

IDENTIFIKASI PLANT SIMULATOR SECARA ONLINE MENGGUNAKAN METODE JARINGAN SARAF TIRUAN DENGAN STRUKTUR MODEL NARX (*NONLINEAR AUTOREGRESSIVE EXOGENOUS*)

Dini Yasa Istiqomah^{*)}, Budi Setiyono, and Sumardi

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Diponegoro Semarang
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)}E-mail : diniyasa23@yahoo.com

Abstrak

Pada Analisa sebuah sistem, hal ini dapat dilakukan lebih mudah jika diketahui persamaan model matematikanya. Salah satu caramendapatkan persamaan matematika adalah menggunakan identifikasi sistem.. Identifikasi sistem adalah usaha untuk mendapatkan sebuah informasi yang berupa model matematika yang didapat dari hasil analisa data masukan dan keluaran dari sistem. Pada penelitian ini dilakukan identifikasi secara online atau secara langsung terhubung dengan plant yang bersifat black-box. Metode identifikasi yang digunakan adalah algoritma Neural Network dengan model NARX(Nonlinear Auto Regressive Exogenous). Nilai masukan dan keluaran pada plant simulator akan diidentifikasi menggunakan model NARX dengan pelatihannya menggunakan algoritma Levenberg Marquardt. Hasil yang diperoleh dari identifikasi ini adalah berupa jaringan model. Berdasarkan hasil identifikasi menggunakan struktur model NARX, simulator plant sudah bisa direpresentasikan dalam bentuk jaringan model. Jaringan model ini dapat dibuat dalam persamaan matematika. Salah satu hasil identifikasi yang terbaik ditunjukkan dengan nilai MSE validasi pada rangkaian op-amp orde 3 dengan interkoneksi umpan balik yaitu 0,075.

Kata kunci: Identifikasi, Sistem Black-box, Jaringan Saraf Tiruan

Abstract

In system analysis, it becomes easier if the mathematical equation can be known. One way to get the equation is using system identification. System identification is the discipline to obtain system information in the form of mathematical equation, starting from experimental data, the input and the output value. In this research, the identification was online or directly connected with the black-box system. Neural network methods were used to identify the system. The input and output value of simulator plant were identified with NARX (Nonlinear Auto Regressive Exogenous) model and the training algorithm used Levenberg-Marquardt algorithm. The result from this identification was a model network. Based on the results, the simulator plant can be represented by the network models. The networks model show by mathematic equation form. The best identification gave by op-amp circuit order 3 with feedback interconnection. The MSE validation value of this network model was 0,075.

Keywords: Identification, Black-box System, Neural Network

1. Pendahuluan

Untuk menganalisa karakteristik suatu *plant* lebih mudah dilakukan jika diketahui model matematisnya. Salah satu cara mengetahui model matematis adalah proses identifikasi sistem. Identifikasi sistem dapat diartikan sebagai usaha untuk merekonstruksi model parameter *plant* dengan cara membandingkan data yang berasal dari masukan dan keluaran *plant*. Metode identifikasi dapat dilakukan secara *on-line* dan *off-line*.

Pada penelitian sebelumnya, yang dilakukan oleh saudara Nikmah Dwi Indriati, proses identifikasi diterapkan pada sistem linear orde 1, 2 dan 3 yang dilakukan secara *on-line* dengan metode algoritma *Least Mean Square*(LMS) dengan filter adaptif IIR(*Infinite Impulse Respon*). Dari proses identifikasi didapatkan nilai parameter pada masing-masing sistem dan nilai error dengan rata-rata sebesar 0.04 dengan iterasi sebanyak 200 kali[1].

