

Disain Kontroler PI dengan *Decoupling* pada Sistem Kendali *Level Coupled Tank*

Muhammad Sadli

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Malikussaleh, Lhokseumawe, Aceh Utara
muhammad.sadli@yahoo.com

ABSTRACT

The problems on the Coupled Tank control level is the existence of disturbance in the flow that supplies tank would make unstability response, so it could happen the cross interaction between input and output. PI control is an attractive option when the formulation of the proposed method to the Coupled Tank TITO system. PI control has the ability to maintain a steady state value of the response of the disturbance. In this study, it use Decoupling in cross interaction processes for every tank. Coupled Tank on TITO system can changes transfer function to SISO, so it can minimize the effect of interactions. The good way to design a model is consider the state on that plant, so the desired control model capable save non-linearity from TITO system. The simulations show value of percent overshoot (M_p), settling time (T_s) and steady state error (E_{ss}), of the state of each system was 0%, 38 seconds, and 0.22%.

Keywords : *Coupled Tanks, TITO System, PI Controller, Decoupling*

INTISARI

Masalah pada *Level Coupled Tank* adalah adanya gangguan dalam aliran yang memasok *tank* akan membuat respon ketidakstabilan, sehingga bisa terjadi interaksi silang antara masukan dan keluaran. Kontrol PI adalah pilihan yang menarik ketika perumusan metode yang diusulkan untuk sistem *Coupled Tank TITO*. Kontrol PI memiliki kemampuan untuk mempertahankan nilai *steady state* pada respon gangguan. Dalam penelitian ini, menggunakan *Decoupling* dalam proses interaksi silang untuk setiap tangki. *Coupled Tank* pada sistem TITO dapat diubah fungsi transfer ke SISO, sehingga dapat meminimalkan efek interaksi. Cara yang baik untuk merancang model adalah mempertimbangkan keadaan pada *plant* itu, jadi model kontrol yang diinginkan mampu mengatasi ketidak-linearitas dari sistem TITO. Simulasi menunjukkan nilai persen *overshoot* (M_p), *settling time* (T_s) dan *error steady state* (E_{ss}), dari *state* pada masing-masing sistem adalah 0%, 38 detik, dan 0,22%.

Kata kunci: *Coupled Tank*, Sistem TITO, Kontroler PI, *Decoupling*

I. PENDAHULUAN

Dalam proses industri banyak yang menggunakan tangki horizontal untuk penampung minyak atau cairan kimia. Kontrol *level* digunakan untuk menjaga titik *set level* terhadap nilai yang diberikan sehingga mampu menerima nilai-nilai *set point* secara dinamis. Pada proses industri fluida salah satu permasalahan yang sering terjadi adalah kontrol *Level Coupled Tank* [1].

Umumnya, terdapat dua metode dalam merancang kontroler untuk proses TITO. Pertama, metode, menggunakan kontroler terpusat tunggal dan kedua, metode klasik, menggunakan kontroler terdesentralisasi.

Permasalahan dalam kontrol *level Coupled Tank* adalah munculnya gangguan pada *flow* yang menyuplai tangki akan membuat respon tidak stabil sehingga diperlukan metode kontrol yang tepat. Pada industri, banyak digunakan kontroler seperti *Proportional Integral Derivative (PID)*.

Permasalahan yang sering dihadapi adalah sistem kontrol ini membutuhkan pengetahuan lebih kompleks tentang parameter-parameter sistem yang berkaitan. Permasalahannya akan bertambah rumit jika digunakan untuk sistem yang kompleks [2].

Characteristic Ratio Assignment (CRA) merupakan metode penyelesaian permasalahan pada *plant Two Input Two Output (TITO)*

