang terbaik



Gambar 7. Kurva performansi kendali fazi pada suhu dan kelembaban dengan parameter hasil kurva evolusi optimum global



Gambar 8. Kurva performansi kendali PID pada suhu dan kelembaban dengan parameter hasil kurva evolusi optimum global



Gambar 9. Kurva performansi kendali fazi pada suhu dan kelembaban dengan parameter hasil kurva evolusi optimum lokal

(optimum global), yaitu skenario $P_c=0,6$; $P_m=0,06$ untuk fazi (Gambar 5) dan skenario $P_c=0,6$; $P_m=0,02$ untuk PID (Gambar 6). Secara berturut-turut, nilai *fitness* maksimum dan jumlah iterasi mulai stabil untuk masing-masing kendali adalah 1067 dan 240; dan 1280 dan 125.

Adapun parameter optimal kendali fazi dan PID untuk suhu dan kelembaban yang dihasilkan dari penelusuran optimal global kurva evolusi di atas dapat dilihat pada Tabel 3. Kurva performansi untuk suhu dan kelembaban dari hasil penelusuran optimum global kurva evolusi di atas, masing-masing dapat dilihat pada Gambar 7 dan 8.

Skenario $P_c=0,2$; $P_m=0,02$ pada kurva evolusi penentuan parameter optimal kendali fazi (Gambar 5) dan skenario $P_c=0,6$; $P_m=0,06$ pada kurva evolusi penentuan parameter optimal kendali PID (Gambar 6) terjebak kepada optimum lokal. Kurva performansi untuk suhu dan kelembaban dari hasil penelusuran optimum lokal kurva evolusi diatas, masing-masing dapat dilihat pada Gambar 9 dan 10.

Dari kurva performansi kendali fazi dan PID terlihat jelas (terutama hasil pengendalian kelembaban) bahwa performansi kurva yang dihasilkan dari penelusuran optimum global lebih baik dari kurva yang dihasilkan dari penelusuran optimum lokal, bandingkan Gambar 7 dengan 9 untuk kendali fazi dan Gambar 8 dengan 10 untuk kendali PID. Hasil pengendalian kelembaban pada kendali fazi dan PID tidak stabil, masing-masing cenderung membentuk respon berosilasi dengan amplituda tetap (*sustained oscillation*) dan respon berosilasi dengan amplituda semakin besar (*undamped*).

Nilai *fitness* maksimum dari kedua kurva evolusi penelusuran parameter optimal kendali fazi dan PID (Gambar 5 dan 6), secara umum, dapat digunakan untuk menduga performansi kendali fazi dan PID yang akan dihasilkan, kendali dengan nilai *fitness* maksimum lebih tinggi (dalam hal ini PID) akan menghasilkan kurva performansi yang lebih baik.

Hal ini dimungkinkan karena nilai *fitness* yang tinggi mencerminkan *error* yang terjadi sangat kecil. Namun demikian hal ini tidak berlaku mutlak karena *error* yang diminimumkan adalah *error* total yang terjadi dari awal sampai akhir pengendalian, dan distribusi *error* tidak diketahui, apakah banyak terjadi disaat sistem dapat gangguan, atau pada saat sistem relatif stabil.