Dengan kemajuan ilmu pengetahuan saat ini, telah banyak dikembangkan logika-logika untuk mengidentifikasi sebuah sistem. Salah satu yang populer adalah *Neural Network Algorithm* atau yang lebih sering disebut dengan algoritma Jaringan Saraf Tiruan (JST). Kelebihan JST adalah mampu menirukan cara berpikir manusia dengan melakukan komputasi berbasis kecerdasan komputasional dalam pengenalan pola. Pada penelitian yang dilakukan oleh Jaroslaw Bernarz, *NARX model in rotating machinery diagnostic*, Jaringan saraf tiruan digunakan untuk mendeskripsikan karakteristik sistem *rotating machines*[2]. Struktur model yang dipilih adalah NARX dan pelatihan yang digunakan adalah *backpropagation*. Pada penelitian ini menunjukkan kemampuan algoritma untuk mendeteksi malfungsi pada *rotating machines*. Selain itu pada penelitian yang lain oleh saudara Achmad Abdul Jabbar, desain kontroler adaptif JST untuk pengaturan kecepatan stasioner, struktur NARX digunakan dalam pengidentifikasian plant mesin bensin. Berdasarkan hasil simulasi, kontroler adaptif JST mampu memberikan performansi yang lebih baik dibandingkan kontroler PID dengan nilai IAE untuk gangguan *step* sebesar 71,77[3]. Penelitian yang dilakukan oleh Setiawan Rahmat, perbandingan algoritma Levenberg-Marquardt dengan metode *backpropagation* pada proses *learning* JST untuk pengenalan pola sinyal elektrokardiograf, menunjukkan bahwa pelatihan Levenberg-Marquardt lebih baik dibandingkan algoritma *backpropagation*[4].

2. Metode

2.1 Identifikasi Sistem

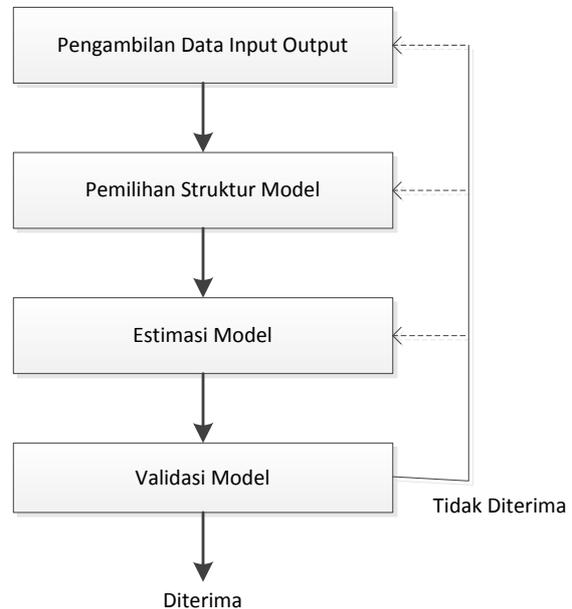
Identifikasi sistem adalah metode untuk mengetahui model matematis dari sistem dinamis dengan melakukan pengambilan data dari *input* dan *output* sistem. Secara umum proses identifikasi ditunjukkan oleh Gambar 1.

Untuk melakukan proses identifikasi sistem diperlukan langkah-langkah berikut:

1. Pengambilan data *input-output*
Tujuan dari pengambilan data adalah untuk mengumpulkan data yang mendeskripsikan bagaimana perilaku sistem dalam jangkauan operasinya[5].
2. Pemilihan struktur model
Masalah umum dari pemilihan struktur model terdiri dari 2, antara lain:[5]
 - 1.) Memilih “keluarga” dari struktur model yang dianggap tepat untuk mendeskripsikan sistem tersebut.
 - 2.) Memilih subset dari keluarga struktur model yang telah dipilih.
3. Estimasi model
Tujuan dari estimasi model adalah mendapatkan model yang memiliki prediksi hasil selanjutnya yang terbaik, dimana model ini memiliki error terkecil dari *output* sebenarnya dan *output* prediksi.

4. Validasi model

Validasi model adalah suatu proses untuk melihat seberapa dekat model hasil identifikasi dengan *plant* sebenarnya.



Gambar 1. Prosedur dasar identifikasi sistem[5]

2.2 Identifikasi Menggunakan Metode Jaringan Saraf Tiruan

Jaringan saraf tiruan (JST) merupakan cabang dari bidang ilmu kecerdasan buatan (Artificial Intelligence) yang terdiri dari sekelompok unit pemroses kecil yang dimodelkan berdasarkan jaringan saraf biologis manusia.