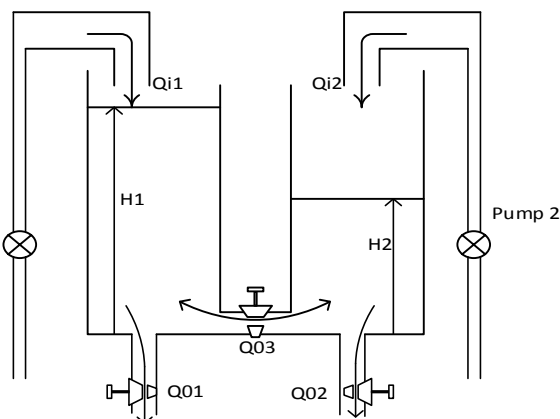
dengan menggunakan *pole placement* yang mendefinisikan parameter persamaan karakteristik. Metode ini memungkinkan dapat menyesuaikan kecepatan respon dan *damping ratio* hanya dengan menggunakan satu parameter. Untuk menjadikan *plant* menjadi *Single Input Single Output* (SISO), digunakan metode *Decoupling* agar pengaruh *input* kedua *tanks* dapat direduksi *CRA* menghasilkan respon yang lebih baik dari pada dengan kontrol *PID* [3]. Elemen kontrol *PI* secara keseluruhan bertujuan untuk mempercepat reaksi sebuah sistem dan menghilangkan *offset* [4].

II. METODE PENELITIAN

A. Coupled Tank

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 *variable* 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 [5].

Sistem *Coupled Tank* dapat dikonfigurasi sebagai sistem SISO atau sebagai Sistem TITO melalui manipulasi pompa *input* dan *sectional* daerah *valve*. Mengingat keseimbangan massa, persamaan dinamis dari masing-masing tangki dapat diformulakan [6].



Gambar 1. Sistem *coupled tank*

$$A_1 \frac{dH_1}{dt} = Q_{i1} - Q_{01} - Q_{03} \quad (1)$$

$$A_2 \frac{dH_2}{dt} = Q_{i2} - Q_{02} - Q_{03} \quad (2)$$

$$Q_{01} = s_1 \cdot a_0 \sqrt{2g} \cdot \sqrt{H_1} = \alpha_1 \cdot \sqrt{H_1} \quad (3)$$

$$Q_{02} = s_2 \cdot a_0 \sqrt{2g} \cdot \sqrt{H_2} = \alpha_2 \cdot \sqrt{H_2} \quad (4)$$

$$Q_{03} = s_1 \cdot a_0 \sqrt{2g} \cdot \sqrt{H_1 - H_2} = \alpha_3 \cdot \sqrt{H_1 - H_2} \quad (5)$$

Dengan menggunakan nilai dari persamaan (3) sampai (5) ke dalam persamaan (1) dan (2) maka di peroleh persamaan *nonlinear* yang menggambarkan dinamika *multi-input* dan *multi-output* sistem berasal :

$$A_1 \frac{dH_1}{dt} = Q_{i1} - \alpha_1 \cdot \sqrt{H_1} - \alpha_3 \cdot \sqrt{H_1 - H_2} \quad (6)$$

$$A_2 \frac{dH_2}{dt} = Q_{i2} - \alpha_2 \cdot \sqrt{H_2} - \alpha_3 \cdot \sqrt{H_1 - H_2} \quad (7)$$

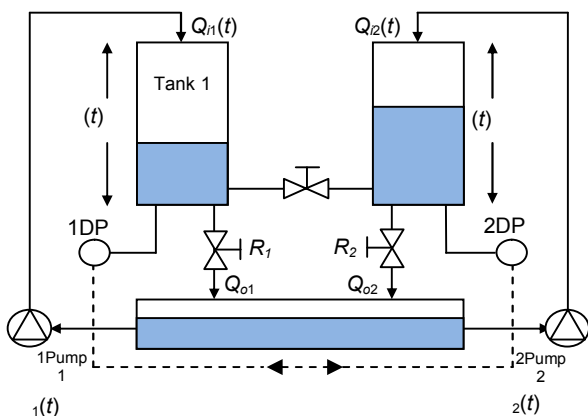
Model linearisasi *Two Input-Two Output* (TITO).

$$A_1 \frac{dh_1}{dt} = q_1 - \frac{\alpha_1}{2\sqrt{H_1}} h_1 - \frac{\alpha_3}{2\sqrt{H_1 - H_2}} (h_1 - h_2) \quad (8)$$

$$A_2 \frac{dh_2}{dt} = q_2 - \frac{\alpha_2}{2\sqrt{H_2}} h_2 + \frac{\alpha_3}{2\sqrt{H_1 - H_2}} (h_1 - h_2) \quad (9)$$

B. Pemodelan Coupled Tank

Persamaan *plant* dapat diperoleh dari persamaan kesetimbangan massa dan hukum Bernoulli [7]. Persamaan dapat dicari pada Gambar 2.



