

**RANCANGAN IDENTIFIKASI SISTEM DAN STRUKTUR
PENGENDALI BERBASIS JARINGAN SYARAF TIRUAN PADA
PRESSURE PROCESS RIG (FEEDBACK 38-714)**

Ahmad Mahfud

Abstrak

Sampai dengan saat ini telah banyak dikembangkan sejumlah sistem pengendalian yang didasarkan pada konsep kendali linier maupun nonlinear. Salah satu metode sistem kendali tersebut adalah sistem kontrol yang didasarkan pada model kendali balik (Inverse System). Metode ini sangat bergantung pada kemampuan untuk menciptakan model sistem balik. Jaringan syaraf tiruan salah satu metode kendali yang dapat memodelkan berbagai sistem kendali non linear termasuk sistem kendali baliknya yang akan dibahas dalam tulisan ini.

Kemampuan Jaringan Syaraf Tiruan dalam hal nonlinearitas, adaptif dan mampu memetakan input dan output menjadi latar belakang penerapan prinsip JST sebagai pengendali peralatan uji laboratorium Pressure Process Rig. Teknik kendali balik Jaringan syaraf tiruan akan diterapkan sebagai pengendali melalui model pembalik pada sebuah plant/proses dengan metode Backpropagation.

Untuk pelatihan/training di JST, sistem data input-outputnya digenerasikan dengan uji tanggapan loop terbuka pada plant yang sesungguhnya, yang mana data tersebut dibagi menjadi dua, 25% data diterapkan untuk pelatihan dan 75% data lainnya digunakan untuk validasi (pengujian). Model akhir yang akan dituju adalah dalam bentuk inverse model JST, yang didasarkan pada sistem kendali JST. Kemampuan sistem kendali JST selanjutnya dibandingkan dengan hasil pengendalian sebelumnya yang telah dilakukan dengan metode PID.

Kata kunci : Jaringan Syaraf Tiruan, Sistem Kendali Balik, Identifikasi Sistem

PENDAHULUAN

Tekanan udara dalam beberapa industri manufaktur menempati posisi yang sangat menentukan terhadap kualitas maupun kuantitas hasil produksi. Ambil saja contoh pemanfaatan tekanan udara dalam proses pemisahan inti (kernel) terhadap cangkang (shell) pada sebuah pabrik kelapa sawit. Kernel adalah produk yang hendak diperoleh dengan kualitas dan kuantitas semaksimal mungkin, sedangkan cangkang adalah sisa hasil produksi yang harus dipisahkan sebagai limbah padat. Ketidak-stabilan dan kecepatan respon terhadap perubahan nilai *input set*, akan berdampak besar terhadap tekanan udara yang dihasilkan. Yang pada akhirnya akan berdampak pada kualitas dan kuantitas produksi inti (kernel).

Untuk melakukan proses pengendalian tekanan udara yang optimal, dengan metode yang

dapat beradaptasi dengan cerdas terhadap setiap perubahan sifat dari sistem yang ada, perlu dibuat suatu simulasi pengendalian tekanan udara dalam skala laboratorium dengan menggunakan metode yang mampu membaca dan mengenali kondisi input dan output dari sistem yang tersedia, serta mampu beradaptasi dengan fleksibel, sehingga dapat memberikan pengendalian yang lebih baik.

Pada tulisan ini dilakukan uji coba penerapan metode kendali balik langsung Jaringan Syaraf Tiruan, untuk mengendalikan tekanan udara pada peralatan Pressure Process Rig (Feedback 38-714). Kemampuan JST dalam proses pemetaan input – output dan beradaptasi, serta dapat memberikan respon yang jelas berdasarkan informasi yang tersedia, diharapkan mampu memberikan pengendalian yang lebih baik.

A. Pressure Process Rig

Obyek yang akan diteliti dalam tulisan ini adalah Pressure Process Rig (Feedback 38-714). Alat ini dapat digunakan untuk mendemonstrasikan prinsip-prinsip dari proses pengukuran dan pengendalian. Gambar 1. (kiri) adalah Pressure Process Rig, (kanan) komputer, Process Controller, dan Process Interface.



Gambar 1. *Pressure Process Rig*

Alat/sistem ini terdiri dari:

- Sebuah Pneumatic Control Valve,
- Sebuah I/P Converter,
- Sebuah Blok Orifice,
- Sebuah Flowmeter,
- Enam buah pengukur tekanan (Gauge),
- Dua buah Regulator tekanan,
- Sebuah Sensor tekanan,
- Sebuah Sensor perbedaan tekanan,
- Sebuah Air Receiver,
- Tujuh buah Valve, dan
- Beberapa buah saluran pipa yang menghubungkan komponen-komponen di atas.

