

Perancangan Kontroler *Neural Network Pi* untuk Sistem Pengaturan *Level* dengan Metode *Decoupling* Pada *Plant Coupled Tank*

Kresna KSP, Rusdhianto Effendie

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111

E-mail: kresnakartika@rocketmail.com, Rusdhi@elect-eng.its.ac.id

Abstrak— Pada industri proses yang melibatkan fluida, suatu fluida akan dipompa dan dialirkan dari satu tangki ke tangki yang lain untuk diolah. Pemindahan cairan dari satu tangki ke tangki yang lain menyebabkan berubahnya *level* fluida dalam tangki. Dalam pengaturan *level*, pemindahan cairan biasa disebut sebagai pembebanan pada *level*. proses *decoupling* digunakan untuk mengubah dimana proses MIMO menjadi SISO agar lebih mudah dikontrol. Perubahan beban ini dapat mempengaruhi dari kinerja kontroler.. Kontroler yang banyak digunakan di industri proses adalah kontroler PI karena kesederhanaan struktur dan keahliannya. Pada penerapan kontroler PID *tuning* parameter kontroler sering dilakukan dengan prosedur *trial and error*. Untuk tetap memenuhi spesifikasi kontrol yang diharapkan maka perlu dilakukan *tuning* ulang parameter kontroler PI. Kontroler PI *Neural Network* ini didesain untuk dapat melakukan *tuning* pada parameter kontroler PI sehingga dapat mengatasi perubahan parameter pada *plant* dan menjaga performa dari *plant*. setelah itu didapatkan performa dari *plant* yaitu berupa *error steady state* 0.032% kemudian nilai K_p dan nilai K_i yaitu 15,043 dan 0.8071.

Kata Kunci—*Neural Network, Coupled tanks, Dekopling, Kontroler PI*

I. PENDAHULUAN

Sistem pengendalian di industri merupakan faktor yang sangat penting dalam proses produksi. Agar produksi tetap tercapai, maka suatu sistem pengendalian sangat diperlukan untuk menjaga kestabilan variabel proses. Variabel proses antara lain *temperature, pressure, flow, level, konsentrasi, volume* dan lain sebagainya.

Coupled Tank tersusun dari dua buah tangki yang dihubungkan oleh sebuah pipa atau lubang saluran. *Level* cairan pada tangki pertama ditunjukkan sebagai H_1 dan H_2 adalah *level* tangki kedua. Bila *input* kontrol adalah *flow* Q_1 , maka variabel yang akan dikontrol adalah kedua *Level* H_1 dan H_2 , dengan *disturbance* yang disebabkan oleh variasi *flow* pada *valve* A, *valve* B. Disini akan timbul suatu sistem dengan dua tangki saling berinteraksi.

Sistem *Coupled Tank* dapat dikonfigurasi sebagai sistem SISO atau sebagai Sistem MIMO melalui manipulasi *input* dan *sectional* daerah *valve*.

Sistem pengaturan merupakan otak dari *plant level Coupled Tank*. Dengan sistem pengaturan, *plant level* dapat digunakan untuk melakukan sesuatu yang berguna. Pengaturan didapat

dari komponen yang mengubah kecepatan aliran air dan volume aliran guna mengatur *level* air yang diinginkan. Komponen pengaturan biasanya diletakkan pada tempat yang berbeda-beda.

Pemodelan *coupled tanks* termasuk kategori sistem nonlinear yang memiliki banyak ketidakpastian. Ketidakpastian tersebut dapat berupa gangguan eksternal, ketidakpastian model, variasi parameter, ataupun error yang muncul pada saat linierisasi. Ketidakpastian-ketidakpastian ini dapat mempengaruhi kestabilan sistem jika tidak diantisipasi oleh sistem kontrol. Selain itu, pemodelan *coupled tanks* menggunakan konfigurasi sistem *Multi Input Multi Output* (MIMO) [1]. Sehingga variabel yang diatur pada *coupled tanks* mengalami kesulitan mengikuti sinyal referensi berupa beberapa kondisi titik operasi yang diinginkan [2].

