

Pemodelan Dan Optimasi Sistem Kontrol Pada *Multiple Effect Evaporator* Dengan Menggunakan Particle Swarm Optimization

Anung Nugroho J. Laksono*, Bambang Dwi Argo, Yusuf Hendrawan, Dimas Firmanda Al Riza

Jurusan Keteknikan Pertanian - Fakultas Teknologi Pertanian - Universitas Brawijaya
Jl. Veteran, Malang 65145

*Penulis Korespondensi, Email: email@ub.ac.id

ABSTRAK

Sistem produksi dalam proses industri begitu kompleks, dan dinamis, sehingga proses sering mengalami kondisi yang kurang diharapkan karena kurangnya kemampuan sistem pengendalian dalam menjaga proses. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan performansi kontrol PID dengan menambahkan faktor bobot inersia untuk meredam kecepatan dalam pencarian titik-titik optimal pada proses penguapan evaporator dan memodelkan evaporatornya. Optimasi parameter tuning kontrol PID menggunakan PSO (*Particle Swarm Optimization*) diharapkan mampu menangani sistem nonlinier evaporator dengan karakteristik respon *undershoot* yang sulit ditangani dan memperbaiki respon sistem dengan *overshoot*, *rise time* yang cukup lama dan besar. Prosedur perancangan dan simulasi tuning kontrol PID berdasarkan PSO meliputi 2 tahapan. Tahapan 1 pemodelan sistem, dilakukan dengan proses identifikasi berdasarkan data variabel plant pada evaporator. Tahapan yang kedua yaitu perancangan PSO sebagai tuning kontrol PID. Hasil penelitian menunjukkan PSO mampu memberikan peningkatan performansi tuning sistem pengendalian kontrol PID dalam meningkatkan respon sistem pada sistem pengendalian *Multiple Effect Evaporator*.

Kata kunci : PSO, PID, Evaporator, MEE, Inersia

Control System Modeling and Optimization in Multiple Effect Evaporator by Using Particle Swarm Optimization

ABSTRACT

Production systems in industrial processes are so complex, and dynamic, so the condition often experience less desirable because of the lack of ability to maintain process control systems. This study aims to improve the performance of PID control by adding a weighting factor of inertia to dampen the pace in search of optimal points in the evaporation process and evaporator evaporator model. Optimization of PID control tuning parameters using the PSO (Particle Swarm Optimization) is expected to handle nonlinear systems with evaporator undershoot response characteristics that are difficult to treat and improve the system response with overshoot, rise time is quite long and large. Procedure design and simulation of PID control tuning based PSO includes 2 stages. Stages 1 modeling system, performed with the identification process based on the data variables in the evaporator plant. The second is the design stages of PSO as tuning PID control. The results show the PSO is able to provide improved performance tuning PID control system to improve system response in Multiple Effect Evaporator control system.

Keywords: PSO, PID, Evaporator, MEE, Inertia

PENDAHULUAN

Sistem produksi dalam proses industri merupakan sistem yang kompleks, dan dinamis, sehingga dengan kondisi tersebut proses sering mengalami kondisi yang kurang diharapkan

