

## PERANCANGAN KONTROL MULTIVARIABEL SISTEM PENGADUK PEMURNIAN URANIUM

Karsid<sup>1</sup>, Rofan Aziz<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Program Studi Teknik Pendingin dan Tata Udara, Politeknik Negeri Indramayu

<sup>1,2</sup>Jl. Raya Lohbener Lama No. 8 Lohbener Indramayu.

E-mail : karsids@yahoo.co.uk<sup>1</sup>, sambalewa@gmail.com<sup>2</sup>

### Abstrak

*Telah dianalisa sistem pengaduk homogenitas dari unit Instalasi Penurnian Uranium yang berfungsi mengubah yellow cake ( uranium alam ) menjadi serbuk uranium UO<sub>2</sub>. pada sistem ini uranium alam dalam bentuk effluen UO<sub>2</sub>(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> dijaga homogenitasnya, dengan level ketinggian permukaan tangki yang tetap. Sistem pemurnian Uranium melibatkan 2 (dua) tangki yang saling mempengaruhi keluaran, agar keluaran yang didapat sesuai dengan nilai sett-point, maka system perlu di decoupling . Maka system kendali yang diterapkan pada Level ketinggian tangki menggunakan decoupling control dengan metode pergeseran nilai eigen.*

**Kata Kunci:** Uranium, homogenitas dan effluen.

### Abstract

*Stirrer system has analyzed the homogeneity of Uranium Penurnian Installation unit which serves to change the yellow cake (natural uranium) into uranium UO<sub>2</sub> powder. in this system of natural uranium in the form of effluent UO<sub>2</sub> (NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> maintained homogeneity, with a surface elevation level fixed tank. Uranium purification system involves two (2) tanks interplay output, so the output is obtained in accordance with the sett-point value, then the system needs to be in decoupling. Then the control system is applied to the height of the tank using decoupling Level control with shift method eigenvalues.*

**Keywords :** Uranium, Homogeneity, effluent

## I. PENDAHULUAN

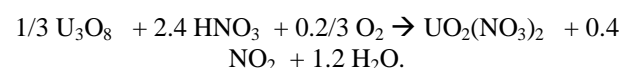
Proses pemurnian uranium harus dijaga homogenitasnya, dimana dilakukan dengan mengaduk tangki pemurnian uranium, pengadukan ini dilakukan oleh *mixer*. Selain itu juga level cairan didalam tangki harus dijaga agar produk yang dihasilkan sesuai dengan yang diinginkan. Proses pemurnian uranium harus dijaga homogenitasnya, dimana dilakukan dengan mengaduk tangki pemurnian uranium, pengadukan ini dilakukan oleh *mixer*. Selain itu juga level cairan di dalam tangki harus dijaga agar produk yang dihasilkan sesuai dengan yang diinginkan. Sistem pemurnian uranium ini melibatkan 2 tangki proses dimana proses pada masing-masing tangki saling mempengaruhi. Dikarenakan melibatkan dua masukan dan dua keluaran yang saling mempengaruhi pada sistem, maka diterapkan kendali multivariabel pada sistem .Dikarenakan melibatkan dua masukan dan dua keluaran yang saling mempengaruhi pada sistem, maka diterapkan kendali multivariabel pada sistem

Pada aplikasi industri sistem-sistem saling berhubungan satu dengan yang lainnya. Seperti yang terdapat pada : petro-kimia, pembuatan kertas dan instalasi pengolahan air. Banyak dari aplikasi ini

menyebabkan proses pengendalian mengalami kesulitan, seperti penundaan waktu, interaksi multivariabel dan dinamika non minimum fase [1]. Proses yang mempunyai satu keluaran dapat dikontrol menggunakan manipulasi variabel tunggal. Kontrol seperti ini dinamakan single input-single output (SISO). Pada industri proses tidak hanya memiliki satu kalang kontrol. Pada faktanya pada banyak aplikasi memerlukan kontrol paling sedikit dua variabel. Sistem dengan yang memiliki kalang kontrol lebih dari satu disebut multi input multi output (MIMO) atau sistem multivariabel [2].