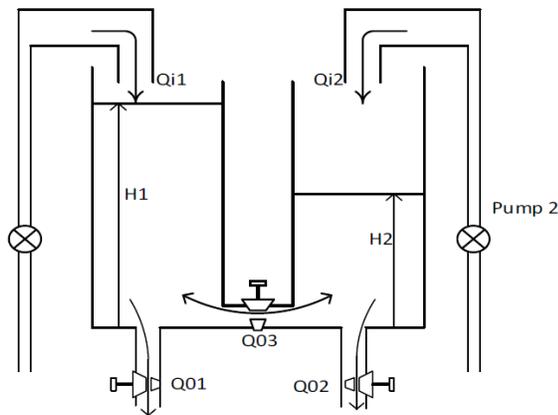
Untuk mengatasi permasalahan tersebut dibuatkan model sistem kontrol menggunakan dekopling untuk mengatur konfigurasi *plant* MIMO dan kontrol PI untuk mengatur *level*. Namun penentuan parameter dengan menggunakan metode *try and error* tidak efektif karena harus mencoba berulang kali untuk mendapatkan hasil optimal. Maka pada penelitian ini digunakan metode PI dan menggunakan *neural network* untuk *tuning* parameter dari kontroler. Kemudian *plant* dan sistem kontrol disimulasikan menggunakan *software* MATLAB

II. TEORI DASAR

A. *Coupled Tanks* [1],[2]

Coupled Tank tersusun dari dua buah tangki yang dihubungkan oleh sebuah pipa atau lubang saluran. *Level* cairan pada tangki pertama ditunjukkan sebagai H_1 dan H_2 adalah *level* tangki kedua. Bila *input* kontrol adalah *flow* Q_1 , maka variabel yang akan dikontrol adalah kedua *Level* H_1 dan H_2 , dengan *disturbance* yang disebabkan oleh variasi *flow* pada *valve* A, *valve* B. Disini akan timbul suatu sistem dengan dua tangki saling berinteraksi.

Sistem *Coupled Tank* dapat dikonfigurasi sebagai sistem SISO atau sebagai Sistem MIMO melalui manipulasi *input* dan *sectional* daerah *valve*.



Gambar 1. Sistem Coupled Tank

Level cairan pada tangki pertama ditunjukkan sebagai H_1 dan H_2 untuk level tangki kedua. Flow cairan yang masuk pada tangki dilambangkan sebagai Q_i . Untuk flow cairan yang keluar dari tangki ditunjukkan sebagai Q_b untuk tangki pertama, Q_c tangki kedua, dan Q_a sebagai flow interaksi antara tangki pertama dan tangki kedua. Sistem Coupled Tanks dapat dikonfigurasi sebagai sistem Single Input Single Output (SISO), Multi Input Multi Output (MIMO), atau Single Input Multi Output (SIMO) berdasarkan manipulasi masukan pada pompa dan daerah kerja dari rotary valve yang terdapat pada plant Coupled Tanks.

Berdasarkan hukum kesetimbangan massa, persamaan dinamis setiap tangki adalah:

$$A_1 \frac{dH_1}{dt} = Q_{i1} - Q_{o1} + Q_{o3} \tag{II.1}$$

$$A_2 \frac{dH_2}{dt} = Q_{i2} - Q_{o2} - Q_{o3} \tag{II.2}$$

Dimana, H_1 , H_2 masing-masing adalah tinggi dari cairan pada tangki 1 dan 2, A_1 dan A_2 adalah luas penampang tangki 1 dan tangki 2. Q_{o3} adalah debit air yang keluar dari tangki 1 menuju tangki 2. Q_{i1} dan Q_{i2} adalah debit air dari pompa masing-masing menuju tangki 1 dan tangki 2. Q_{o1} dan Q_{o2} adalah debit air keluar masing-masing dari tangki 1 dan tangki 2.