Gambar 2. Perancangan *Coupled Tank*

Dinamika *plant* ini dapat kita modelkan dengan persamaan diferensial berikut : [8]

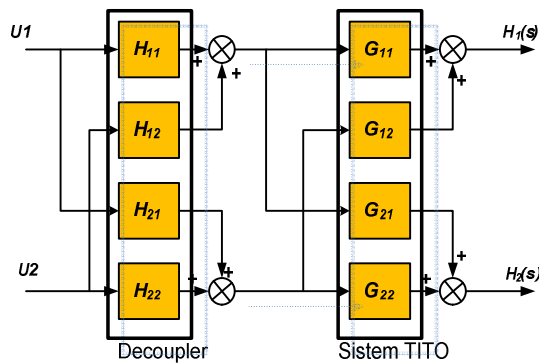
$$\frac{dH_1(t)}{dt} = \frac{k_1}{A} U_1(t) - \frac{\beta_1 a}{A} \sqrt{\frac{g}{2h_1}} H_1(t)$$

$$\frac{dh_2(t)}{dt} = \frac{k_2}{A} U_2(t) - \frac{\beta_2 a}{A} \sqrt{\frac{g}{2h_2}} H_2(t) \quad (10)$$

$$\frac{\beta_x a}{A} \sqrt{\frac{g}{2|h_2 - h_1|}} [H_2(t) - H_1(t)] \quad (11)$$

C. Diagram Blok Sistem TITO

Dalam bentuk konfigurasi *Decoupler* dengan sistem TITO ditunjukkan pada Gambar 3 berikut :



Gambar 3. Konfigurasi sistem TITO

$$\begin{bmatrix} H_1(s) \\ H_2(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G_{11}(s) & G_{12}(s) \\ G_{21}(s) & G_{22}(s) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} U_1(s) \\ U_2(s) \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$G_{11}(s) = \frac{\frac{k_1}{A} \left(s + \frac{T_x + T_2}{T_2 T_x} \right)}{s^2 + \left(\frac{T_1 T_x + T_2 T_x + 2T_1 T_2}{T_1 T_2 T_x} \right) s + \left(\frac{1}{T_1 T_2} + \frac{1}{T_1 T_x} + \frac{1}{T_2 T_x} \right)}$$

$$G_{12}(s) = \frac{\frac{k_2}{A} \cdot \frac{1}{T_x}}{s^2 + \left(\frac{T_1 T_x + T_2 T_x + 2T_1 T_2}{T_1 T_2 T_x} \right) s + \left(\frac{1}{T_1 T_2} + \frac{1}{T_1 T_x} + \frac{1}{T_2 T_x} \right)}$$

$$G_{21}(s) = \frac{\frac{k_1}{A} \cdot \frac{1}{T_x}}{s^2 + \left(\frac{T_1 T_x + T_2 T_x + 2T_1 T_2}{T_1 T_2 T_x} \right) s + \left(\frac{1}{T_1 T_2} + \frac{1}{T_1 T_x} + \frac{1}{T_2 T_x} \right)}$$

$$G_{22}(s) = \frac{\frac{k_2}{A} \left(s + \frac{T_x + T_1}{T_1 T_x} \right)}{s^2 + \left(\frac{T_1 T_x + T_2 T_x + 2T_1 T_2}{T_1 T_2 T_x} \right) s + \left(\frac{1}{T_1 T_2} + \frac{1}{T_1 T_x} + \frac{1}{T_2 T_x} \right)}$$

$$T_1 = \frac{A}{\beta_1 a} \sqrt{\frac{2h_1}{g}}, \quad T_2 = \frac{A}{\beta_2 a} \sqrt{\frac{2h_2}{g}}, \quad T_x = \frac{A}{\beta_x a} \sqrt{\frac{2|h_1 - h_2|}{g}}, \quad (13)$$

Keterangan : [7]