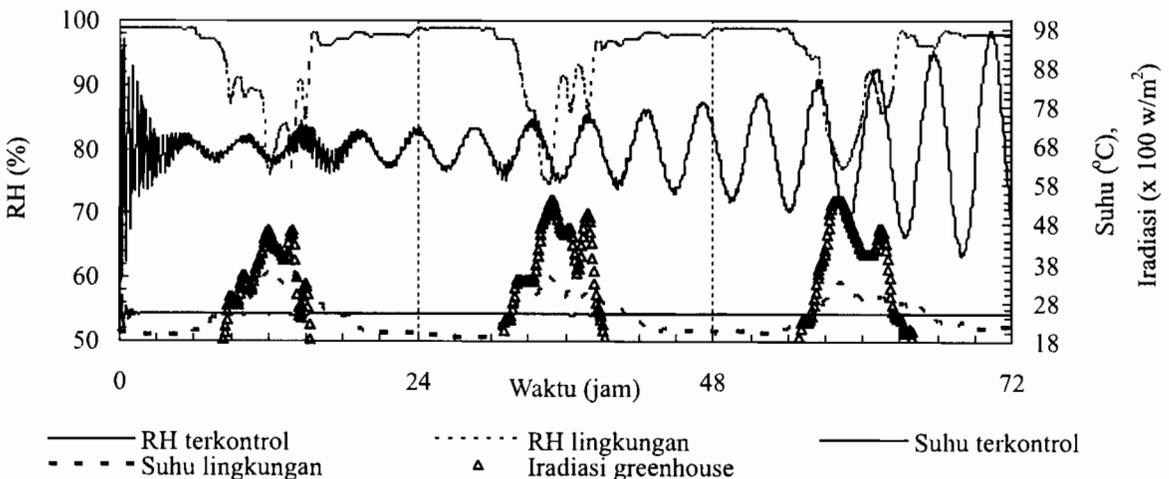
Kesimpulan

Kinerja sistem kendali menjadi lebih baik dengan adanya operator algoritma genetika untuk optimasi parameter kendali, sehingga modus kendali fazi dan PID dapat digunakan untuk mengontrol sistem lingkungan-biologik dengan lebih baik. Adapun parameter fazi untuk suhu $P_1=0,17$, $P_2=0,32$, $P_3=11,28$, $P_4=4,58$, dan $P_5=141,89$, untuk kelembaban $P_1=0,38$, $P_2=0,05$, $P_3=6,96$, $P_4=11,73$, dan $P_5=968,65$; sedangkan parameter PID untuk suhu $K_P=0,06$, $T_I=0,08$, dan $T_D=1,91$, untuk kelembaban $K_P=0,01$, $T_I=0,0012$, dan $T_D=16$.

Pendekatan dengan menggunakan operator algoritma genetika untuk optimasi parameter kendali tersebut sangat bermanfaat bila besaran fisik lingkungan tanaman di dalam greenhouse yang dikontrol lebih dari satu (banyak).

Daftar Pustaka

Busetti, F. 2007. Genetic algorithms overview. Colorado State University, Colorado.
 Kusumadewi S. 2003. Artificial intelligence (teknik dan aplikasinya). Yogyakarta: Graha Ilmu. hlm 283.
 Phillips CL, Harbor RD. 1988. Feedback Control Systems. New Jersey: Prince-Hall International Inc.



Gambar 10. Performansi kendali PID pada suhu dan kelembaban dengan parameter hasil kurva evolusi optimum lokal

- Rohmanuddin M. 1994. Algoritma sederhana suatu pengontrol logika fuzi dan aplikasinya pada pengendalian posisi. Di dalam: Seminar Artificial Intelligence. Bandung, 7-8 Jun 1994. UPT Komputer PIKSI. hlm 1-16.
- Rudiyanto, Setiawan BI. 2003. Optimasi Tank Model Menggunakan Genetic Algorithm. Departemen Teknik Pertanian Institut Pertanian Bogor.
- Saptomo SK. 1995. Pengaturan suhu dengan pengontrol fuzi [skripsi]. Bogor: Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor.
- Seminar KB, Suhardiyanto H, Tamrin, Tooy D. 1998. Design and implementation of a computer-based control system for greenhouse in tropical. Di dalam: Kozai T, Murase H, Hosyi T, editor. Preprints 3rd IFAC-CIGR Workshop on Artificial Intelligent in Agriculture. Chiba; 24-26 Apr 1998. Japan: IFAC-CGR. hlm 42-47.
- Setiawan BI. 2001. Designing temperature control system for mushroom cultivation. Di dalam: Purwadaria HK, Widodo RJ, Seminar KB, Tjokronegoro HA, Suroso, editor. Preprints 2nd IFAC-CIGR Workshop on Intelligent Control for Agricultural Applications. Bali; 22-24 Agu 2001. Indonesia: IFAC-CGR. hlm 87-90.
- Setiawan BI. 2004. Penentuan time-domain specifications pada sistem kendali linier. *Jurnal Keteknikan Pertanian* 18(1):18-25.
- Suwardiyanto H, Seminar KB, Chadirin Y, Setiawan BI. 2001. Development of a pH control system for nutrient solution in ebb and flow hydroponic culture on fuzzy logic. Di dalam: Purwadaria HK, Widodo RJ, Seminar KB, Tjokronegoro HA, Suroso, editor. Preprints 2nd IFAC-CIGR Workshop on Intelligent Control for Agricultural Applications. Bali; 22-24 Agu 2001. Indonesia: IFAC-CGR. Hlm 87-90.
- Tamrin, Seminar KB, Suhardiyanto H.. 2005. Optimasi pertumbuhan tanaman ketimun mini (*Cucumis sativus L. Var. Marla*) pada fase vegetatif dengan algoritma genetika. *Jurnal Keteknikan Pertanian* 19(3):189-200.