Dari Persamaan Bernoulli untuk cairan non-kental, mampat cairan dalam aliran didapatkan persamaan sebagai berikut.

$$Q_{o1} = \beta_1 \cdot a \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_1} = \beta_1 \cdot a \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_1}$$

$$Q_{o2} = \beta_2 \cdot a \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_2} = \beta_2 \cdot a \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_2}$$

$$Q_{o3} = \beta_x \cdot a \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot |H_2 - H_1|} = \beta_x \cdot a \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot |H_2 - H_1|}$$

dimana, a_1 , a_2 , dan a_3 merupakan konstanta proporsional dimana bergantung dari koefisien debit area yang saling silang dan konstan gravitasi. Dengan menggunakan nilai dari (2.3) ke (2.5) di (2.1) dan (2.2) persamaan nonlinear menggambarkan dinamika multi-input dan multi-output sistem berasal.

Dinamika plant ini dapat dimodelkan dengan persamaan diferensial sebagai berikut:

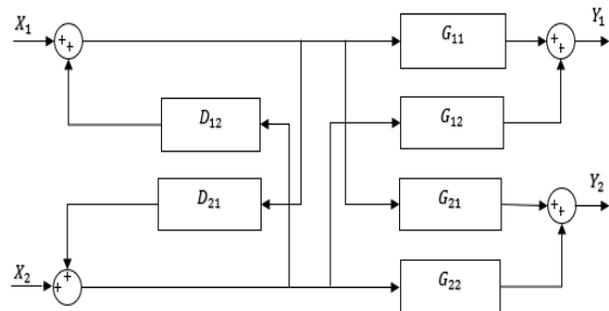
$$A_1 \frac{dH_1}{dt} = q_1 - \frac{\beta_1 a \sqrt{g}}{2\sqrt{H_1}} h_1 + \frac{\beta_x a \sqrt{g}}{2\sqrt{|H_2 - H_1|}} (h_2 - h_1)$$

$$A_2 \frac{dH_2}{dt} = q_2 - \frac{\beta_2 a \sqrt{g}}{2\sqrt{H_2}} h_2 - \frac{\beta_x a \sqrt{g}}{2\sqrt{|H_2 - H_1|}} (h_2 - h_1)$$

B. Dekoupling [3]

Dekoupling digunakan pada plant coupled tank karena plant ini sendiri bersifat MIMO sehingga terjadi interaksi antar input untuk meminimalisir/menghilangkan interaksi maka diperlukan dekoupling.

Desain dekoupling pada plant dapat dimodelkan sebagai berikut :



Gambar 2. Plant dengan Decoupling

Dekoupler dirancang untuk mengkompensasi interaksi proses yang tidak diinginkan. Untuk memperoleh persamaan pada tiap dekoupler maka dilakukan analisa terpisah pada tiap input-output

Berikut persamaanya untuk mencari nilai D_{12} :

$$(G_{11}D_{12} + G_{12})X_2 = 0$$

$$G_{11}D_{12} + G_{12} = 0$$

$$D_{12} = -G_{12} / G_{11}$$

Kemudian untuk mencari nilai D_{21} berikut persamaannya :

$$(G_{22}D_{21} + G_{21})X_1 = 0$$

$$G_{22}D_{21} + G_{21} = 0$$

$$D_{21} = -G_{21} / G_{22}$$

III. PERANCANGAN SISTEM

A. Pemodelan Sistem

Model matematis dari sistem dengan memanfaatkan hukum fisika maka didapat

$$A_1 \frac{dH_1}{dt} = Q_{i1} - Q_{o1} - Q_{o3} \tag{3.1}$$

$$A_2 \frac{dH_2}{dt} = Q_{i2} - Q_{o2} - Q_{o3} \tag{3.2}$$

$$Q_{o1} = s_1 \cdot a_0 \sqrt{2g} \cdot \sqrt{H_1} = \alpha_1 \cdot \sqrt{H_1} \tag{3.3}$$