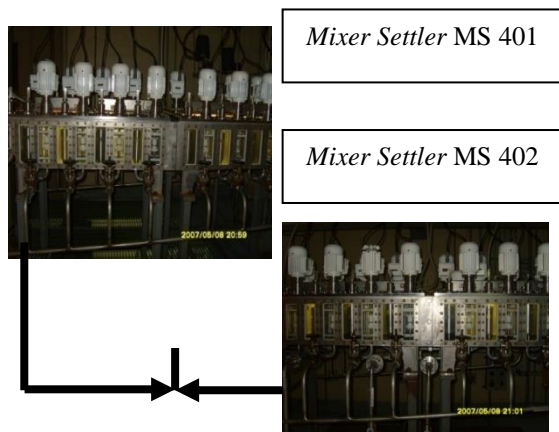
## II. METODE

Secara garis besar unit pemurnian uranium dirumuskan sebagai berikut :



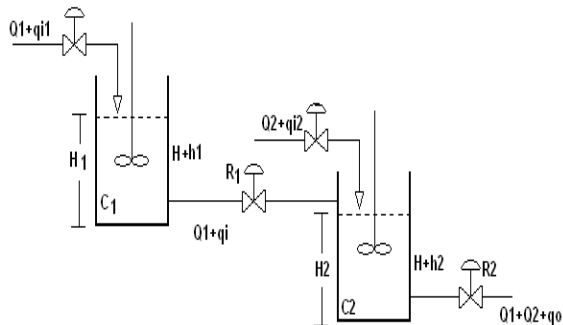
Reaksi uranium alam ( U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> ) dengan asam nitrat (HNO<sub>3</sub>) pekat menghasilkan effluen Uranium (UO<sub>2</sub>(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>). Effluen ini harus dijaga nilai homogenitasnya dengan menggunakan sistem pengaduk atau alat *Mixer Settler*, yang beroperasi beroperasi kontinyu. Pada gambar 1 menunjukkan unit instalasi pemurnian uranium dimana terdapat dua unit tangki, tangki yang pertama adalah dengan *mixer settler* MS

401, sedangkan tangki yang kedua adalah *mixer settler* MS 402. Pada dasarnya alat ini digunakan untuk pemisahan uranium dari hasil belah serta aktinida minor seperti Amerisium, Neptunium dan Curium dari Plutonium dengan cara basah atau ekstraksi cair. Untuk pemurnian uranium dari penambangan setelah melalui proses pelindihan, pengolahan awal, pengendapan dan lain sebagainya. Dasar Alat *mixer settler* adalah pengadukan dan penganapan campuran dua fasa air dan fasa organik kedua larutan tersebut dalam bentuk larutan yang digunakan untuk mengekstrak salah satu unsur yang diinginkan, dimana unsur tersebut dapat larut didua fasa, sedangkan unsur yang tidak diinginkan sebagai unsur pengotor tidak dapat larut di dalam fasa pengeksktrak. Pada umumnya fasa pengeksktrak berupa senyawa organik seperti *tri built pospat* (TBP) dengan pengencer normal dodekan atau *kerosene*[3].



Gambar 1. Sistem Pengaduk Homogenitas Instalasi Pemurnian Uranium

Dari gambar diatas dapat disederhanakan sebagai berikut :



Gambar 2. Penyederhanaan sistem unit instalasi pemurnian uranium

Parameter :

- Q1 , Q2: Laju fluida masuk pada *steady state* ( m<sup>3</sup>/s )
- H1 , H2: Tinggi permukaan pada *steady state* ( m )
- qi1,qi2: Perubahan laju fluida masukan (m<sup>3</sup>/s )
- qi , qo : Perubahan laju fluida keluaran (m<sup>3</sup>/s )
- h1, h2 : perubahan tinggi ( m )