Gambar arsitektur umum jaringan saraf tiruan, seperti pada Gambar 2, terdiri dari:[3]

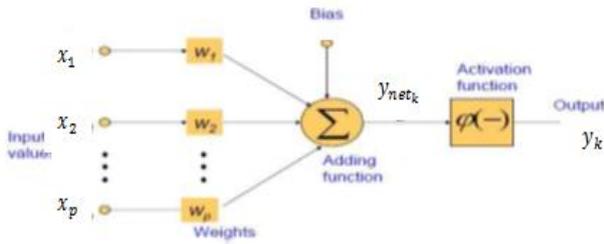
1. Himpunan jaringan (*links*) sebagai masukan dengan bobot w_1, w_2, \dots, w_p .
2. Sebuah fungsi tambahan (*Linear Combiner*) untuk menghitung jumlah bobot dari semua *input*.

$$y_{net_k} = w_{k0} + \sum_{j=1}^p z_j w_{kj} \quad (1)$$

3. Sebuah fungsi aktivasi (*squashing function*) untuk membatasi amplitudo dari keluaran jaringan.

$$y_k = \varphi (y_{net_k}) \quad (2)$$

4. Bias adalah sebuah unit masukan yang nilainya sama dengan 1.



Gambar 2. Arsitektur umum jaringan saraf tiruan[3]

Proses identifikasisistem menggunakan metode JSTmemiliki beberapa langkah, antara lain:[5]

1. Tahap Pengukuran Data
Merupakan tahap pengumpulan dan pengukuran data masukan dan keluaran dari suatu sistem yang akan diidentifikasi.
2. Tahap Pemilihan Model
Dalam pemilihan struktur model perlu memperhatikan sistem yang akan diidentifikasi. Misalnya, sistem tersebut *white box* (data masukan dan keluaran diketahui atau dapat diukur), *grey box* atau *black box* (hubungan data masukan dan keluaran tidak diketahui). Dalam tahap ini juga dilakukan penentuan orde model dan banyaknya *neuron* (pada lapis masukan, lapis tersembunyi dan lapis keluaran).
3. Tahap Pemilihan Fungsi Objektif
Salah satu fungsi objektif yang paling sering digunakan adalah *mean squared error* (mse)dengan rumus matematika seperti pada Persamaan 3.

$$mse = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (y_p - y_m)^2 \quad (3)$$

Dimana y_p adalah keluaran plant, y_m adalahkeluaran dari model JST.

4. Tahap Inisialisasi Bobot
Pada tahap ini adalah penentuan nilai bobot awal pada jaringan saraf tiruan. Biasanya bobot awal ditentukan dengan bilangan acak.
5. Tahap Optimisasi atau pelatihan
Optimisasi atau pelatihan digunakan untuk memperbaruibobot secara *online* maupun *offline* untuk menghasilkan model yang lebih akurat. Pelatihan secara *online* adalah proses peng-*update*-an bobot dilakukan secara periodik, sedangkan *offline* adalah proses pencarian bobot dengan mengumpulkan data masukan dan keluaran sebanyak beberapa *sample* terlebih dahulu. Ada banyak metode optimisasi, antara lain adalah *gradient descent* dan *back propagation*, *gauss-newton*, *levenberg-marquardt*, dan lain sebagainya.
6. Tahap Validasi
Validasi merupakan tahap penentuan, apakah model yang dirancang berdasarkan tahap 1-5 sudah layak digunakan atau belum. Kelayakan dari suatu model ditentukan dari galatantara keluaran model dengan

keluaran *plant*. Semakin kecil galat berarti semakin baik pemodelannya.

Algoritma pelatihan jaringan secara *online* dengan metode LM, yaitu:[6]

1. Menentukan inisial konstanta faktor LM (λ)
2. Menentukan kriteria pemberhentian pelatihan.. Jika kriteria tidak terpenuhi, maka melakukan tahap 3 – 6.
3. Menghitung perubahan parameter dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\Delta\theta = -(J^T J + \lambda I)^{-1} J^T e \quad (4)$$

dimana $\Delta\theta$ adalah perubahan parameter jaringan, λ adalah konstanta LM, I adalah matriks identitas, J adalah penurunan galatterhadap parameter, dan e adalah galat.

4. Menghitung parameter-parameter baru dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\theta(k) = \theta(k - 1) + \Delta\theta(k - 1) \quad (5)$$

dimana θ adalah $LW1, LW2, B1$ dan $B2$.