A = Luas penampang tangki 1 dan 2 (cm²),

a = luas penampang lubang keluaran tangki 1 dan 2 dan saluran penghubung antara tangki 1 dan 2 (cm²),

β_1 dan β_2 adalah rasio bukaan katup (*valve*) pada lubang keluaran tangki 1 dan 2,

β_x adalah *ratio valve* antara tangki 1 dan tangki 2,

$h_{1s(s)}$, $h_{2s(s)}$ adalah ketinggian air (*steady-state*) pada tangki 1 dan 2,

g adalah gravitasi (cm²/s)

k_1 , k_2 penguatan (*gain*) pompa 1 dan 2 (cm³/V.s)

T_1 adalah konstanta waktu pada tangki 1,

T_2 adalah konstanta waktu pada tangki 2,

T_x adalah konstanta waktu antara tangki 1 tangki 2.

Lalu tentukan nilai parameter dan titik kerja dari *plant*.

Tabel 1. Nilai parameter *plant*

$A(\text{cm}^2)$	200
$a(\text{cm}^2)$	1.2661
β_1	1
β_2	1
β_x	1

Tabel 2. Titik kerja dari *plant*

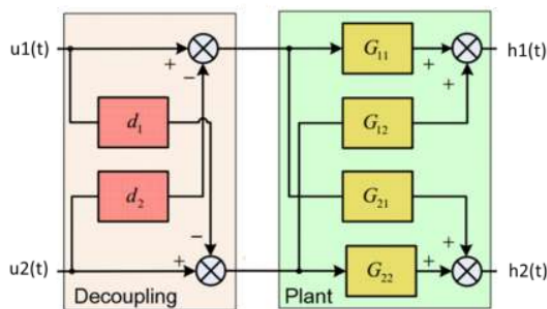
$u_1(\text{V})$	5
$u_2(\text{V})$	5
$\bar{h}_1$ (x10%Range)	2.749
$\bar{h}_2$ (x10%Range)	3.262
k_1 (cm ³ /V.s)	5
k_2 (cm ³ /V.s)	5.52

Sesuai dengan proses parameter dan titik operasi pada tabel 1 dan tabel 2, proses ini dapat disubsitusikan ke dalam persamaan (13) sehingga didapatkan persamaan matriks *Transfer Function*. [8]

$$\begin{aligned} G_{11} &= \frac{0.0250s + 0.000683}{s^2 + 0.0553s + 0.000383} \\ G_{12} &= \frac{0.00054}{s^2 + 0.0553s + 0.000383} \\ G_{21} &= \frac{0.00049}{s^2 + 0.0553s + 0.000383} \\ G_{22} &= \frac{0.0276s + 0.000773}{s^2 + 0.0553s + 0.000383} \end{aligned} \quad (14)$$

D. Decoupling

Plant Coupled-Tank memiliki dua *input* dan *output* yang punya pengaruh silang. Pada Gambar 2, *output* $h_{1(t)}$ tidak hanya dipengaruhi oleh $u_{1(t)}$ tetapi juga dipengaruhi oleh $u_{2(t)}$, begitu juga dengan $h_{2(t)}$. *Plant* pada proses semacam ini dapat disederhanakan seakan-akan seperti proses *SISO* dengan teknik *Decoupling*. *Decoupling* mentransformasikan model *TITO* ke dalam *SISO* untuk memudahkan analisis dan perancangan kontroler. Perhatikan Gambar 4.



Gambar 4. Diagram blok *plant* dengan *decoupling*

Dimana ;

$$d_2(s) = \frac{G_{21}(s)}{G_{22}(s)}, \quad d_1(s) = \frac{G_{12}(s)}{G_{11}(s)} \quad (15)$$

Dari Persamaan (14) dan (15) maka di dapatkan disain kontrol *decoupling* pada proses *Coupled Tank* ke dalam Persamaan 16.

$$\begin{aligned} d_1(s) &= \frac{G_{21}}{G_{22}} = \frac{0.00049}{0.0276s + 0.000773} \\ d_2(s) &= \frac{G_{12}}{G_{11}} = \frac{0.00054}{0.025s + 0.000683} \end{aligned} \quad (16)$$

E. Perancangan Kontroler

Berdasarkan proses identifikasi secara offline diperoleh persamaan *transfer function* masing – masing G_{11} , G_{12} , G_{21} dan G_{22} . Setelah itu, disusun mekanisme *decoupling* D_{12} dan D_{21} untuk menghilangkan pengaruh dari G_{12} dan G_{21} . Selanjutnya diuji secara *open loop* dengan sinyal *step* pada masing - masing keluaran *level* tangki yang diinginkan. Hasil dari pengujian ini akan digunakan untuk perancangan kontroler PI dengan menggunakan metode analitis.