Tabel 1. Parameter Masukan :

Nama Parameter	Nilai	Keterangan
H <sub>1</sub>	30 cm = 0,3 m	Tinggi Permukaan tangki 1
H <sub>2</sub>	30 cm = 0,3 m	Tinggi Permukaan tangki 2
Q <sub>1</sub>	15 liter/menit = 2,5.10 <sup>-4</sup> m <sup>3</sup> /s	Debit tangki 1
Q <sub>2</sub>	15 liter/menit = 2,5.10 <sup>-4</sup> m <sup>3</sup> /s	Debit tangki 2
C <sub>1</sub>	16 x 5 liter = 8.10 <sup>-2</sup> m <sup>3</sup>	Kapasitas tangki 1
C <sub>2</sub>	16 x 6 liter = 9,6.10 <sup>-2</sup> m <sup>3</sup>	Kapasitas tangki 2

Persamaan sistem dengan keluaran h1 dan h2 :

Persamaan pada tangki 1 :

$$C_1 \cdot dh_1 = (q_{i1} - q_1) \cdot dt \tag{1}$$

$$\text{Dimana : } q_1 = \frac{h_1 - h_2}{R_1} \tag{2}$$

Persamaan pada tangki 2 :

$$C_2 \cdot dh_2 = (q_1 + q_{i2} - q_0) \cdot dt \tag{3}$$

$$\text{Dimana : } q_0 = \frac{h_2}{R_2} \tag{4}$$

Eliminasi persamaan (1) dan (2), didapat :

$$\frac{dh_1}{dt} = \frac{1}{C_1} \left[ q_{i1} - \frac{h_1 - h_2}{R_1} \right] \tag{5}$$

Eliminasi persamaan (3), (2) dan (4), didapat :

$$\frac{dh_2}{dt} = \frac{1}{C_2} \left[ \frac{h_1 - h_2}{R_1} + q_{i2} - \frac{h_2}{R_2} \right] \tag{6}$$

Deskripsi Sistem Dalam Ruang Keadaan :

$$\dot{x} = \underline{A}x + \underline{B}u, \text{ dimana } \underline{x} = \begin{pmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{pmatrix}$$

$$\underline{y} = \underline{C}x + \underline{D}u, \text{ dimana } \underline{y} = \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \end{pmatrix}$$

Dimana untuk sistem nyata  $\underline{D} = \underline{0}$ .

Tempat kedudukan :

$$\text{Keluaran : } x_1 = h_1 = y_1 \quad \text{dan} \quad x_2 = h_2 = y_2$$

$$\text{Masukan : } u_1 = q_{i1} \quad \text{dan} \quad u_2 = q_{i2}$$

Dari persamaan (5) :

$$\frac{dh_1}{dt} = \frac{1}{C_1} \left[ qi_1 - \frac{h_1 - h_2}{R_1} \right] = \frac{qi_1}{C_1} - \frac{h_1}{C_1 R_1} + \frac{h_2}{C_1 R_1}$$

Didapat :

$$\dot{x}_1 = \frac{1}{C_1} U_1 - \frac{1}{R_1 C_1} x_1 + \frac{1}{R_1 C_1} x_2 \quad (7)$$

Dari persamaan (6) :

$$\frac{dh_2}{dt} = \frac{1}{C_2} \left[ \frac{h_1 - h_2}{R_1} + qi_2 - \frac{h_2}{R_2} \right] = \frac{1}{R_1 C_2} h_1 - \left[ \frac{1}{R_1 C_2} + \frac{1}{R_2 C_2} \right] h_2 + \frac{1}{C_2} qi_2$$

Didapat :

$$\dot{x}_2 = \frac{1}{R_1 C_2} x_1 - \left[ \frac{1}{R_1 C_2} + \frac{1}{R_2 C_2} \right] x_2 + \frac{1}{C_2} U_2 \quad (8)$$

