

Pemodelan dan Optimisasi Kandungan Oksigen dengan Jaringan Syaraf Tiruan dan Algoritma Genetik pada Gas Buang Boiler PT. Petrokimia Gresik

Mohamad Fithron Yunaji

Program Studi Teknik Fisika – Institut Teknologi Bandung

Abstrak

Efisiensi dan optimasi kinerja *boiler* menjadi sangat penting untuk dikaji. *Boiler* yang bekerja dengan efisien akan menghemat jumlah bahan bakar yang diperlukan. Salah satu sistem kontrol yang menjamin efisiensi pembakaran adalah kontrol perbandingan udara-bahan bakar. Perbandingan udara dan bahan bakar yang tetap pada nilai tertentu tidak menjamin pembakaran akan optimal. Hal ini dikarenakan berbagai faktor seperti turbulensi dan waktu kontak bahan bakar dengan udara yang menyebabkan hasil pembakaran bervariasi. Pada penelitian ini, dirancang sistem kontrol jaringan syaraf tiruan (JST) dengan optimasi algoritma genetik (GA) untuk mengoptimalkan sistem pembakaran *boiler* PT. Petrokimia Gresik dengan mereduksi sisa udara pembakaran. Pengontrol JST yang diterapkan berhasil mengoptimalkan pembakaran dapat dilihat dari persentase sisa oksigen sebesar 2.2 % sehingga dapat meningkatkan efisiensi *boiler* dari 80,95 % menjadi 83,63 %. Dengan adanya peningkatan efisiensi tersebut maka dihasilkan penghematan biaya operasi sebesar \$US 412,299.3/tahun.

Kata kunci : boiler, gas sisa pembakaran, jaringan syaraf tiruan, algoritma ganetik, optimasi, efisiensi

Abstract

Efficiency and optimization of boiler performance is an important issue. Efficient boiler implies save fuel. Control system in order to adjust ratio of air and fuel lead to an efficient boiler. Fixed ratio does not guarantee an optimize boiler performance due to various factor such as turbulence and interaction time of fuel and air. In this study, control system using neural network and genetic algorithm method was performed in optimizing boiler combustion system at PT Petrokimia Gresik by reducing air combustion residue. As a result, optimized boiler was obtained. Boiler efficiency, increased from 80.95% to 83.63 %. In other word, it saves \$US 412.299,3 per year.

Keyword: boiler, residual combustion gas, neural network, genetic algorithm, optimization, efficiency.

1 Pendahuluan

Dalam industri proses kimia seperti PT. Petrokimia Gresik diperlukan uap panas (*steam*) sebagai penunjang energi pabrik sintesa Amoniak maupun pupuk Urea. Kebutuhan uap panas (*steam*) dapat dipenuhi oleh *boiler* yang merupakan sistem pembangkit uap dengan pemanfaatan energi panas untuk mengubah air menjadi uap panas (*steam*). Secara umum *boiler* terdiri dari dua komponen utama, yaitu tungku pembakaran dan sistem pengatur aliran air umpan. Pada tungku pembakaran udara dan bahan bakar akan tercampur dan menghasilkan energi untuk memanaskan air menjadi uap. Sistem pembangkit ini memperoleh energi panas dari pembakaran langsung atau kalor dari sistem yang lain.

Optimisasi *boiler* dapat dilakukan dengan meninjau sistem pembakaran pada *boiler*. Optimisasi dilakukan dengan cara mengurangi jumlah kandungan oksigen setelah terjadi pembakaran menjadi hilang atau sekecil mungkin dan mengkompensasinya dengan performansi dari sistem. Hal ini dilakukan dengan meminimalkan sisa udara pembakaran (*excess air*) dan mengatur sekecil mungkin energi yang dibuang ke atmosfer. Sisa udara pada pembakaran tidak mungkin bernilai nol karena belum ada tungku pembakaran yang

bisa mencampur udara dan bahan bakar secara sempurna, sehingga dalam setiap pembakaran masih terdapat sisa bahan bakar yang tidak terbakar dan oksigen yang belum terikat dengan karbon [2].