1. Level Tanki 1

$$K_{p_1} = \frac{\tau_{i_1}}{\tau * K} \quad Ki_1 = \frac{Kp_1}{\tau_i} = 0,095$$

$$K_{p_1} = \frac{35.60}{11,87.x0.89} = 3.371$$

2. Level Tanki 2

$$K_{p_2} = \frac{\tau_{i_2}}{\tau * K} \quad Ki_2 = \frac{Kp_2}{\tau_i} = 0.0814$$

$$K_{p_2} = \frac{36.50}{12.17.x1.01} = 2.97$$

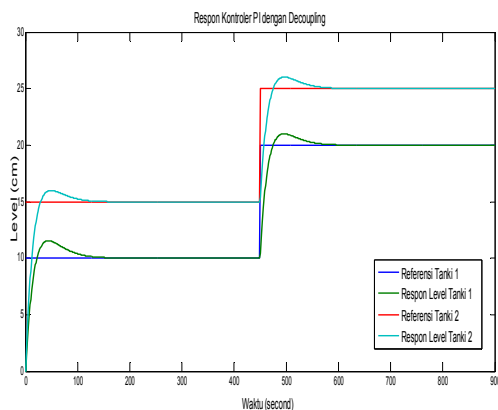
III. HASIL PERCOBAAN DAN ANALISA

Pada simulasi perancangan kontroler PI ini digunakan perbandingan yaitu dengan menggunakan metode *decoupling* dan tidak menggunakan *decoupling*. Perbandingan ini diterapkan untuk mengetahui perbedaan respon diantara keduanya. Sebagai nilai referensi *level* pada masing-masing tangki akan diberikan secara berubah sesuai dengan waktu. Untuk lebih lengkapnya dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Sinyal uji respon *level* pada *set point*

Waktu	t = 0s	t = 450s
$r_1(t)$	10.00	20.00
$r_2(t)$	15.00	25.00

Dalam hasil simulasi kontroler PI tanpa menggunakan *decoupling* dilihat pada Gambar 5 dan hasil simulasi kontroler PI menggunakan *decoupling* Gambar 6.

Gambar 5. Hasil Simulasi Kontroler PI *without Decoupling*

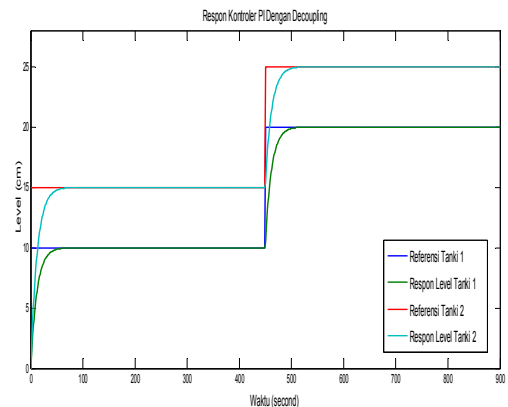
Gambar 5 menjelaskan bahwa pada saat respon kontroler PI tanpa *decoupling* sesuai dengan Tabel 3 nilai respon *level* air pada kedua tangki dapat mengikuti nilai referensi tangki, akan tetapi nilai respon *level* tangki pertama dan tangki kedua yang diukur (*output actual*) melebihi nilai referensi tangki pada setiap perubahan *set point* dan masih muncul nilai *overshoot*. Untuk lebih jelasnya ada pada Tabel 4.