Sistem ini membentuk sebuah sistem Single Input Single Output (SISO) dengan sumber input berupa air compressor. Sistem ini juga memungkinkan kita untuk dapat mempelajari operasi dari setiap komponennya dan mempelajari koneksi sistem tersebut ke

pengendali elektrik melalui transduser tekanan/ arus.

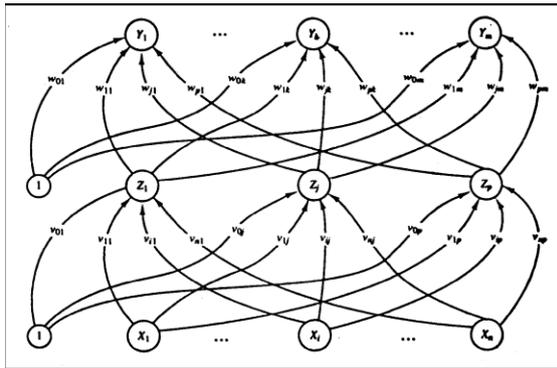
Sistem ini memiliki 2 buah Regulator (R1 dan R2), 6 buah indikator tekanan (G1, G2, ..., G6), dan 7 buah valve (V1, V2, ..., V7). Regulator R1 digunakan untuk mengendalikan tekanan yang diukur oleh G1. Regulator R2 digunakan untuk mengatur tekanan yang diukur oleh G3 atau G4 atau G5. Sementara indikator tekanan G6 digunakan untuk menunjukkan tekanan pada air receiver. Output yang akan dikendalikan pada sistem ini ada dua buah, yaitu tekanan pada G5 dan perbedaan tekanan antara G4 dan G5. Pressure transmitter (38-461) berfungsi mengubah output pressure sensor agar menjadi standard input yang sesuai bagi controller. Differential Pressure transmitter (38-462) berfungsi mengubah output differential pressure sensor agar menjadi standard input yang sesuai bagi controller. Untuk melengkapi sistem ini diperlukan Digital Display Module (38-490) yang digunakan sebagai indikator digital untuk tekanan, Process Interface (38-200), dan Process Controller (38-300).

Pemodelan dilakukan dengan mengambil data uji tanggapan (open loop respon) dari sebuah sinyal set point selama 15 detik dengan interval sampling 0,01 detik. Dihasilkan sejumlah 1500 data yang ditampilkan pada scope dengan menggunakan Matlab. Grafik respon yang muncul selanjutnya dimodelkan dengan metode Jaringan Syaraf Tiruan.

B. Jaringan Syaraf Tiruan

Artificial Neural Network (ANN) atau jaringan syaraf tiruan merupakan sebuah bentuk sistem pengolahan informasi yang diinspirasi dari jaringan syaraf biologis. Pada dasarnya back propagation terdiri tiga atau lebih lapisan

(multilayer). Arsitektur multilayer untuk jaringan back propagation ditunjukkan dalam gambar 2.



Gambar 2 Back propagation

Pada gambar 2 tersebut jaringan memiliki satu hidden layer (unit z). Unit lapisan bawah adalah lapisan input (input layer) yang merupakan satu satunya unit dalam jaringan yang menerima input dari luar. Lapisan tengah adalah hidden layer yang menghubungkan input dengan output layer. Hidden layer ini dapat berjumlah satu atau lebih lapisan. Sedangkan lapisan atas adalah output layer. Unit output (unit y) dan unit hidden memiliki bias. Bias pada unit output yk dinotasikan dengan w_{0k} dan bias pada unit hidden z_j dinotasikan sebagai v_{0j} . Bias ini berperilaku sama seperti bobot-bobot pada koneksi dengan output selalu 1. Lapisan paling atas adalah lapisan output (output layer). Pada Gambar 2, hanya digambarkan arah fase feedforward. Arah fase belajar pada back propagation adalah sinyal yang dikirim dengan arah kebalikannya.