dalam hasil produksinya. Hal ini terjadi akibat kurangnya kemampuan sistem pengendalian untuk menjaga proses agar bekerja sesuai dengan yang diharapkan. Pada saat ini pengendali kontrol PID masih dianggap sebagai pengendali terbaik pada proses Industri, seperti halnya yang terjadi pada proses penguapan evaporator. Pada proses tersebut, nilai uap temperatur, tekanan uap dan *massa feed* dikendalikan dengan cara memanipulasi laju masukan uap (*flow rate steam*) serta rasio aliran cairan bahan (*flow rate feed*) sebagai parameter untuk proses penguapan sempurna (Geankopolis, 1978). Sistem pengendalian digunakan untuk mengendalikan viskositas dengan parameternya laju aliran uap, sehingga dengan melihat nilai keluaran *massa* uap pada kondensat akan dapat menentukan viskositasnya tanpa menghiraukan variabel gangguan dari luar. Penentuan parameter kontrol PID pada penerapannya masih dilakukan secara *trial and error* atau menggunakan metode *Ziegler-Nichols* berdasarkan kurva reaksi hasil respon model orde satu atau menggunakan metode *sustain oscillation*, akan tetapi parameter yang diperoleh belum bisa memberikan solusi yang tepat bagi parameter *setting* kontrol PID (Alrijadjis, 2013). Metode-metode ini menggunakan asumsi proses yang dikendalikan memiliki dinamika minimum, *linear*, tidak ada *noise* dan sebagainya, akan tetapi pada kenyataannya banyak proses pengendalian yang sangat kompleks. Metode tuning lain yang selama ini digunakan selain *Ziegler-Nichols* yaitu *Stepdescent*, *Cohen-Coon* dan *Newtons Method's* yang merupakan metode *Gradient-based* bersifat meminimumkan *costfunction*. Telah ada beberapa peneliti yang telah menggunakan Algoritma *Particle Swarm Optimization* untuk berbagai kasus sistem kontrol (Hidayatullah, 2012; Willjuice dan Baskar, 2009; Xu *et al.*, 2007)

METODE PENELITIAN

Metode Penelitian

Metode penelitian ini dilakukan mulai dari prosedur perancangan dan simulasi tuning kontrol PID berdasarkan *Particle Swarm Optimization* (PSO) yang meliputi 2 tahapan yang penting yaitu pemodelan sistem dan perancangan tuning kontrol PID berdasarkan PSO. Dalam pemodelan sistem dilakukan dengan proses identifikasi berdasarkan data variabel *plant* pada evaporator. Tahapan yang kedua yaitu perancangan PSO sebagai tuning kontrol PID, seluruh perancangan penelitian dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak (*software*) matlab 2009.

Perencanaan Model Evaporator

Pengambilan data variabel diambil dengan menurunkan persamaan fisika secara kesetimbangan massa dan energi dari proses evaporator meliputi data variabel masukan proses antara lain massa uap *massa feed*, temperatur uap, tekanan uap dan konsentrasi input *feed* sedangkan data keluaran jumlah massa yang keluar dari proses evaporator (*feed* dan uap). Adapun sistematika penelitian ini berisi prosedur yang akan dilakukan mulai dari tahap persiapan mulai studi literatur mengenai dinamika proses *multi effect evaporator* dan algoritma PSO sebagai tuning kontrol PID hingga pengambilan kesimpulan hasil penelitian. Metode penelitian ini dapat dijabarkan dalam tahapan-tahapan sebagai berikut : Pencarian nilai input dan output dari persamaan fisika, memasukkan data nilai tersebut terhadap kesetimbangan massa dan energi, dengan kesetimbangan massa dan energi dalam penurunan waktu sebagai berikut:

Kesetimbangan *massa*

$$dM/dt = M_{in} - M_{out} \quad (1)$$

Kesetimbangan energi

$$dH/dt = M_s/v_s * H_1 + U*A*\Delta T (T_s - T) - M_s/v_s * H_0 * V * Q \quad (2)$$

(M.Karimi dan Jahanmiri, 2006).

Memasukkan angka-angka tersebut ke matrik *state space* yang nantinya sudah di proses pada program matlab, mencari kriteria yang harus di kendalikan pada proses *multiple effect evaporator*, membuat blok diagram proses *multiple effect evaporator* dan kontrol PID, membuat

tuning kontrol PID berdasarkan metode PSO, *running* simulasi dan analisa grafik (*oscilasi*) dan hasil data dari *running* tersebut.

Identifikasi Model Evaporator Masukan-Keluaran

Prosedur identifikasi dalam praktiknya memiliki proses yang besar dan dibuat berdasarkan 3 faktor utama antara lain : data, struktur model, dan pemilihan kriteria identifikasi.