5. Meng-*update* λ dengan menggunakan persamaan berikut:

Jika fungsi objektif yang baru lebih besar daripada nilai sebelumnya, maka

$$\lambda_{baru} = \lambda_{lama} \beta \quad (6)$$

Sebaliknya, jika fungsi objektif yang baru lebih kecil daripada nilai sebelumnya, maka

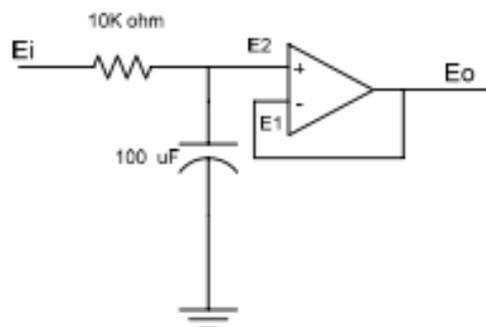
$$\lambda_{baru} = \frac{\lambda_{lama}}{\beta} \quad (7)$$

6. Kembali ke langkah 2.

3. Hasil dan Analisa

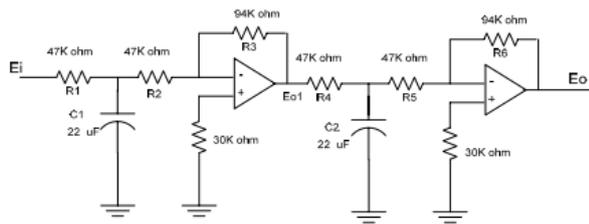
3.1 Perancangan Plant Simulator

Plant simulator orde 1 yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.



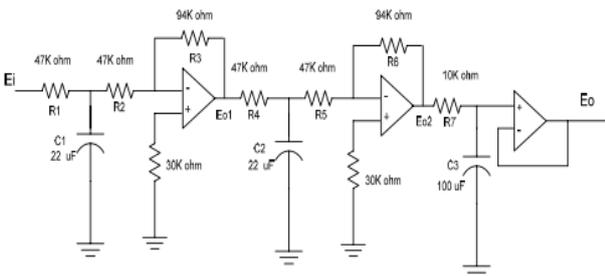
Gambar 3. Rangkaian op-amp orde 1

Plant simulator orde 2 yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 4.



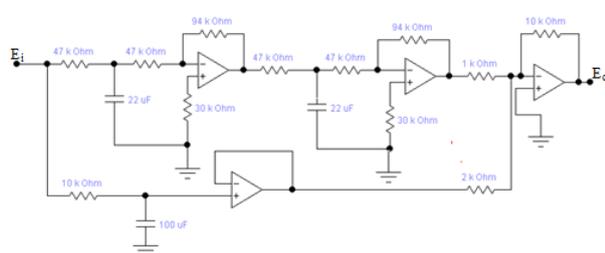
Gambar 4. Rangkaian op-amp orde 2

Plant simulator orde 3 seri yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 5.



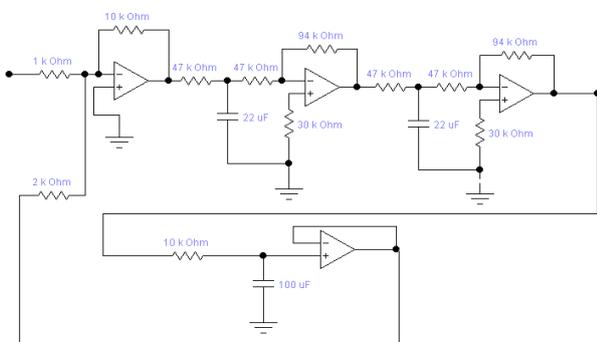
Gambar 5. Rangkaian op-amp orde 3, secara seri (cascade)

Plant simulator orde 3 paralel yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 6.



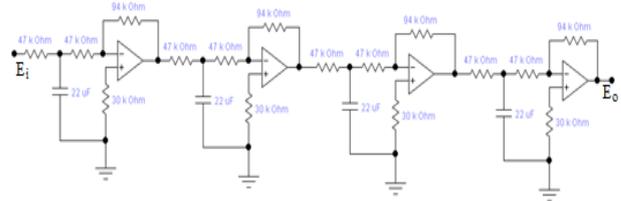
Gambar 6. Rangkaian op-amp orde 3, secara paralel

Plant simulator orde 3 feedback yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 7.



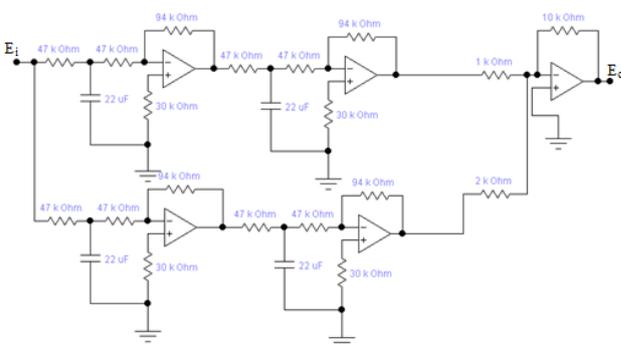
Gambar 7. Rangkaian op-amp orde 3, secara feedback

Plant simulator orde 4 seri yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 8.