Dalam back propagation, fungsi aktivasi yang paling sering digunakan adalah fungsi binary sigmoid dan fungsi bipolar sigmoid. Fungsi binary sigmoid memiliki range (0,1) dan didefinisikan sebagai:

$$f1(x) = \frac{1}{1+e^{-x}} \quad (1)$$

Sedangkan fungsi bipolar sigmoid memiliki range antara -1 hingga 1 dan didefinisikan sebagai:

$$f2(x) = \frac{1 - e^{-x}}{1 + e^{-x}} \quad (2)$$

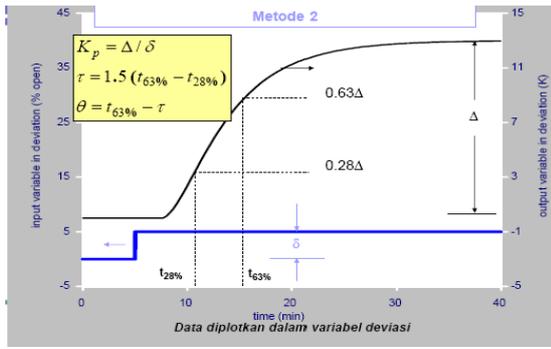
Dalam beberapa literatur disampaikan bahwa JST mempunyai sifat dan kemampuan dalam sistem kendali antara lain:

1. Nonlinieritas (Nonlinearity)
2. Pemetaan Input-Output (Input-Output Mapping)
3. Adaptivitas (Adaptivity)
4. Respon Yang Jelas (Evidential Response)
5. Informasi Yang Sesuai Dengan Keadaan (Contextual Information)
6. Toleransi Kesalahan (Fault Tolerance)
7. Kemampuan Implementasi Pada VLSI (VLSI Implementability)
8. Keseragaman Analisis Dan Perancangan (Uniformity of Analysis and Design)
9. Analogi Sel Syaraf Biologi (Neurobiological Analogy)

METODE PENELITIAN

A. Identifikasi Sistem Matematis

Identifikasi sistem matematis disusun berdasarkan kurva reaksi yang diperoleh dari uji tanggapan open loop. Pada uji tanggapan open loop, plant (pressure process rig) diberikan input step pada interval 1 sampai dengan 2 volt selama 15 detik, dengan interval sampling selama 0,01 detik. Dari uji tanggapan open loop tersebut diperoleh data tanggapan input terhadap output sebanyak 1500 data. Data ini selanjutnya diidentifikasi menjadi model sistem, sebagaimana yang dijelaskan oleh Thomas E. Marlin.



Gambar 3 Step input respon

$$\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{Kp \cdot e^{-\theta s}}{\tau s + 1} \quad (3)$$

dimana:

$$Kp = \frac{\Delta}{\delta} \quad (4)$$

$$\tau = 1,5 \cdot (t_{63\%} - t_{28\%}) \quad (5)$$

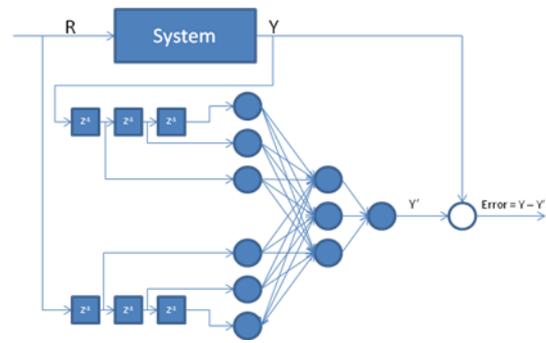
$$\theta = t_{63\%} - \tau \quad (6)$$

B. Identifikasi Sistem dengan JST

Sistem identifikasi merupakan usaha untuk mendapatkan deskripsi matematik (model) suatu sistem dinamik berdasarkan data pengukuran dan pengamatan yang diperoleh dari sistem tersebut. Sesuai dengan karakteristik yang dimiliki oleh JST, maka model yang dihasilkan oleh JST merupakan empirical model serta non-parametric model. Fokus utama dari sistem identifikasi dengan JST hanya untuk sistem non-linier yang dinyatakan sebagai berikut:

$$y(t+1) = f[y(t), \dots, y(t-n+1), u(t), \dots, u(t-m+1)]$$

Tahap identifikasi sistem ini dilakukan dengan membentuk jaringan syaraf neuron sebagaimana pada gambar berikut:



Gambar 4 Identifikasi Sistem dengan JST

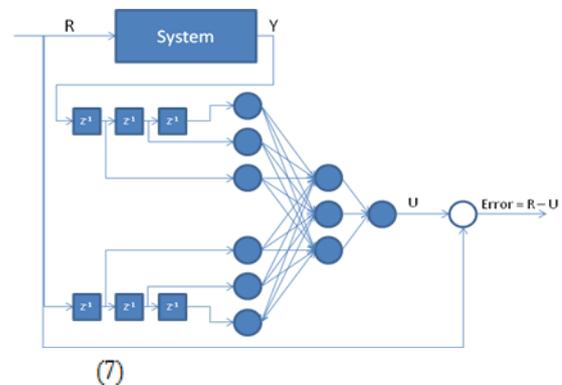
C. Identifikasi Inverse Sistem dengan JST