Dinamika Proses

Proses didalam evaporator melibatkan *massa uap*, *massa feed*, dan energi sedangkan keluarannya berupa uap vapor (*massa vapor*), cairan kental dan uap sisa yang masuk ke kondensat. Proses evaporator pasti selalu menghasilkan uap dan cairan, yang merupakan hasil dari proses penguapan. Dalam penelitian ini yang menjadi referensi untuk pengendalian massa uap, dan *massa feed*, dimana *massa uap* menjadi komponen evaluasi untuk menentukan apakah proses penguapan menghasilkan *viskositas* yang optimum atau tidak pada level operasi yang diberikan. Besarnya *massa uap* sisa penguapan dimonitor oleh sensor *massa uap*, yang nantinya akan dikendalikan dan disesuaikan dengan nilai *setpoint massa uap* yang ditentukan.

Identifikasi Model Sistem Evaporator

Pemodelan plant evaporator ini menggunakan metode identifikasi secara persamaan fisika dan di masukkan ke matrik *state-space* untuk membantu penyelesaian persamaan dinamika proses pada plant evaporator, sehingga akan mewakili *plant* yang sebenarnya. Selain menggunakan *state-space* pemodelan plant dapat dikerjakan menggunakan metode *transformasi laplace*, tetapi bila terlalu banyak variable yang digunakan akan mempersulit dalam pencarian transfer fungsinya. *State-space* dalam proses pemodelan matematis sistem dilakukan dengan melalui hubungan data variabel masukan-keluaran evaporator.

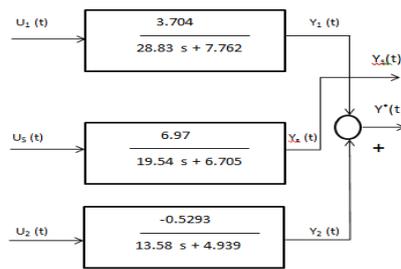
Tuning PID menggunakan PSO

Kontrol PID dilakukan proses optimasi agar memperoleh nilai parameter kontrol PID yang tepat, sehingga respon pengendali yang dihasilkan mampu menangani kondisi minimum dengan pencapaian *setpoint* yang cepat dan *overshoot* yang kecil. Algoritma PSO digunakan untuk mencari nilai optimasi parameter kontrol PID, karena metode ini memiliki kelebihan cepat dalam menentukan titik konvergensi minimum fungsi objektif yang di inginkan, pencarian nilai K_p , K_i , K_d dengan algoritma PSO dilakukan pada program matlab dengan parameter pada plant MEE

HASIL DAN PEMBAHASAN

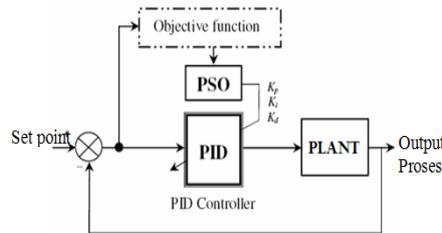
Identifikasi Plant

Pemodelan sistem yang diperoleh seperti dijelaskan pada Bab sebelumnya. Model matematis proses dimodelkan berdasarkan pendekatan secara fisika dan selanjutnya persamaan fisika berdasarkan waktu tersebut di masukkan ke matrik *state space* yang menggunakan data masukan-keluaran sistem. Langkah pertama dalam pemodelan yaitu data masukan-keluaran proses dimasukkan kepersamaan kesetimbangan, selanjutnya dimasukkan ke data matrik untuk mempermudah proses pendeferensian menjadi data matrik sebelum dimasukkan dalam perumusan matrik *state space*. Dari metode *state space* diperoleh hubungan matematik proses yang berupa fungsi transfer dari setiap data masukan-keluaran. Gambar 1 merupakan dinamika model matematis antara nilai keluaran dan masukan pada evaporator 1 dan 2 dengan *massa uap* pada evaporator sebagai *setpoint* nya.