Tabel 4. *Respon Transient*

	Tangki 1	Tangki 2
y_{ss}	1.009	1.009
$\% E_{ss}$	0.9	0.9
τ (detik)	0.637	0.637
$T_s (\pm 5\%)$ (detik)	78	78
T_D (detik)	8	8
M_p	10.2	10.2

Simulasi respon ini menghasilkan *settling time* (T_s) yang masih lambat. Metode PI tanpa

decoupling menghasilkan respon yang kurang bagus karena $T_s (\pm 5\%)$ masih lambat di waktu pengisian tangki. Nilai respon *level* tangki 1 dan *level* tangki 2 sama sehingga dapat mengikuti nilai respon yang di inginkan (nilai referensi) sehingga *level* air dalam *coupled tank* dapat terukur.

Gambar 6. Hasil Simulasi Kontroler PI *with Decoupling*

Gambar 6 menjelaskan bahwa saat respon *level* kontrol PI dengan *decoupling* nilai respon *level* tangki sudah dapat mengikuti nilai referensi tangki artinya level air sudah terpenuhi dengan nilai yang di inginkan (nilai referensi). *Overshoot* (M_p) pada tangki pertama dan kedua tidak ada (0) karena respon *transient level* kontrol PI dengan *decoupling* berada pada sistem orde pertama. Untuk lebih jelasnya ada pada Tabel 5.

Tabel 5. *Respon Transient*

	Tangki 1	Tangki 2
y_{ss}	0.9978	0.9978
$\% E_{ss}$	0.22	0.22
τ (detik)	0.630	0.630
$T_s (\pm 5\%)$ (detik)	38	38
T_D (detik)	9	9
M_p	0	0

Simulasi respon ini menghasilkan *settling time* (T_s) dan *delay time* (T_D) yang cepat sehingga *level* air memenuhi tangki tersebut dengan baik. Metode PI dengan *decoupling* menghasilkan respon yang baik dimana nilai

respon *level* tangki 1 dan respon *level* tangki 2 nilai responnya sama sehingga dapat mengikuti nilai respon yang diinginkan sehingga *level* air dalam *coupled tank* dapat terukur.

Perbedaan hasil respon dari simulasi diantara kedua kondisi tersebut dapat dituangkan dalam Tabel 6 berikut :

Tabel 6. Perbandingan hasil respon

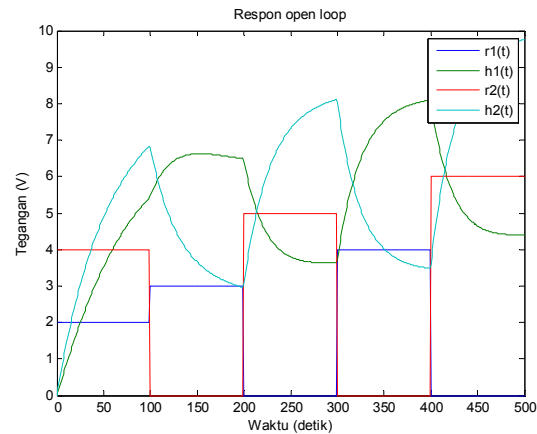
Kondisi	Settling Time (Second)	
	Tanki 1	Tanki 2
Kontroller PI <i>without Decoupling</i>	78	78
Kontroller PI <i>with Decoupling</i>	38	38

Berdasarkan hasil di atas, maka penggunaan metode *decoupling* untuk mereduksi interaksi *level* antara tangki 1 dan tangki 2 mempunyai hasil respon yang lebih baik dari pada tanpa menggunakan *decoupling*.

Tabel 7. Set point

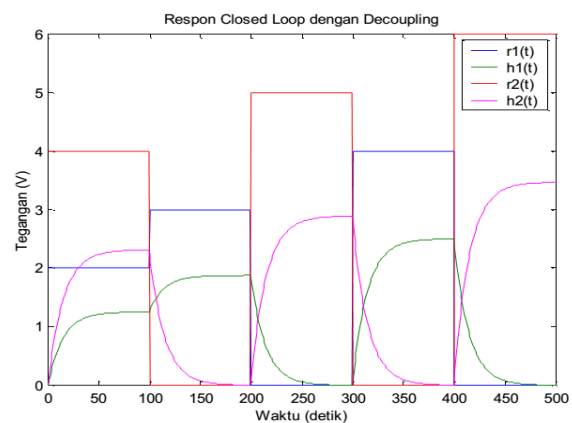
Time	t= 0s	t =100s	t =300s	t =400s	t=600s
$r_1(t)$	2	3	0	4	0
$r_2(t)$	4	0	5	0	6