$$Q_{o2} = s_2 \cdot a_0 \sqrt{2g} \cdot \sqrt{H_2} = \alpha_2 \cdot \sqrt{H_2} \tag{3.4}$$

$$Q_{o3} = s_1 \cdot a_0 \sqrt{2g} \cdot \sqrt{H_1 - H_2} = \alpha_3 \cdot \sqrt{H_1 - H_2} \tag{3.5}$$

$$A_1 \frac{dH_1}{dt} = Q_{i1} - \alpha_1 \cdot \sqrt{H_1} - \alpha_1 \cdot \sqrt{H_1 - H_2} \tag{3.6}$$

$$A_2 \frac{dH_2}{dt} = Q_{i2} - \alpha_2 \cdot \sqrt{H_2} - \alpha_2 \cdot \sqrt{H_1 - H_2} \quad (3.7)$$

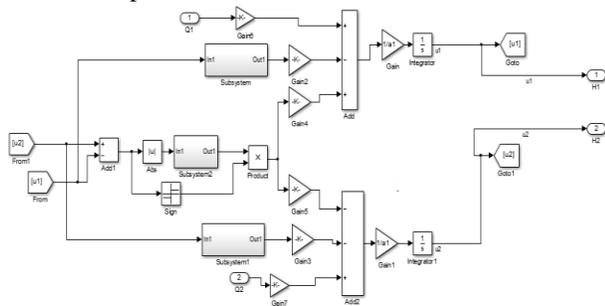
Dimana :

Tabel III.1

Paramater Pemodelan Plant Nonlinier

Simbol	Keterangan	Satuan	nilai
A	Luas penampang	cm ²	66,25
			0,1963
A	Luas penampang lubang keluaran tangki 1 dan 2 dan saluran penghubung antara tangki 1 dan 2	cm ²	
β_1, β_2	Rasio bukaan katup (valve) pada lubang keluaran tangki 1 dan 2		0,35903
β_x	Rasio valve antara tangki 1 dan 2		0,38705
g	Gravitasi	m ² /s	9,8
Q_{i1}	Debit air yang masuk pada tangki 1	Cm ³ /s	2,88
Q_{i2}	Debit air yang masuk pada tangki 2	Cm ³ /s	2,588

Setelah memasukkan semua parameter dan kemudian disimulasikan pada *matlab*



Gambar 3. Simulasi Model Nonlinier

Setelah dilakukan semua parameter dimasukkan ke dalam pemodelan matematika kemudian dilakukan simulasi close dengan model Nonlinier untuk menghasilkan model linier dalam bentuk transformasi *laplace*.

Simulasi dilakukan dengan cara memberikan respon *unit step* pada simulasi close model nonlinier sebagai nilai *input* dari *plant* kita mendesain model linier dengan memberikan nilai *input* satu pada setiap nilai *input* 1 dan *input* 2 setelah itu kita melihat berapa nilai *gain* k yang didapatkan tiap model dan nilai *steady state* tiap respon untuk mencari nilai τ , tiap model linier kemudian yang akan dibentuk dalam transformasi *laplace*.