Gambar 1. Struktur model matematik *plant Multiple Effect Evaporator (MEE)*

Pengujian Sistem PSO untuk Penentuan Parameter PID



Gambar 2 Struktur optimasi PSO tuning parameter kontrol PID (Allaoua B. *et al.*, 2009)

Dalam penentuan parameter tuning kontrol PID, PSO harus memiliki fungsi objektif untuk mengevaluasi fungsi *error* melalui proses iterasi partikel dalam ruang pencarian seperti yang terlihat pada Gambar 2. Metode PSO yang digunakan sebagai optimasi tuning, memiliki beberapa partikel dalam populasi, dimana setiap partikel berisi tiga anggota P, I dan D, itu artinya setiap partikel memiliki tiga dimensi ruang pencarian dan partikel bergerak dalam tiga ruang dimensi tersebut. Dalam pencarian solusi partikel memiliki posisi baru yang digunakan sebagai dasar *update* posisi partikel yang dihubungkan dengan posisi partikel terbaik sebelumnya.

Untuk mencapai kondisi tersebut, sudut partikel diarahkan dengan menggabungkan vektor partikel ke-*i* ke partikel terbaik sehingga vektor yang tergabung menjelaskan posisi selanjutnya dari partikel ke-*i* dalam derajat yang baru. Persamaan umum dari PID kontroler yaitu:

$$U(t) = K_p \cdot x e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t)dt + T_d \frac{de(t)}{dt}$$

Dimana : K_p = *Propotional Gain*
 T_i = *Integral time*
 T_d = *Derivative time*

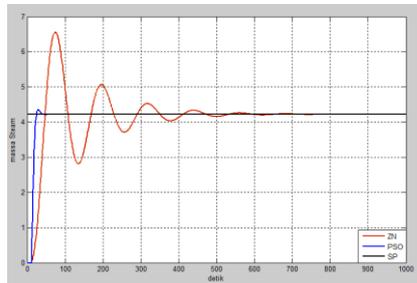
Variabel *error* $e(t)$ menjelaskan selisih antara *setpoint* dengan aktual keluaran dari proses. Besar sinyal pengendalian yang dikeluarkan berdasarkan algoritma kontrol PID yaitu mengalikan *error* dengan parameter K_p , K_i dan K_d . Tiga kriteria performansi integral dalam domain frekuensi mempunyai keuntungan dan kerugian. Kerugian dari kriteria IAE dan ISE adalah proses minimalisasi respon. Penurunan rumus ITSE secara analitik bersifat kompleks dan perlu menambahkan waktu dalam perhitungannya. Persamaan kriteria Performansi IAE, ISE dan ITSE adalah :

$$IAE = \int_0^{\infty} |r(t) - y(t)|dt = \int_0^{\infty} |e(t)|dt$$

$$ISE = \int_0^{\infty} e^2(t)dt$$

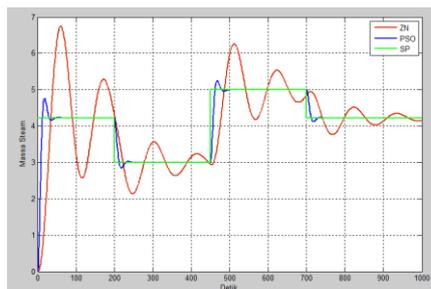
$$ITSE = \int_0^{\infty} t \cdot e^2(t) dt$$

Kriteria performansi meliputi *overshoot*, *rise time*, *settling time* dan *steady state error*.



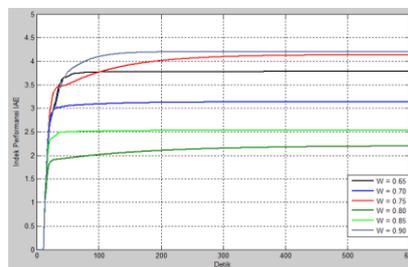
Gambar 3. Uji step pada set point 4.22kg/det

Gambar 3. diatas merupakan perbandingan respon pengendalian antara metode tuning berdasarkan algoritma *Ziegler-Nichols* (ZN) dengan PSO pada proses pengendalian MEE. Dari hasil menunjukkan PSO mampu memberikan opsi tuning yang lebih optimal dengan *maxovershoot* sekitar 3.35% *rise time* 0.01 detik dan *settling time* 6.102 detik dibandingkan menggunakan ZN dengan *maxovershoot* 5.38%, *rise time* 3.05 detik dan *settling time* 10.1 detik. PSO mampu memperbaiki respon pengendalian yang dihasilkan dengan mengangkat respon jatuh (*undershoot*) sebesar 28.11% pada saat kondisi transien.