Dari persamaan (7) dan (8) dibuat persamaan ruang keadaan (*state space*) :

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{R_1 C_1} & \frac{1}{R_1 C_1} \\ \frac{1}{R_1 C_2} & -\left(\frac{1}{R_1 C_2} + \frac{1}{R_2 C_2}\right) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{C_1} & 0 \\ 0 & \frac{1}{C_2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix}$$

Dengan persamaan output sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}$$

Dengan memasukan parameter pada tabel diatas, didapat nilai persamaan ruang keadaan :

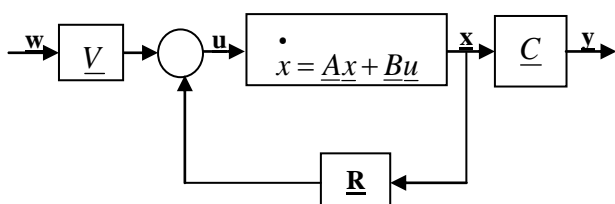
$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{96} & \frac{1}{96} \\ \frac{1}{115,2} & -\frac{5}{288} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 12,5 & 0 \\ 0 & 12,5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix} \quad (9)$$

Dengan persamaan output sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} \quad (10)$$

**Prinsip Dasar Sintesa Kendali Penempatan Kutub**

Diagram blok sistem pada representasi sistem dalam persamaan ruang keadaan dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Diagram blok sistem dengan pengendali dan pre-kompensator

Dimana **R** adalah matriks pengendali dan **V** adalah matriks kompensator. Pemilihan **R** dan **V** sedemikian rupa sehingga sistem dapat stabil. Adapun langkah-langkah perumusan sinyal kendali adalah :

- Menyusun persamaan diferensial untuk masing-masing  $y_i$  dalam ketergantungannya terhadap  $w$
- Dekopel persamaan diferensial melalui penentuan **R** dan **V** yang tepat.

Penentuan **R** dan **V**, didahului oleh penentuan controllability **Q** dan decouplibility **D\***, dimana :

$$\mathbf{Q} = [\mathbf{B} \quad \mathbf{AB} \quad \mathbf{A}^2\mathbf{B}], \text{ dan} \quad \mathbf{D}^* = \begin{pmatrix} \mathbf{C}_1^T \mathbf{B} \mathbf{A}^{\delta-1} & \mathbf{B} \\ \mathbf{C}_2^T \mathbf{B} \mathbf{A}^{\delta-1} & \mathbf{B} \end{pmatrix} \quad (11)$$

Setelah **Q** dan **R** diketahui kemudian ditentukan matriks kompensator **V** dan **R**, melalui :

$$\mathbf{R} = \mathbf{D}^* \mathbf{Q}, \text{ sedangkan} \quad (12)$$

$$\mathbf{V} = \mathbf{D}^{*-1} \mathbf{K}, \text{ dengan syarat } \det \mathbf{D}^* \neq 0 \quad (13)$$

Dimana,

$$\mathbf{K} = \begin{pmatrix} K_1 & 0 \\ 0 & K_2 \end{pmatrix} \quad (14)$$

Setelah sistem terdekopel, maka persamaan output menjadi :

$$Y_1 = \frac{K_1}{S + K_1}, \quad Y_2 = \frac{K_2}{S + K_2} \quad (15)$$

Dimana,  $K_1$  dan  $K_2$  adalah nilai eigen.

Perancangan kendali dilakukan dengan menggeser nilai eigen untuk melihat pada pergeseran berapakah didapatkan sistem kendali yang paling efektif.

**III. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Untuk mengetahui apakah sistem dapat dikontrol maka sistem harus diuji controllability. Sisten juga perlu diuji *decouplibility* untuk mengetahui apakah sistem dapat di decoupling.