Sistem identifikasi dengan menggunakan metode jaringan syaraf tiruan (JST), JST adalah salah satu cara identifikasi yang mengadaptasi dari jaringan syaraf manusia. Sedangkan untuk optimisasinya menggunakan pengontrol jaringan syaraf tiruan dan algoritma genetik (GA) untuk meningkatkan performansi pengontrol. Algoritma genetik adalah suatu metode pencarian solusi optimal secara stokastik yang berdasarkan pada mekanisme evolusi dan seleksi alam [2].

2 Prinsip Kerja Boiler

Boiler atau pembangkit uap merupakan suatu unit yang berfungsi untuk menghasilkan uap. *Boiler* sangat dibutuhkan dalam industri karena uap yang dihasilkan dibutuhkan dalam berbagai proses. Pada PT. Petrokimia Gresik uap yang dihasilkan *boiler* digunakan untuk menggerakkan turbin sebagai pembangkit listrik dan sebagai bahan baku dalam proses pembuatan pupuk, seperti pembuatan H_2 pada *primary reformer* dimana uap yang dihasilkan *boiler* akan direaksikan dengan gas alam. Diagram blok sederhana *boiler* diperlihatkan pada Gambar 1 berikut ini.



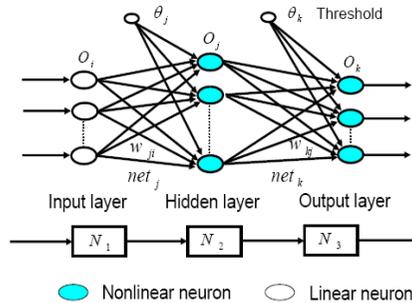
Gambar 1 Diagram blok boiler sederhana

Pada sistem *boiler*, air diumpungkan ke dalam penampung air. Karena air yang ditampung ini mendapatkan masukan kalor yang berasal dari pembakaran bahan bakar, maka lama kelamaan air akan mendidih dan berubah fasa menjadi uap. Uap air ini akan keluar dari *boiler* dalam keadaan bersuhu tinggi dan bertekanan tinggi.

3 Teori Dasar

3.1 Jaringan Syaraf Tiruan

Sistem Jaringan Syaraf Tiruan (JST) merupakan suatu sistem yang memodelkan cara kerja jaringan syaraf manusia sebagai suatu sistem dinamik nonlinier kontinu yang diharapkan dapat meniru mekanisme otak dan menimbulkan perilaku cerdas. Jaringan ini terdiri dari banyak simpul (*node*) pemroses yang dianalogikan dengan neuron pada otak. Proses matematis yang ada dalam jaringan ini juga merupakan pendekatan pada cara kerja otak dan memiliki kemampuan belajar dari pengalaman.



Gambar 2 Jaringan syaraf tiruan *hidden layer tunggal*

Parameter-parameter yang terdapat pada simpul adaptif akan terus diperbaharui dengan menggunakan suatu aturan pembelajaran (*learning rule*). Pembelajaran parameter-parameter yang ada didalam simpul-simpul inilah yang akan mempengaruhi performansi dari jaringan syaraf tiruan (*neural network*).

3.2 Algoritma Genetik (GA)

Algoritma genetik (GA) adalah suatu metode pencarian solusi optimal secara stokastik yang berdasar pada mekanisme evolusi dan seleksi alam [9]. GA, berbeda dengan teknik optimasi konvensional, dimulai dengan suatu set solusi yang random yang disebut dengan populasi. Setiap individu dalam populasi yang disebut kromosom merepresentasikan sebuah solusi dari suatu persoalan.

Proses pencarian solusi berarti merupakan proses pencarian individu terbaik yang memenuhi solusi setelah dikenakan operator genetik. Solusi yang dikehendaki tersebut, akan selalu memperbaiki dirinya sampai pada kondisi akhir yang diinginkan.