Tidak jauh berbeda dari identifikasi sistem diatas, hanya saja pada identifikasi inverse sistem ini menggunakan pendekatan bentuk sebagai berikut :

$$u(t) = f^{-1}[r(t+1), y(t), \dots, y(t-n+1), u(t), \dots, u(t-m+1)] \quad (8)$$

Nilai $y(t+1)$ disini merupakan unknown value (nilai yang tidak dikenal), dan oleh karena itu dapat disubstitusikan pada nilai kuantitas keluaran (output) yang diinginkan $r(t+1)$. Sebelum sistem kontrol aktual bekerja maka model inverse harus dilatih.

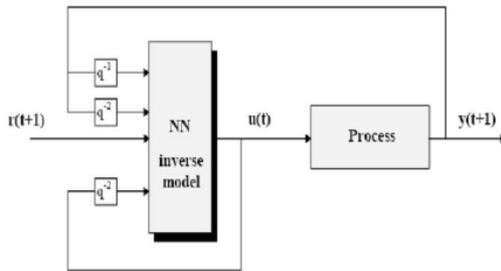
Model pelatihan dalam identifikasi inverse sistem ini digambarkan dalam jaringan neuron sebagai berikut:



Gambar 5 Identifikasi Inverse Sistem dengan JST

D. Direct Inverse NN Control

Direct inverse control merupakan salah satu penyelesaian yang dapat diterapkan pada sistem kontrol berbasis jaringan syaraf tiruan. Jika didiskripsikan, Direct Inverse Control merupakan kontrol yang dihubungkan secara seri antara model inverse (model kontrol JST) dan model forward (model plant JST).



Gambar 6 Blok diagram Direct Inverse Control

HASIL SIMULASI DAN PEMBAHASAN

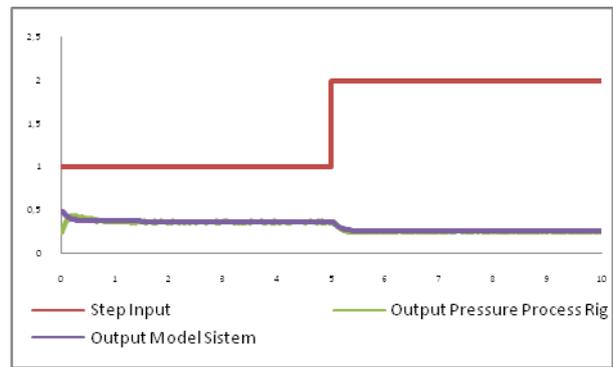
A. Identifikasi Sistem Matematis

Hasil pemodelan matematis yang didasarkan pada kurva reaksi pada saat uji tanggapan open loop, disimulasikan melalui Matlab toolbox, dengan memberikan unsur delay time dan step input pada interval 1 sampai dengan 2.



Gambar 7 Pengujian Model Sistem Matematis

Hasil pengujian dengan model matematis tersebut adalah sebagaimana pada gambar berikut:



Gambar 8 Perbandingan Output real plant dengan output model matematis

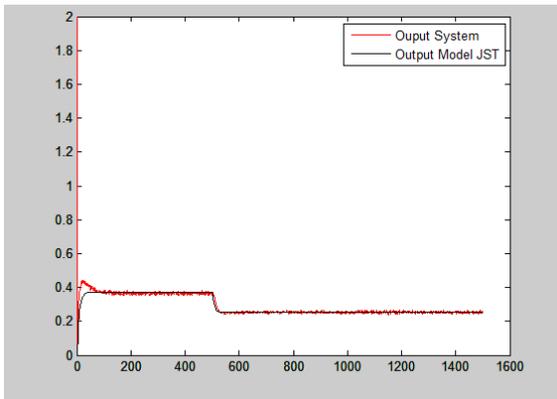
Pada gambar 8 nampak bahwa output model dan output real plant telah sama. Dalam hal ini menunjukkan model sistem telah sesuai.