**3.1. Uji Controllability Sistem**

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} -0.0104 & 0.0104 \\ 0.0087 & -0.0174 \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{A}^2 = \begin{pmatrix} 0.1989 & -0.2894 \\ -0.2411 & 0.5918 \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{B} = \begin{pmatrix} 12,5 & 0 \\ 0 & 12,5 \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{AB} = \begin{pmatrix} -0.1302 & 0.1302 \\ 0.1085 & -0.2170 \end{pmatrix}$$

$$\underline{A}^2 \underline{B} = \begin{pmatrix} 0.0025 & -0.0036 \\ -0.0030 & 0.0049 \end{pmatrix}$$

Didapatkan matriks controlability sebagai berikut :

$$\underline{Q} = [\underline{B} \quad \underline{AB} \quad \underline{A}^2 \underline{B}]$$

$$\underline{Q} = \begin{pmatrix} 12,5 & 0 & -0.1302 & 0.130 & 0.0025 & -0.0036 \\ 0 & 12,5 & 0.1085 & -0.2170 & -0.0030 & 0.0049 \end{pmatrix}$$

Baris ke 1 dan ke 2 matriks Q adalah saling bebas linier maka sistem memiliki rank matriks sempurna, maka sistem controllable sempurna.

**3.2. Uji Decouplibility**

❖ Untuk i=1,

$$\overline{C}_1^T B = (1 \ 0) \begin{pmatrix} 12,5 & 0 \\ 0 & 12,5 \end{pmatrix}$$

$$\overline{C}_1^T B = (12,5 \ 0)$$

$$\delta - 1 = 0$$

$$\delta = 1$$

❖ Untuk i=2,

$$\overline{C}_2^T B = (0 \ 1) \begin{pmatrix} 12,5 & 0 \\ 0 & 12,5 \end{pmatrix}$$

$$\overline{C}_2^T B = (0 \ 12,5)$$

$$\delta - 1 = 0$$

$$\delta = 1$$

❖ Jadi  $D^* = \begin{pmatrix} \overline{C}_1^T B A^{\delta-1} & \overline{B} \\ \overline{C}_2^T B A^{\delta-1} & \overline{B} \end{pmatrix}$

$$D^* = \begin{pmatrix} 12,5 & 0 \\ 0 & 12,5 \end{pmatrix} \dots |D^*| \neq 0$$

maka sistem dapat di dekoping

**III. Perancangan Kendali dengan Penggeseran Nilai Eigen 2 (dua), 3 (tiga) dan 4 (empat) kali Nilai Eigen Awal**

Nilai eigen sistem setelah penggeseran 2 (dua) dua kali adalah

$$\det(\underline{SI} - \underline{A})$$

$$= -1 \left[ \begin{pmatrix} S & 0 \\ 0 & S \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} -0.0104 & 0.0104 \\ 0.0087 & -0.0174 \end{pmatrix} \right]$$

$$= (S + 0.0038)(S + 0.0240)$$

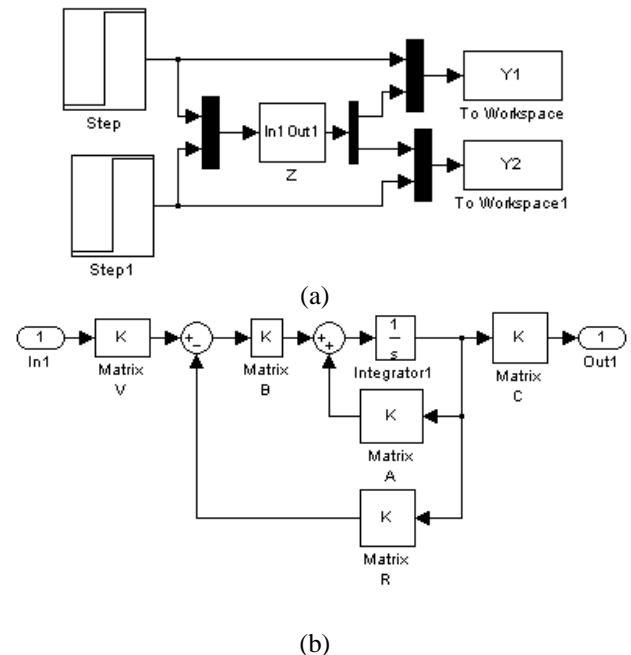
Jadi nilai eigen adalah 0.0038 dan 0.0240