Beberapa karakteristik dari Algoritma genetik sebagai berikut [1]

1. Prinsip Pengkodean Solusi. Solusi adalah sifat fisik yang tampak yang dikodekan ke dalam kromosom. GA memanipulasi isi kromosom, tidak memanipulasi sifat fisik secara langsung.
2. GA bekerja pada kumpulan solusi (populasi) yang merupakan kandidat solusi dalam teknik pencarian, dengan kata lain kumpulan individu akan mengalami seleksi alam yang lebih luas.
3. GA hanya menggunakan informasi fungsi *fitness* yang didapatkan dari fungsi objektif persoalan
4. GA menggunakan aturan transisi probabilistik sebagai alat bantu untuk mengarahkan pencarian.

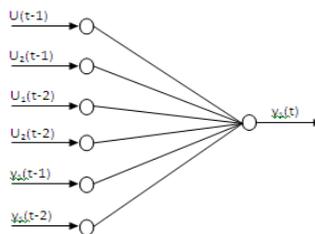
4 Identifikasi Boiler dan Perancangan Sistem

Identifikasi akan dilakukan secara *offline* dengan menggunakan data yang telah diakuisisi sebelumnya. Telah diakuisi 1000 data masukan dan keluaran saat *boiler* PT. Petrokimia Gresik beroperasi pada tanggal 26 Februari 2008 . Waktu cacah pengambilan data adalah 1 menit.

Tabel 1 Tag Name Process Variable

Variabel	Tag Number	Keterangan
$u_1(t)$	FIC660	Laju Aliran Udara
$u_2(t)$	FIQR640	Laju aliran bahan bakar
$y_1(t)$	PIC611	Tekanan uap
$y_2(t)$	AIC660	Sisa Oksigen

Proses identifikasi dilakukan dengan menggunakan jaringan saraf tiruan. Sistem diasumsikan orde 2, dan tanpa waktu tunda. Berdasarkan *a priori knowledge* ini maka dapat dibentuk struktur jaringan saraf tiruan untuk identifikasi, seperti diperlihatkan pada Gambar 3.



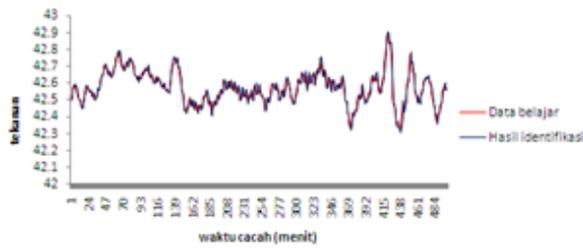
Gambar 3 Struktur JST tanpa *hidden layer*, hal ini dilakukan agar bobot dari JST dapat disamakan dengan parameter model secara langsung.

Dari data yang tersedia didapat model matematis dari proses *boiler* sebagai berikut:

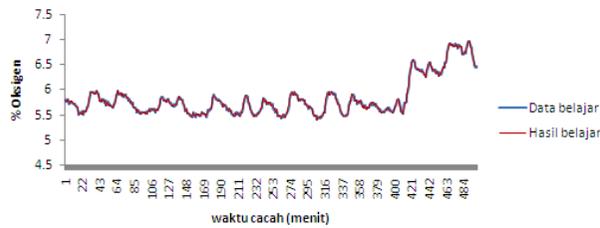
$$y_1(t) = 0.00085 u_1(t - 1) + 0.545233 u_2(t - 1) - 0.0007832 u_1(t - 2) - 0.0242423 (t - 2) + 0.9762 y_1(t - 1) + 0.0069 y_1(t - 2) \tag{1}$$

$$y_2(t) = -0.023886 u_1(t - 1) + 0.54989 u_2(t - 1) - 0.021840 u_1(t - 2) + 0.006277 u_2(t - 2) + 0.966459 y_2(t - 1) + 0.13538 y_2(t - 2) \tag{2}$$

Gambar 4 sampai Gambar 5 menunjukkan hasil belajar dari identifikasi *boiler* menggunakan jaringan saraf tiruan dengan rentang data 0-500.