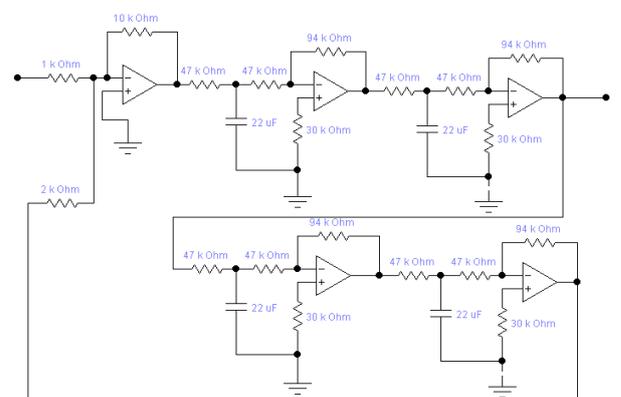
Gambar 8. Rangkaian op-amp orde 4, secara seri (cascade)

Plant simulator orde 4 paralel yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Rangkaian op-amp orde 4, secara paralel

Plant simulator orde 4 feedback yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 10.

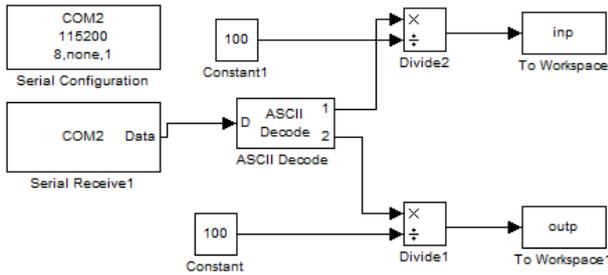


Gambar 10. Rangkaian op-amp orde 4, secara feedback

3.2 Perancangan Perangkat Lunak

3.2.1 Perancangan Penerimaan Data

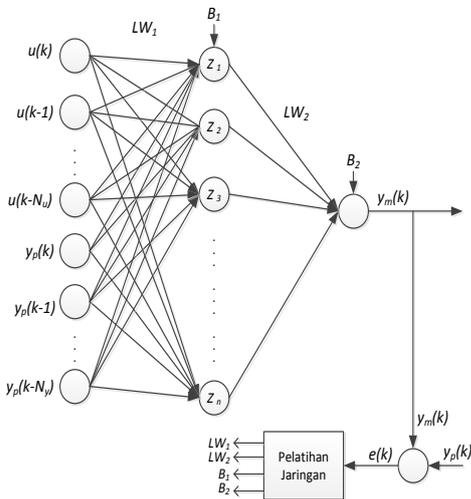
Data yang diambil pada penelitian ini adalah secara langsung (*online*), sehingga data *input* dan *output* merupakan data *real time*. Agar data *input* dan *output* dapat diambil secara *real time* digunakan blok Simulink seperti pada Gambar 11.



Gambar 11. Blok Simulink untuk komunikasi serial

3.2.2 Pemodelan

Pada penelitian ini pemodelan jaringan saraf tiruan menggunakan struktur model seri paralel NARX. Arsitektur jaringan disajikan pada Gambar 12.



Gambar 12. Struktur jaringan saraf tiruan untuk model

Dari struktur jaringan seperti pada Gambar 12 didapatkan jaringan model yang merepresentasikan sistem. Jaringan model tersebut dapat dilihat didalam sebuah persamaan berikut:

$$y_m(k) = LW_2 z(k) + B_2 bias \quad (9)$$

Dimana $z(k)$ adalah

$$z(k) = \varphi(LW_1(y_p(k-1), y_p(k-N_y), u(k-1), \dots, u(k-N_u)) + B_1 bias) \quad (10)$$

Inisialisasi bobot menggunakan bobot hasil pelatihan offline. Bobot pada pelatihan offline didapat dari bilangan random yang telah dilatih.

Pelatihan yang dilakukan pada penelitian ini adalah secara online, dimana pelatihnnya menggunakan metode Levenberg-Marquardt dan lama pelatihan dibatasi sebanyak 500 iterasi.

Variasi pengujian menggunakan beberapa skenario, dengan memvariasikan jumlah neuron yang digunakan dan nilai laju pembelajaran (λ).