Hasil perhitungan keluaran sistem  $Y_1$ ,  $Y_2$ , matriks pre-kompensator  $\underline{V}$  dan matriks pengendali  $\underline{R}$ , dengan penggeseran 2 (dua), 3 (tiga) dan 4 (empat) kali nilai eigen awal dapat dilihat di table 2.

Tabel 2. Hasil perhitungan keluaran sistem, matriks pre-kompensator dan matriks pengendali

Pergeseran 2(Dua) Nilai Eigen Awal	Pergeseran 3(Tiga) Nilai Eigen Awal	Pergeseran 4(Empat) Nilai Eigen Awal
$Y_1 = \frac{0.0076}{S+0.0076} W_1$	$Y_1 = \frac{0.0113}{S+0.0113} W_1$	$Y_1 = \frac{0.0151}{S+0.0151} W_1$
$Y_2 = \frac{0.0480}{S+0.0480} W_2$	$Y_2 = \frac{0.0720}{S+0.0720} W_2$	$Y_2 = \frac{0.0960}{S+0.0960} W_2$
$\underline{V} = \begin{pmatrix} 0.0006 & 0 \\ 0 & 0.0038 \end{pmatrix}$	$\underline{V} = \begin{pmatrix} 0.0009 & 0 \\ 0 & 0.0044 \end{pmatrix}$	$\underline{V} = \begin{pmatrix} 0.0012 & 0 \\ 0 & 0.0077 \end{pmatrix}$
$\underline{R} = \begin{pmatrix} 0.0052 & 0.0008 \\ 0.0030 & 0.0008 \end{pmatrix}$	$\underline{R} = \begin{pmatrix} 0.0001 & 0.0008 \\ 0.0007 & 0.0044 \end{pmatrix}$	$\underline{R} = \begin{pmatrix} 0.0004 & 0.0008 \\ 0.0007 & 0.0044 \end{pmatrix}$

Untuk melihat hasil pengendalian terhadap sistem dilakukan simulasi pada program SIMULINK, dengan diagram blok dapat dilihat pada gambar 4 di bawah ini :

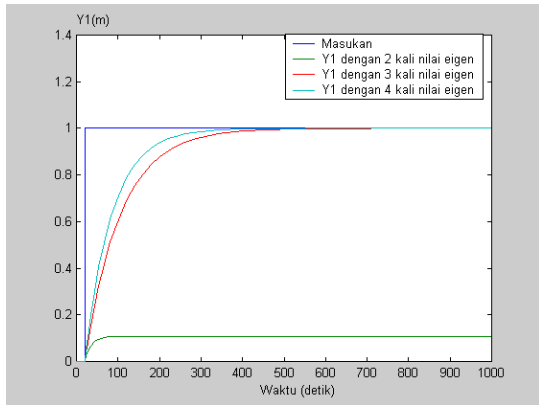


Gambar 4. Diagram blok SIMULINK sistem  
(a) Sistem keseluruhan  
(b) Sistem Z pada gambar (a)

Adapun hasil simulasi dari program SIMULINK dengan masukan fungsi undak dapat dilihat pada gambar 5 untuk keluaran  $Y_1$  dan gambar 6 untuk keluaran  $Y_2$ .