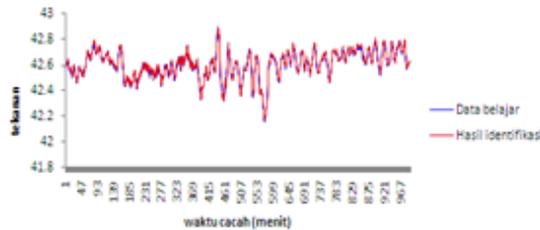


Gambar4 Hasil belajar tekanan

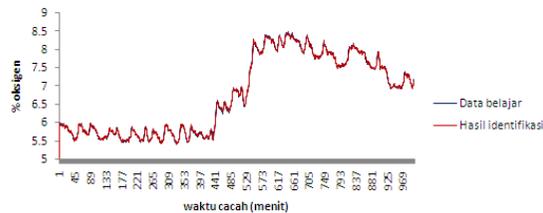


Gambar 5 Hasil belajar %oksigen

Gambar 6 sampai Gambar 7 menunjukkan hasil validasi dari identifikasi boiler menggunakan jaringan saraf tiruan dengan rentang data 0-1000.



Gambar 6 Hasil validasi tekanan



Gambar 7 Hasil validasi tekanan

Perbandingan nilai RMSE untuk masing – masing model dapat dilihat pada Tabel 2.

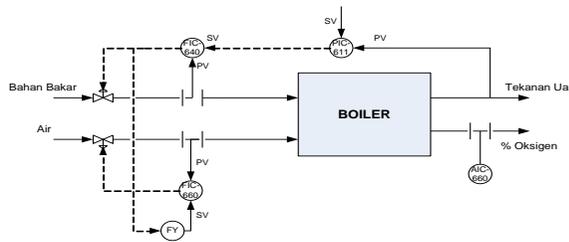
Tabel 2 hasil pemodelan tekanan uap dan % oksigen boiler

Parameter	Model Tekanan Uap NNARX	Model % Oksigen NNARX
Jumlah data pembelajaran	500	500
Jumlah data validasi model	1000	1000
Kecepatan belajar (<i>learning rate</i>)	0.00001	0.00001
Epoch pembelajaran	20000	20000
RMSE pembelajaran	0.027	0.045
RMSE validasi	0.05	0.06

5 Perancangan dan Simulasi Pengontrol

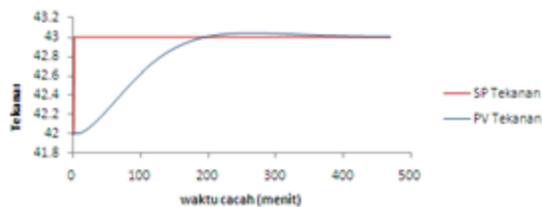
5.1 Simulasi pengontrol PID

Hasil pengontrol JST akan dibandingkan dengan pengontrol PID karena sama dengan pengontrol yang ada di PT Petrokimia Gresik. Simulasi PID dilakukan dengan mensimulasikan sistem berdasarkan *Process Flow Diagram (PFD) boiler* PT. Petrokimia Gresik. PFD saat ini ditunjukkan pada Gambar 8.