Gambar 5. Uji *tracking setpoint* PSO dan ZN

Gambar 5 merupakan uji *tracking setpoint* pada tingkat kondisi yang berbeda dengan parameter pengendalian kontrol PID yang di tentukan melalui PSO dan ZN. Dari hasil menunjukkan bahwa Parameter yang didapatkan melalui optimasi PSO mampu memberikan opsi tuning yang lebih optimal, sehingga mampu memperbaiki respon sistem dalam memenuhi target operasi yang diharapkan dengan *settling time*, *rise time* yang lebih cepat.



Gambar 6. Indeks performansi IAE untuk bobot inersia *w* PSO yang berbeda

Indek performansi sistem pengendalian dapat diukur menggunakan MSE, IAE, ISE atau ITAE. Dalam kasus PSO sebagai tuning kontrol PID disini, indeks performansi parameter (*Kp*, *Ki* dan *Kd*) diukur menggunakan IAE. Gambar 6 indeks performansi diukur menggunakan IAE untuk mengetahui disain pengendalian PSO pada bobot inersia yang berbeda. Dari hasil

menunjukkan tuning PSO dengan bobot inersia $w = 0,80$ memiliki indek IAE yang paling minimum, jika dibandingkan indek performansi dengan bobot inersia yang lain.

KESIMPULAN

Hasil dari *running plant* MEE dengan *tuning* kontrol PID berdasarkan metode PSO, performansinya dapat dilihat dari grafik perbandingan antara metode ZN dan PSO. Faktor bobot inersia (w) dalam PSO digunakan untuk meredam kecepatan gerak partikel agar lebih teliti dalam pencarian (*search space*) daerah optimasi untuk mencapai fungsi objektif yang lebih optimal. Dari hasil penelitian yang dilakukan PSO mampu memberikan peningkatan performansi tuning sistem pengendalian kontrol PID dalam meningkatkan respon sistem pada sistem pengendalian *Multiple Effect Evaporator*.

DAFTAR PUSTAKA

- Alridjadis, 2013. **Implementasi Metode PSO-LDW untuk Optimasi Kontroler PID Pada Plant Orde Tinggi**. Politeknik Elektronika Surabaya – ITS.
- Geankopolis, C. J. 1978. *Transport Processes and Unit Operations : third edition*. Prentice-Hall, Inc.
- Gunterus, F. 1977. *Falsafah Dasar : Sistem Pengendalian Proses*. Salatiga.
- Hidayatulloh, 2012. **Peningkatan Performansi Sistem Pengendalian Flue Gas Oxygen Pada Fluidized Bed Boiler Dengan Menggunakan Tuning Pid Berdasarkan Algoritma Particle Swarm Optimization (PSO)**. Institut Teknologi Sepuluh November.
- Karimi dan Jahanmiri, 2006. *Nonlinear Modeling and Cascade Control Design for Multi Effect Falling Film Evaporators*. Chemical and Petroleum Engineering Departement, Engineering, School, Shiraz, Iran.
- Willjuice, M.I dan Baskar. S. 2009. *Evolutionary algorithms based design of multivariable PID controller*. *Expert Systems with Applications* 36 hal. 9159–9167.
- Xu, L.Z, Yu F dan You-bo. 2007. *PSO Algorithm based Online Self-Tuning of PID Controller, dalam Rouf, A.H Peningkatan Performansi Sistem Pengendalian Flue Gas Oxygen Pada Fluidized Bed Boiler dengan Menggunakan Tuning PID berdasarkan Algoritma PSO*. Institut Teknologi Sepuluh November.
- Yu Fei dan Lee. 2007. *PSO Algorithm based Online Self-Tuning of PID Controller*. International Conference on Computational Intelligence.