Berikut hasil dari pemodelan linier dengan cara pendekatan respon *close loop* model nonlinier:

$$G_{11} = \frac{0,7874}{21s + 1}$$

$$G_{12} = \frac{0,0946}{31s + 1}$$

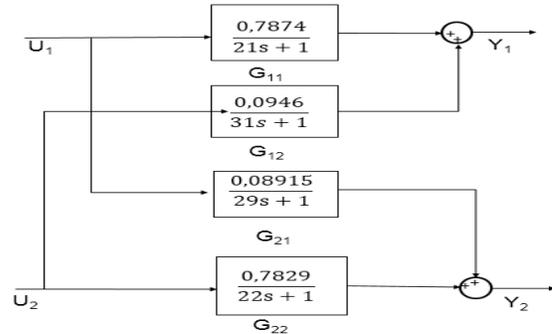
$$G_{21} = \frac{0,08915}{29s + 1}$$

$$G_{22} = \frac{0,7829}{22s + 1}$$

Bentuk *transfer function* hasil dari identifikasi sistem sebelumnya yaitu :

$$\begin{bmatrix} h1(s) \\ h2(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G11(s) & G12(s) \\ G21(s) & G22(s) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u1(s) \\ u2(s) \end{bmatrix}$$

Dengan $u1, u2, h1, h2$ merupakan nilai dari debit air yang masuk untuk tangki 1 dan 2 serta tinggi tangki 1 dan tangki 2



Gambar 4. Transfer Function Plant

B. Dekoupling MIMO

Persamaan dekoupling didapat dari memasukkan nilai matriks *transfer function Coupled Tank Plant* yang telah didapatkan Persamaan matriks didapat dari penghitungan sebagai berikut:

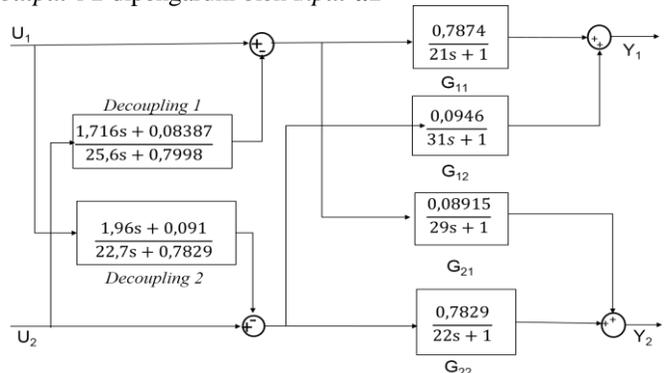
$$D(s) = \begin{bmatrix} 1 & \frac{-G_{12}(s)}{G_{11}(s)} \\ \frac{-G_{21}(s)}{G_{22}(s)} & 1 \end{bmatrix}$$

Transfer Function yang didapat adalah sebagai berikut:

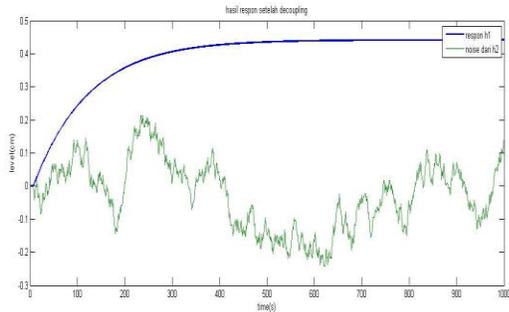
$$D_{12}(s) = \frac{1,716s + 0,08387}{25,6s + 0,7998}$$

$$D_{21}(s) = \frac{1,96s + 0,0891}{22,7s + 0,7829}$$

Gambar dekoupling sistem pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3.3. Dengan adanya metode dekoupling pada sistem, maka *output* $Y1$ hanya dipengaruhi oleh *input* $u1$. Sedangkan *output* $Y2$ dipengaruhi oleh *input* $u2$