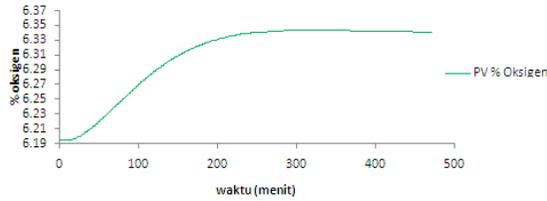


Gambar 8 PFD Pengontrol Ratio

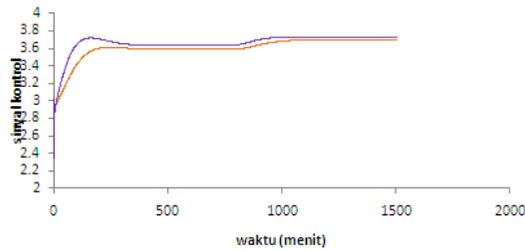
5.1.1 Hasil simulasi pengontrol PI kaskade



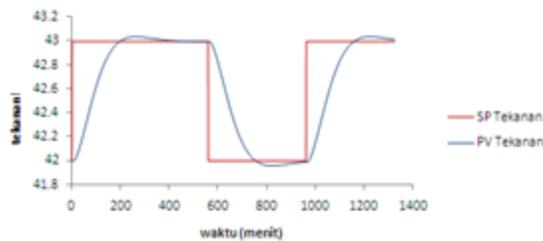
Gambar 9 Respon step PI



Gambar 10 Respon % oksigen



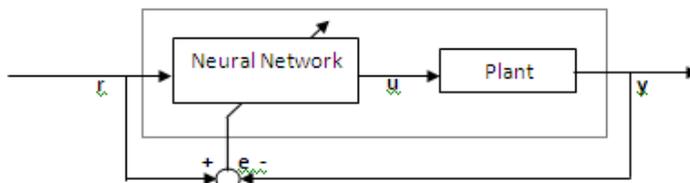
Gambar 11 Sinyal kontrol



Gambar 12 Respon input berubah

5.2 Simulasi pengontrol jaringan syaraf tiruan (JST)

Sistem pengontrol JST yang digunakan adalah tipe *neuro-control* skema seri dengan struktur JST ADALINE. Jumlah lapisan yang digunakan ada 2, lapisan masukan, dan lapisan keluaran. Jumlah titik pada lapisan masukan 4 buah, dan lapisan keluaran 2 buah.



Gambar 13. Blok Diagram Pengontrol JST

Algoritma pengontrol JST yang diterapkan mengikuti langkah-langkah sebagai berikut [8]

1. Menetapkan nilai awalan W_j , η , dan α
2. Menetapkan nilai set point $r(t)$ dan menghitung nilai keluaran $u(t)$ dan $y(t)$
3. Menghitung nilai δ . dengan formula

$$\delta = f'(t) e(t) \tag{3}$$

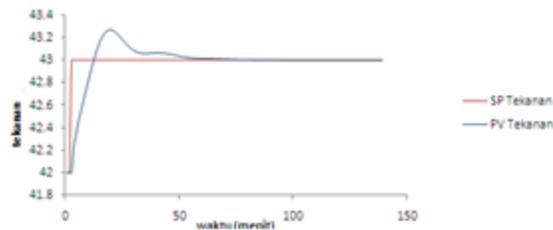
$$e(t) = r(t) - y(t) \tag{4}$$

4. Memperbaharui pembobotan

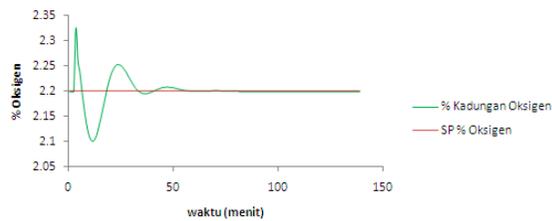
$$W_{j(t+1)} = \eta \delta O_j + \alpha W_{j(t)} \tag{5}$$