Tabel 1. Variasi pengujian

| Skenario | Σ Neuron | Laju Pembelajaran, λ |
|----------|-----------------|------------------------------|
| 1 | 8 | 0,001 |
| 2 | 10 | 0,001 |
| 3 | 10 | 1 |
| 4 | 15 | 0,001 |
| 5 | 150 | 0,001 |

3.3 Analisa Hasil Identifikasi

3.3.1 Identifikasi Plant Simulator

Dari data-data hasil pengujian yang dilakukan pada plant simulator dapat kita rangkum dalam Tabel 2 sampai dengan Tabel 9 berikut:

Tabel 2. Data hasil identifikasi plant simulator orde 1

| Variasi | λ | Σ neuron | MSE |
|------------|-----------|-----------------|--------|
| Skenario 1 | 0,001 | 8 | 1,6692 |
| Skenario 2 | 0,001 | 10 | 0,3308 |
| Skenario 3 | 1 | 10 | 0,4081 |
| Skenario 4 | 0,001 | 15 | 1,4258 |
| Skenario 5 | 0,001 | 150 | 2,8236 |

Tabel 3. Data hasil identifikasi plant simulator orde 2

| Variasi | λ | Σ neuron | MSE |
|------------|-----------|-----------------|---------|
| Skenario 1 | 0,001 | 8 | 1,309 |
| Skenario 2 | 0,001 | 10 | 0,3204 |
| Skenario 3 | 1 | 10 | 0,5881 |
| Skenario 4 | 0,001 | 15 | 13,2626 |
| Skenario 5 | 0,001 | 150 | 4,4705 |

Tabel 4. Data hasil identifikasi plant simulator orde 3 seri

| Variasi | λ | Σ neuron | MSE |
|------------|-----------|-----------------|--------|
| Skenario 1 | 0,001 | 8 | 0,3384 |
| Skenario 2 | 0,001 | 10 | 1,4113 |
| Skenario 3 | 1 | 10 | 0,6998 |
| Skenario 4 | 0,001 | 15 | 0,2616 |
| Skenario 5 | 0,001 | 150 | 7,8254 |

Tabel 5. Data hasil identifikasi plant simulator orde 3 paralel

| Variasi | λ | Σ neuron | MSE |
|------------|-----------|-----------------|-------|
| Skenario 1 | 0,001 | 8 | 0,183 |
| Skenario 2 | 1 | 10 | 0,343 |
| Skenario 3 | 0,001 | 10 | 0,408 |
| Skenario 4 | 0,001 | 15 | 1,05 |
| Skenario 5 | 0,001 | 150 | 1,568 |

Tabel 6. Data hasil identifikasi plant simulator orde 3 feedback

| Variasi | λ | Σ neuron | MSE |
|------------|-----------|-----------------|--------|
| Skenario 1 | 0,001 | 8 | 0,2611 |
| Skenario 2 | 1 | 10 | 0,373 |
| Skenario 3 | 0,001 | 10 | 0,324 |
| Skenario 4 | 0,001 | 15 | 0,857 |
| Skenario 5 | 0,001 | 150 | 3,988 |

Tabel 7. Data hasil identifikasi plant simulator orde 4 seri

| Variasi | λ | Σ neuron | MSE |
|------------|-----------|-----------------|---------|
| Skenario 1 | 0,001 | 8 | 0,1881 |
| Skenario 2 | 0,001 | 10 | 0,2529 |
| Skenario 3 | 1 | 10 | 0,2803 |
| Skenario 4 | 0,001 | 15 | 4,1048 |
| Skenario 5 | 0,001 | 150 | 11,4655 |

Tabel 8. Data hasil identifikasi plant simulator orde 4 paralel

| Variasi | λ | Σ neuron | MSE |
|------------|-----------|-----------------|--------|
| Skenario 1 | 0,001 | 8 | 0,184 |
| Skenario 2 | 0,001 | 10 | 0,811 |
| Skenario 3 | 1 | 10 | 0,464 |
| Skenario 4 | 0,001 | 15 | 0,359 |
| Skenario 5 | 0,001 | 150 | 36,661 |

Tabel 9. Data hasil identifikasi plant simulator orde 4 feedback

| Variasi | λ | Σ neuron | MSE |
|------------|-----------|-----------------|-------|
| Skenario 1 | 0,001 | 8 | 0,246 |
| Skenario 2 | 0,001 | 10 | 0,252 |
| Skenario 3 | 1 | 10 | 0,332 |
| Skenario 4 | 0,001 | 15 | 0,688 |
| Skenario 5 | 0,001 | 150 | 5,098 |

Pemberian variasi jumlah neuron dan nilai laju pembelajaran akan memberikan hasil pembelajaran yang berbeda. Perbedaan ini bisa diperhatikan melalui nilai MSE saat identifikasi sistem tersebut.