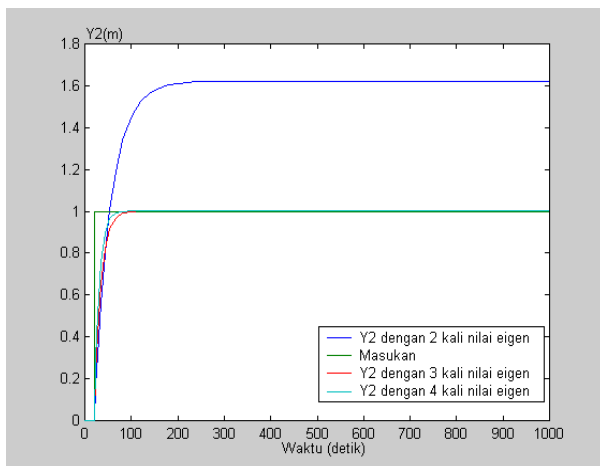
$$W_{1(t)} = \begin{cases} 1, & \text{untuk } t \geq 1 \\ 0, & \text{untuk } t < 1 \end{cases} \tag{16}$$

$$W_{2(t)} = \begin{cases} 1, & \text{untuk } t \geq 1 \\ 0, & \text{untuk } t < 1 \end{cases} \tag{17}$$



Gambar 5. Grafik perbandingan keluaran  $Y_1$  hasil penerapan kendali dengan pergeseran nilai eigen

Dari simulasi dapat dilihat bahwa bahwa desain pengendali dengan menggeser 2 (dua) kali nilai eigen awal belum berhasil untuk mengendalikan sistem, dimana masih terdapat *error* atau tanggapan sistem  $Y_1$  dan  $Y_2$  belum mengikuti masukan yang diberikan maka pergeseran nilai eigen harus lebih besar. Pergeseran 3 (tiga) kali nilai eigen awal dapat mengendalikan sistem dengan ditandai *error nol*. Sedangkan pergeseran 4 (empat) kali nilai eigen untuk desain pengendali membuat tanggapan transien sistem lebih baik jika dibandingkan pergeseran 3 (tiga) kali nilai eigen awal.



Gambar 6. Grafik perbandingan keluaran  $Y_2$  hasil penerapan kendali dengan pergeseran nilai eigen

#### IV. PENUTUP

##### Kesimpulan

Perancangan kendali dengan metode decoupling pada sistem di atas dapat diterapkan. Tanggapan sistem yang stabil diperoleh dari pergeseran nilai eigen dari nilai awal minimal 3 kali. Semakin besar pergeseran nilai eigen menyebabkan tanggapan transien lebih cepat. Akan tetapi nilai dari pre-kompensator dan pengendali semakin membesar. Kestabilan sistem juga dipengaruhi oleh pengaruh perubahan ketinggian  $h_1$  dan  $h_2$  dimana

mengakibatkan nilai eigen lebih besar menyebabkan tanggapan transien lebih cepat lagi mengakibatkan sistem tidak stabil.

#### V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anca Maxim, Clara M.Ionescu, Cosmin Copot and Robin De Keyser, *Multivariable Model-Based Control Strategies for Level Control in a Quadruple Tank*, System Theory, Control and Computing (ICSTCC), 2013 17th International Conference IEEE 343 – 348, 2013.
- [2] M.T.Tham, *Multivariable Control : An Introduction to Decoupling Control*, Departement of Chemical and Process Engineering, University of Newcastle upon Tyne, 2009
- [3] Murni,Tri, *Pengenalan Dan Pendayagunaan Alat Pengaduk Dan Pengecap Untuk Pemurnian Uranium*, Seminar Iptek Nuklir Dan Pengelolaan Sumber Daya Tambang, Pusat Pengembangan Bahan Galian Dan Deologi Nuklir, Batan, Jakarta, 2012
- [4] Ogata, Katshuhiko, *Teknik Kontrol Automatik*, Edisi Kedua Jilid 1, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1996
- [5] C. Kuo, Benjamin, *Teknik Kontrol Automatik*, Edisi Bahasa Indonesia Jilid 1, PT. Prenhallindo, Jakarta, 1998.
- [6] Wahyu D.H., Thomas dan Agung P.,Y. Wahyu, *Analisis dan Desain Sistem Kontrol dengan MATLAB*, Penerbit Andi, Yogyakarta, 2002.