5. $t \rightarrow t+1$, ulangi langkah kedua

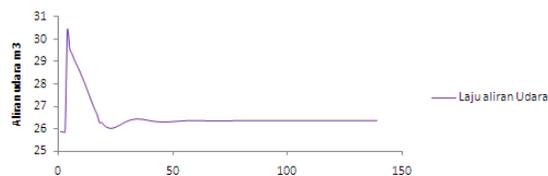
5.2.1 Hasil simulasi pengontrol JST



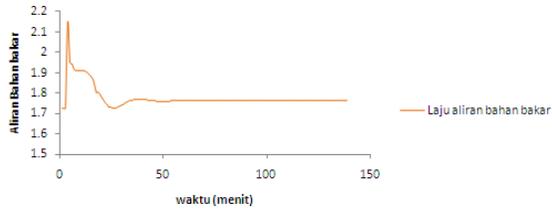
Gambar 14 Respon step PJST



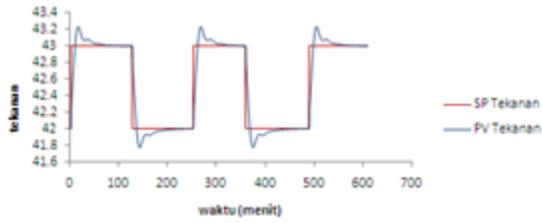
Gambar 15 Respon % oksigen



Gambar 16 Sinyal kontrol udara

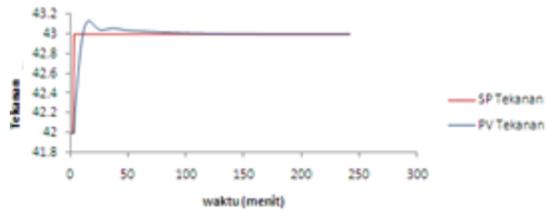


Gambar 17 Sinyal kontrol gas

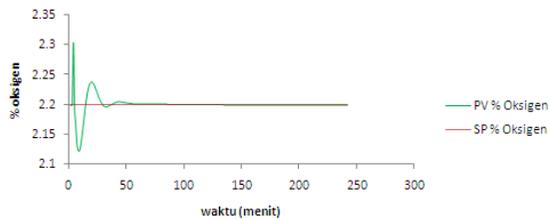


Gambar 18 Respon input berubah

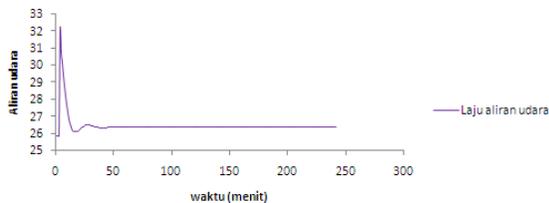
5.2.2 Hasil simulasi pengontrol JST dengan optimasi algoritma genetik (GA)



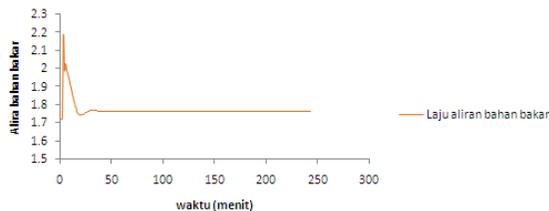
Gambar 19 Respon step PJST-GA



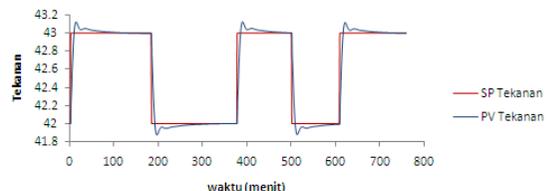
Gambar 20 Respon % oksigen



Gambar 21 Sinyal kontrol udara



Gambar 22 Sinyal kontrol gas



Gambar 23 Respon input berubah

Tabel 3 Perbandingan performansi pengontrol jaringan syaraf tiruan dan pengontrol PI

	PI	JST	JST-GA
Over Shoot	1.038	1.273	1.36
Rise Time	170	10	10
Peak Time	250	18	16
Settling Time	22	37	45
IAE	92.306	9.51	8.015
% Oksigen	6.341	2.2	2.2
Rasio Udara-Bahan Bakar	15.86	15.65	15