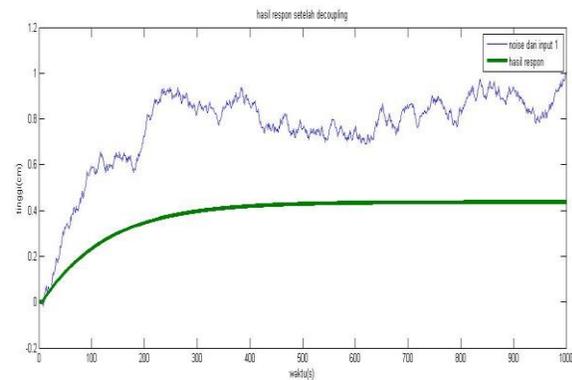


Gambar 5. Hasil Dekoupling



Gambar 6. Pengujian Respon Tangki 1

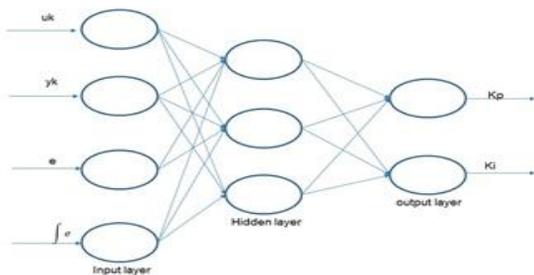
Setelah diperoleh nilai dekopler D_{12} dan D_{21} , maka perlu diuji apakah dekopler sudah dapat menghilangkan interaksi antar input. Pengujian dekopling dilakukan dengan memberi sinyal random dari input u_2 . Hasil respon pada sistem saat input u_2 diberi gangguan ditunjukkan pada Gambar 10 dan Gambar 11.



Gambar 7. Pengujian Respon Tangki 2

C. Perancangan Kontroler

Kontroler PI-Neural Network terdiri atas kontroler PI sebagai kontroler utama dan Neural Network sebagai algoritma cerdas yang dapat melakukan tuning parameter kontroler PI. Gambardibawah merupakan struktur dari neural network untuk nilai Kp



Gambar 8. Struktur Neural Network [5]

Algoritma pembelajaran neural-network yang dipakai adalah feed forward. Input layer neural-network berupa nilai tegangan beban. Persamaan input layer neural-network ditunjukkan pada persamaan

$$O_j^1 = x(j), (j = 1, 2, \dots, M)$$

M merupakan jumlah variabel input pada input layer, pada neural network digunakan 4 variabel input. Variabel input dari input layer kemudian menuju output layer.

$$net^1 = \sum_{j=0}^M w_j^1 O_j^1$$

$$O^2 = purelin(net^1)$$

Untuk merivisi bobot neural-network dipakai algoritma gradient steepest descent sehingga dipenuhi kriteria error kuadrat tiap saat minimum. Formulasi kriteria error kuadrat tiap saat minimum ditunjukkan pada persamaan :

$$E(k) = \frac{1}{2} (r(k) - y(k))^2 = \frac{1}{2} e^2(k)$$

$$w_{ii}^{(3)}(k+1) = w_{ii}^{(3)}(k) + \Delta w_{ii}^{(3)}(k)$$

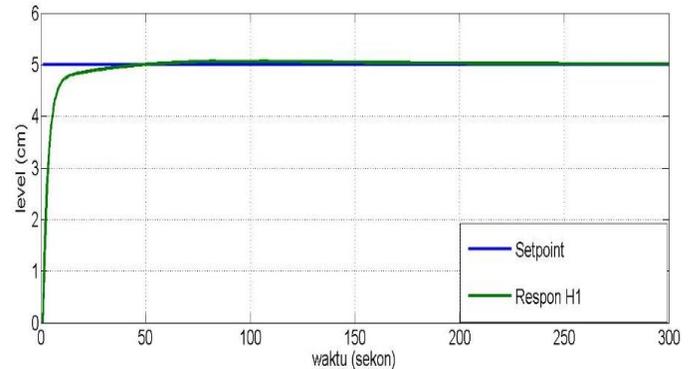
$$\Delta w_{ij}^{(2)}(k) = \alpha \Delta w_{ij}^{(2)}(k-1) \cdot \delta_i^{(2)} O_j^{(1)}(k)$$

IV. HASIL DAN ANALISA

Simulasi dari coupled tank dikatakan baik apabila respon dari tangki 1 dan tangki 2 dapat mengikuti setpoint serta dapat menghilangkan interaksi antara tangki 1 dan tangki 2 setelah dilakukan dekopling