Dengan menggunakan neuron sebanyak 150 buah, dapat menyebabkan nilai MSE yang besar. Hal ini dikarenakan semakin banyak neuron yang digunakan maka lama pelatihan juga akan semakin lama.

Sedangkan untuk nilai laju pembelajaran, diperlukan pemilihan yang sesuai. Nilai laju pembelajaran yang besar dapat membuat proses identifikasi mencapai kondisi konvergen dengan cepat, tetapi hal ini akan membuat error klasifikasi menjadi besar. Sedangkan nilai laju pembelajaran yang kecil dapat menghasilkan tingkat akurasi yang baik, tetapi membutuhkan waktu yang lama.

3.3.2 Validasi Hasil Identifikasi

Untuk tahap validasi, dipilih jaringan model hasil identifikasi dengan nilai MSE yang terkecil dari masing-masing sistem. Plant simulator dan jaringan model diberi masukan sinyal *ramp*. Data validasi tertera di Table 10.

Tabel 10. Data hasil validasi

| No. | Sistem | MSE |
|-----|-----------------|--------|
| 1 | Orde 1 | 0,1815 |
| 2 | Orde 2 | 0,2301 |
| 3 | Orde 3 Seri | 0,1274 |
| 4 | Orde 3 Paralel | 0,2999 |
| 5 | Orde 3 Feedback | 0,075 |
| 6 | Orde 4 Seri | 0,336 |
| 7 | Orde 4 Paralel | 0,0825 |
| 8 | Orde 4 Feedback | 0,3346 |

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan analisis sistem dapat disimpulkan beberapa hal:

1. Jaringan model hasil identifikasi menggunakan struktur model NARX dapat merepresentasikan karakteristik pada plant simulator.
2. Jaringan model dapat diperlihatkan dalam bentuk persamaan matematika tetapi tidak bisa dirubah menjadi persamaan Laplace.
3. Hasil identifikasi menggunakan model NARX memberikan hasil terbaik saat tahap validasi pada rangkaian orde 3 *feedback*, dimana nilai MSEnya adalah 0,075. Sedangkan nilai MSE yang diberikan paling besar adalah 0,3346, oleh jaringan model orde 4 *feedback*.

Referensi

- [1]. Indriati, Nikmah Dwi. *Identifikasi Parameter Sistem pada Plant Simulator secara On-Line*. Laporan Penelitian Teknik Elektro Undip, 2004.
- [2]. Jaroslaw B, . *NARX Model in Rotating Machinery Diagnostics*. 2011. Poland: BazTech, Mechanics and Control, Vol. 30, No. 2.
- [3]. Rahmat, Setiawan, Rachmad, dan Purnomo, Mauridhi Hery, *Perbandingan Algoritma Levenberg-Marquardt dengan Metoda Backpropagation pada Proses Learning Jaringan Saraf Tiruan untuk Pengenalan Pola Sinyal Elektrokardiograf*. Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi 2006.
- [4]. Jabbar, Achmad Abdul. *Desain Kontroler Adaptif Jaringan Saraf Tiruan untuk Pengaturan Kecepatan Stasioner pada Mesin Bensin*. Laporan Penelitian Teknik Elektro Undip, 2004.
- [5]. Nørgaard, M., Ravn, O., Poulsen, N.K. dan Hansen, L.K. *Neural Networks for Modelling and Control of Dynamic Systems*. 2000. Great Britain: Springer.
- [6]. Van Gorp, Jurgen, *Nonlinear Identification with Neural Networks and Fuzzy Logic*, Dienst Algemene Elektriciteit and Instrumentatie (ELEC) Pleinlaan 2, B-1050 Brussel, Belgium, 2000.
- [7]. Taufiq, Mochamad Nur, *Sistem Pengenalan Plat Nomor Polisi Kendaraan Bermotor Dengan Menggunakan Metode Jaringan Saraf Tiruan Perambatan Balik*, Laporan Penelitian Teknik Elektro Undip, 2012.