B. Identifikasi Sistem dengan JST

Pemodelan sistem dilakukan dengan dua tahap, yaitu training dan pengujian. Dalam proses training dan pengujian ini digunakan 1500 data, dimana untuk training digunakan 300 data, sedangkan 1200 data sisanya digunakan untuk pengujian. Dalam identifikasi sistem tersebut baik selama training maupun pengujian, data real plant tersebut merupakan target model JST.

Arsitektur JST dalam pemodelan tersebut menggunakan enam input node, 3 hidden node dan 1 output node. Fungsi aktivasi yang diterapkan baik dari input ke hidden maupun dari hidden ke output adalah menggunakan fungsi aktivasi bipolar. Hal ini disebabkan karena kurva sistem memiliki nilai negatif, tetapi kurang dari 1, sehingga masih dapat diterapkan fungsi aktivasi bipolar. Training dilakukan dengan menggunakan learning rate 0,2 dan momentum 0,3. Error yang diperoleh adalah 1.4232×10^{-4} .

Grafik hasil pengujian sistem JST yang terbentuk adalah sebagai berikut:



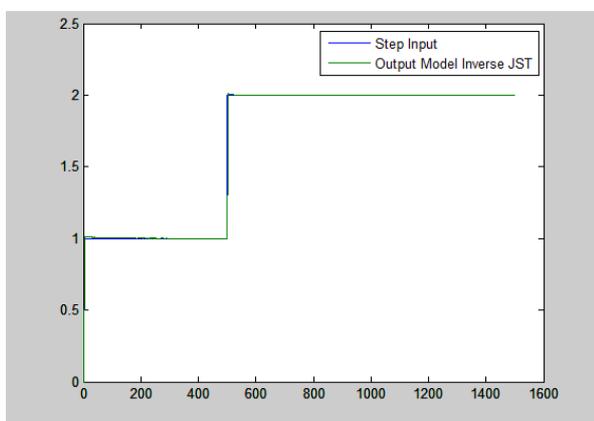
Gambar 9 Perbandingan output real plant dan output identifikasi sistem JST

C. Identifikasi Inverse Sistem dengan JST

Hampir sama seperti pada proses identifikasi sistem sebelumnya, identifikasi inverse sistem yang merupakan pemodelan controller dengan JST memiliki langkah yang sama. Yang membedakan keduanya hanya pada struktur JST yang digunakan dan pasangan data input-outputnya.

Pada tahap ini digunakan fungsi aktivasi yang sama yaitu fungsi aktivasi bipolar. Dengan 6 input node, 3 hidden node dan 1 output node.

Grafik hasil inverse sistem adalah sebagai berikut :



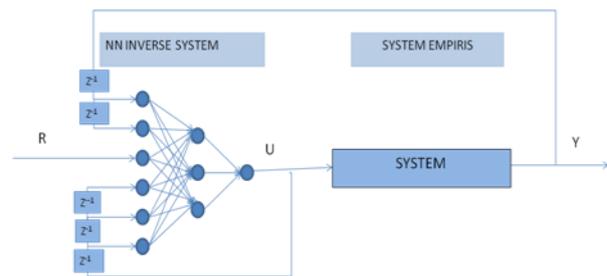
Gambar 10 Hasil pengujian Inverse Sistem terhadap sinyal input step

D. Direct Inverse Control

Dari pemodelan plant dan pemodelan kontroler dengan JST yang telah dilakukan

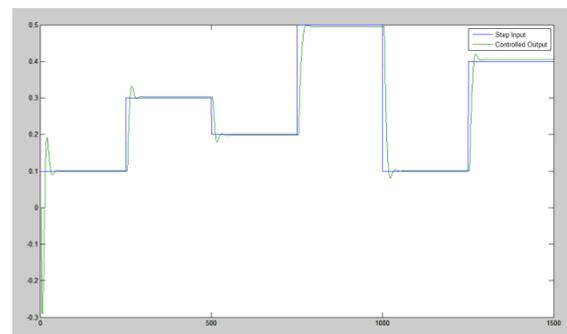
sebelumnya, didapatkan bobot dari pemodelan plant yang berupa bobot untuk plant dan bobot untuk kondisi inverse plant. Bobot-bobot tersebut disimpan dalam file tersendiri untuk selanjutnya digunakan dalam simulasi direct inverse control.