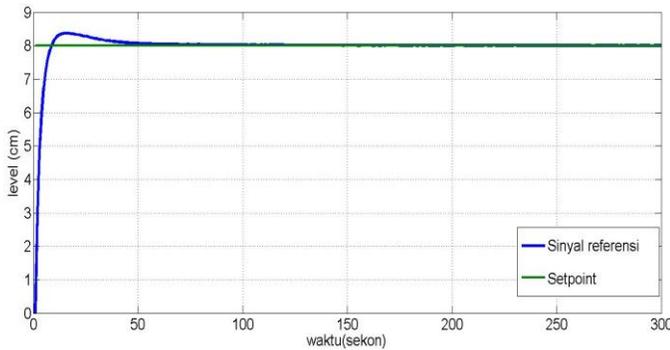
Proses pencarian parameter Kp dan Ki menggunakan Algoritma neural network secara online dengan menggunakan model linier maupun model nonlinier plant.

Pada tugas akhir kali ini kita menggunakan 4 kali percobaan yang berbeda beda dengan parameter yang berbeda beda juga.



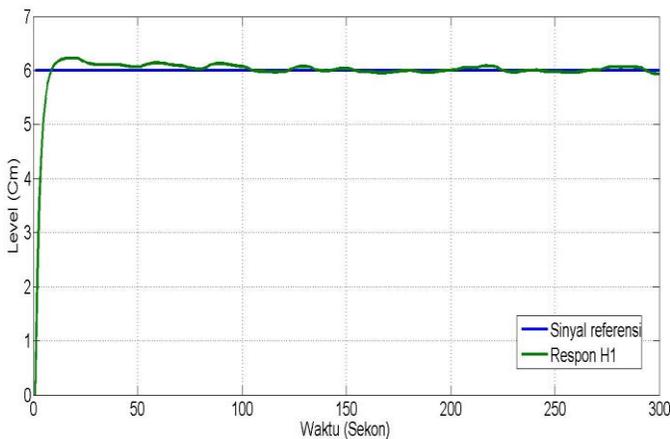
Gambar 9. Hasil Simulasi untuk Tangki 1 Model Linier

Berdasarkan pada Gambar 13 didapatkan bahwa interaksi antara tangki 1 dan tangki 2 sudah dapat dihilangkan dan serta respon pada tangki 1 sudah bisa mencapai setpoint dengan parameter nilai Kp dan Ki sebesar 12,987 dan 0,432



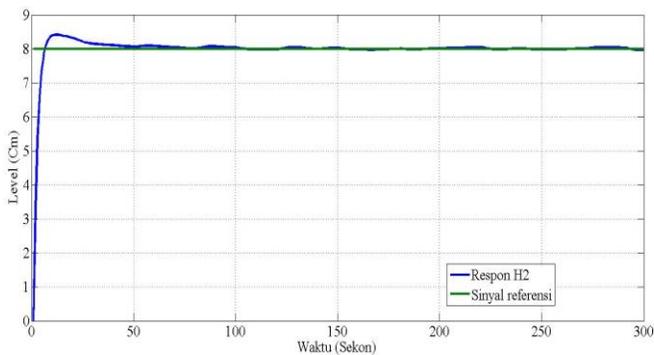
Gambar 10. Hasil simulasi untuk tangki 2 model linier

Berdasarkan pada Gambar 14 didapatkan bahwa interaksi antara tangki 1 dan tangki 2 sudah dapat dihilangkan dan serta respon pada tangki 2 sudah bisa mencapai *setpoint* dengan parameter nilai K_p dan K_i sebesar 12,987 dan 0,732



Gambar 11. Hasil simulasi untuk tangki 1 model nonlinier

Berdasarkan pada Gambar 15 didapatkan bahwa interaksi antara tangki 1 dan tangki 2 sudah dapat dihilangkan dan serta respon pada tangki 1 sudah bisa mencapai *setpoint* dengan parameter nilai K_p dan K_i sebesar 13,987 dan 0,432 terdapat *error steady state* sebesar 0,025%.