5.3 Perhitungan penghematan biaya operasi dan efisiensi boiler

Penghematan biaya operasi dilakukan terhadap konsumsi bahan bakar gas. Perhitungan penghematan biaya operasi ini dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut ini,

$$\text{Penghematan Biaya} = \text{Konsumsi Bahan Bakar} \times \left(1 - \frac{E_1}{E_2}\right) \times \text{harga uap} \quad (6)$$

dengan E_1 adalah efisiensi pembakaran yang lama, E_2 adalah efisiensi pembakaran yang baru, konsumsi bahan bakar adalah bahan bakar yang digunakan *boiler* setiap tahun, dan harga uap adalah harga bahan bakar yang digunakan untuk menghasilkan uap pada suatu *boiler* (\$/1000 m³ uap).

Sedangkan harga uap adalah harga bahan bakar x energi yang diperlukan untuk menghasilkan satu lb uap saturasi x $1/\eta$.

Adapun besaran - besaran yang diperlukan untuk melakukan perhitungan persamaan (6) di atas adalah :

Harga gas \$US 12,52 /mmbtu, energi yang diperlukan untuk menghasilkan satu lb uap saturasi 56.979,725 (Btu/m³), $E_1 = 80.95\%$, $E_2 = 83.63\%$, dan konsumsi bahan bakar gas sebesar 1724.232 m³/jam. Berikut adalah perhitungan lengkap kemungkinan besarnya penghematan biaya operasi.

$$\begin{aligned} \text{Penghematan biaya} &= 1724.232 \text{ m}^3/\text{jam} \times (1 - (80.95/83.63)) \times \$\text{US } 853.027/1000 \text{ m}^3 \\ &= \$\text{US } 47.06/\text{jam} \\ &= \$\text{US } 412,299.3/\text{tahun} \end{aligned}$$

6 Kesimpulan

Dalam penelitian ini dihasilkan model matematis untuk sistem pembakaran boiler PT. Petrokimia Gresik dengan dua masukan yaitu aliran udara dan bahan bakar dan dua keluaran yaitu tekanan uap dan sisa oksigen. Optimasi pembakaran dapat meminimalkan sisa oksigen menjadi 2.2% yang sebelumnya 6% - 8%. Sistem kontrol tegar yang dirancang berhasil memperbesar efisiensi boiler dari semula 80.95% menjadi 83.63%. Penghematan yang dapat dilakukan per tahun sebesar \$ \$US 412,299.3/tahun (acuan harga gas alam adalah \$ 12,44 /MMBtu).

7 Daftar Pustaka

- [1] Liptak, G. Bela. 1999. *Optimization of Industrial Unit Processes*. CRC press.
- [2] Antony L.S. 2001. *Identifikasi Dan Pengontrolan Sistem Dengan Jaringan Syaraf Tiruan Serta Aplikasinya Pada Mini-Plant Proses*. Tugas Akhir, Departemen Teknik Fisika, Institut Teknologi Bandung: tidak diterbitkan.
- [3] Yul Y. Nazzarudin and Indra kumiawan. 2001. *Control of a Neutralization Process by an adaptive Neuro-Fuzzy Controller with Genetic Algorithm*. Proceeding of the 3rd International Conference on Control Theory and Applications, Pretoria, South Africa.
- [4] Goldberg, D.E. 1989. *Genetic Algorithm in Search Optimization and Machine Learning*. Addison-Wesley Publishing Co.
- [5] Ogata, Katsuhiko. 2002. *Modern Control Engineering 4th edition*. New Jersey: Prentice-Hall.
- [6] Dukelow, Sam G. 1991. *The Control of Boiler 2nd Edition*. Instrument Society of America.
- [7] Norgaard, M. O.Ravn, N.K. Poulsen dan L.K. Hansen. 2000. *Neural Networks for Modelling and Control of Dynamic System*. London: Springer-Verlag.
- [8] Bien Zeungnam. 2005. *Intelligent Control Theory*.

- [9] Houtz, Allen dan Doug Cooper. *The Ratio Control Architecture*. Tersedia: www.controlguru.com.