Pada Gambar 6 dan 7 digunakan *set point* pada Tabel 7. Dimana, $r_1(t)$ dan $r_2(t)$ adalah sinyal tegangan listrik (dalam satuan Volt) yang mewakili ketinggian air yang diinginkan pada tangki 1 dan tangki 2. Sedangkan pada $h_1(t)$ dan $h_2(t)$ adalah sinyal tegangan listrik (dalam satuan Volt) yang mewakili ketinggian air yang diukur (realisasi) pada tangki 1 dan tangki 2.



Gambar 7. Respon *open loop*

Pada Gambar 7 dapat dilihat pada saat respon *open loop set point* $t=100s$ $r_1(t) = 2V$, dan $r_2(t) = 4V$ yang diinginkan, sedangkan pada $h_1(t)$ dan $h_2(t)$ nilai tegangannya melebihi tegangan yang diinginkan sehingga *level* air pada tangki kepenuhan.



Gambar 8. Respon *close loop* dengan *Decoupling*.

Gambar 8 dapat dilihat bahwa disaat respon *close loop* dengan *decoupling set point* $t=100s$, $h_1(t)$ dan $h_2(t)$ masing-masing nilai responnya masih di bawah nilai respon yang diinginkan artinya *level* air dalam tangki masih kurang penuh.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Penggunaan kontroler PI pada tangki 1 dengan nilai parameter $K_{p1} = 3.371$,

- $K_{i1} = 0,095$ dan tanki 2 dengan nilai parameter $K_{p2} = 2.97$, $K_{i2} = 0.0814$.
2. Pada penggunaan kontroler PI decoupling tersebut mempunyai *maximum overshoot* (Mp%) sangat kecil dan *settling time* (T_s) bisa dipercepat responnya.
 3. Penggunaan *decoupling* sangat baik di pakai pada saat *plant TITO* dan *MIMO*.

REFERENSI

- [1] Satean Tunyasirirut, (2007) "*Level Control in Horizontal Tank by Fuzzy-PID Cascade Controller*", Proceeding IEE Proc of King Mongkut's Institute of Technology North Bangkok, Thailand.
- [2] Wahyudi, (2008) "*Tuning Parameter Kontrol Proporsional Integral Menggunakan Sugeno Fuzzy Inference System*," Transmisi, Jurnal Teknik Elektro, Jilid 10, Nomor 2, hlm 97-102.
- [3] Arjin Numsomran, (2007) "*Design of Decoupled Controller for TITO System using Characteristic Ratio Assignment*," Faculty of Engineering, Department of Instrumentation Engineering, Pathumwan Institute of Technology. Bangkok, Thailand. International Conference on Control , Automation and Systems, in COEX, Seoul, Korea.
- [4] Onur Karasakal, (2003) "*An Implementation of Peak Observer Based Self-Tuning Fuzzy PID-Type Controller on PLC*", International Conference on Electrical and Electronics Engineering, Turkey.
- [5] Elke Laubwald, (1998) "*Coupled Tank System 1*", England: visiting scientist, Control System Principles.Co.uk, This is one of series of papers on modeling, analysis and control to give Insight into important principle and process, 1998.
- [6] Muhammad Usman Khalid, Muhammad Bilal Kadri, (2009) "*Liquid Level Control of Nonlinear Coupled Tanks System using Linear Model Predictive Control*", Pakistan Navy Engineering College National University of Sciences & Technology Karachi, Pakistan.
- [7] Chatchaval Pornpatkul, (2009) "*Decentralized Fuzzy Logic Controller for TITO Coupled Tanks Process*", Proceeding IEE, Department of Instrumentation Engineering, Pathumwan Institute of Technology, Bangkok, Thailand, CROS-SICE International Joint Conference.
- [8] Tianchai Suksri, (2007) "*Design of 2-DOF PI Controller with Decoupling for Coupled-Tank Process*", Faculty of Engineering, Department of Instrumentation Engineering, Pathumwan Institute of Technology. Bangkok, Thailand. International Conference on Control , Automation and Systems , in COEX, Seoul, Korea.