Gambar 12. Hasil Simulasi untuk tangki 2 model nonlinier

Berdasarkan pada Gambar 16 didapatkan bahwa interaksi antara tangki 1 dan tangki 2 sudah dapat dihilangkan dan serta respon pada tangki 1 sudah bisa mencapai *setpoint* dengan parameter nilai K_p dan K_i sebesar 13,0087 dan 1,132. Terdapat *error steady state* sebesar 0,03%.

V. KESIMPULAN

Dari analisis yang telah dilakukan terhadap hasil simulasi maka dapat disimpulkan bahwa:

- A. pengaturan level pada coupled tank didapatkan model decoupling secara linear sehingga bisa mengubah perilaku sistem yang sebelumnya bersifat MIMO menjadi SISO dengan gangguan sinyal random pada masukan untuk H_2 sebesar 20% sinyal referensi.
- B. Simulasi dengan menggunakan model linier dari *plant coupled tank* didapatkan nilai untuk K_p optimal yaitu 13,0031 dan K_i optimal yaitu 0,6013 untuk *level* tangki 1 sedangkan untuk *level* tangki 2 didapatkan nilai optimal untuk K_p yaitu 15,043 dan K_i yaitu 0,8171.
- C. Simulasi *plant coupled tank* disimulasikan dengan model nonlinier dengan menggunakan *decoupling* linier efek dari decoupling dapat mengurangi gangguan dari perubahan *setpoint* salah satu *input*, meskipun masih terdapat *error steady state* dengan rata – rata sebesar 0,03%. Pada simulasi model nonlinier menghasilkan nilai K_p optimal sebesar 12,983 dan K_i sebesar 0,527 untuk *level* tangki 1, kemudian untuk tangki 2 mendapat nilai K_p optimal sebesar 13,071, K_i optimal sebesar 1,18.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M.S. Ramli, M.A. Ahmad, R.M.T. Raja Ismail, “Comparison of Swarm Adaptive Neural Network Control of a Coupled Tank Liquid Level System”, *International Conference on Computer Technology and Development*, Kinabalu, 13-15 November 2009.
- [2] Arjin Numsomran, Tianchai Sukri, Maitree Thumma, “Design 2 Degree Of Freedom (DOF) PI Controller With Decoupling For Coupled Tank Liquid Level System”, *International Conference on Control and Automation System*, Seoul, 13-15 October 2007.
- [3] Aryani Fabiany, “Perancangan Kontroler PID-GA untuk Sistem Pengaturan Level dan Pressure pada Simulator Plant Boiler-Turbine dengan Metode Dekopling Sistem MIMO,” *Tugas Akhir*, Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2016.
- [4] Ogata, Katsuhiko, “*Modern Control Engineering*”, Prentice Hall, New Jersey, 1970
- [5] Wicaksono, Agung Setyadi, “Perancangan dan Implementasi Sistem Pengaturan Kecepatan Motor Arus Searah Tanpa Sikat Menggunakan Kontroler PI Berbasis Neural-Fuzzy Hibrida Adaptif”, *Tugas Akhir*, Jurusan Teknik Elektro ITS Surabaya, 2016.
- [6] Haykin, Simon. “*Neural Networks and Learning Machines: Third Edition*”. United States of America, Pearson Prentice Hall, 1999
- [7] Dharmawan, Rheza Qashmal, “Desain Autotuning Kontroler PID Berbasis Algoritma Neural Network untuk Sistem Pengaturan Cascade level dan Flow Liquid pada Plant Coupled tanks”, *Tugas Akhir*, Jurusan Teknik Elektro ITS Surabaya, 2016