Struktur DIC disusun dengan diawali dari input (R) ke inverse model sistem sebagai pengendali. Output berupa sinyal termanipulasi (U) diteruskan ke sistem, sehingga diperoleh sinyal terkendali (Y). Struktur selengkapnya sebagai berikut,



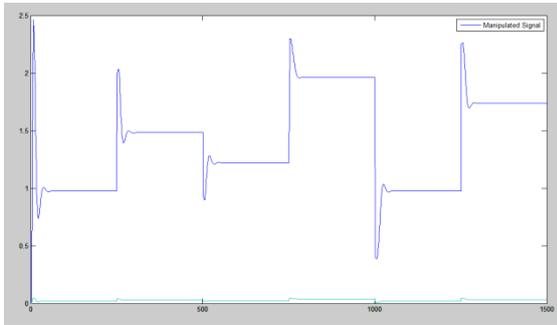
Gambar 11 Struktur kendali balik JST

Untuk menguji DIC ini, dilakukan uji respon dengan memberikan nilai set point yang berbeda pada sistem kendali. Berikut tanggapan respon Direct Inverse Control terhadap nilai set point yang diberikan:



Gambar 12 Perbandingan respon kendali DIC terhadap set point

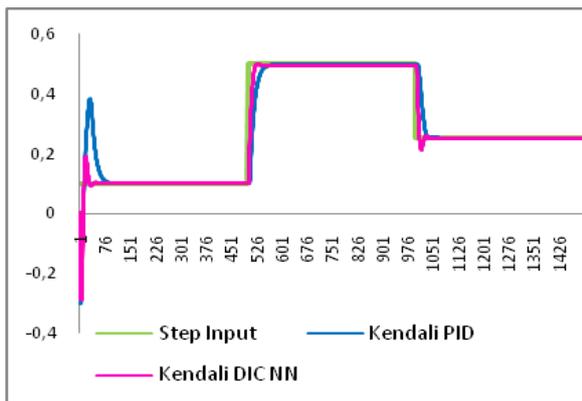
Sinyal termanipulasi (U) yang terbentuk akibat inverse sistem adalah sebagai berikut :



Gambar 13 Manipulated Signal sebagai hasil output kendali balik

E. Perbandingan Performa DIC dan PID

Sistem kendali DIC yang telah terbentuk dibandingkan dengan sistem kendali konvensional PID yang telah banyak diterapkan dilingkungan industri, untuk mengendalikan plant yang sama (pressure process rig). Dari perbandingan tersebut nampak bahwa performa sistem DIC lebih baik dari pada performa PID. Khususnya untuk mencapai rise time yang lebih cepat tanpa terbentuk overshoot yang terlalu tinggi.



Gambar 14. Perbandingan hasil respon kendali PID dan DIC

Rise time yang diperlukan oleh PID agar sinyal output dapat mencapai nilai akhir sama dengan nilai input (reference) adalah sebesar 0,7 detik. Sedangkan dengan menggunakan Direct Inverse Controller, rise time yang diperlukan hanya 0,38 detik, yang berarti dengan

menggunakan DIC-NN maka rise time dapat dipercepat sebesar 0,32 detik tanpa menyebabkan overshoot.

KESIMPULAN DAN SARAN

Perkembangan sistem kendali yang lebih mutakhir menuntut adanya sistem kendali yang mampu beradaptasi secara fleksibel dalam memetakan input dan output suatu sistem. Performa DIC yang mampu memetakan input dan output sistem secara langsung, tanpa melalui rumusan matematis merupakan kandidat pengendali yang handal.

Kemampuan memanipulasi sebuah sinyal agar dapat mengikuti nilai akhir yang dikehendaki dengan kecepatan rise time tertentu merupakan kelebihan sistem DIC dari sistem konvensional (PID). Namun demikian sistem ini masih dapat dikembangkan dalam model pengembangan yang lebih tahan terhadap sinyal gangguan (disturbance), maupun pengembangan dalam model yang lebih handal dari DIC itu sendiri.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anonim, "Procon Pressure Control Trainer", Feedback Instrument Ltd.,
- [2] Benyamin Kusumoputro, "Jaringan Neural Network", (Depok: Universitas Indonesia), hal 3-4.
- [3] F.G.Shinsky, "Process control systems" McGraw Hill higher Education, II Rev Ed, 1979.
- [4] Jong Jek Siang, (2005) "Jaringan Syaraf Tiruan & Pemrogramannya Menggunakan Matlab", ANDI, Yogyakarta.
- [5] Paul M.J. Van den Hof and Raymond A. de Callafon, "CONTROL SYSTEMS,

ROBOTICS, AND AUTOMATION”, Vol.
V

- [6] Thomas E. Marlin, “Process Control, Designing Processes and Control Systems for Dynamics Performance”, McGraw-Hill, New York, 1995.