

# DINAMIKA PROSES SISTEM PURE CAPACITY PADA 2 TANGKI SERI

*by* Yulius Deddy Hermawan

---

**Submission date:** 08-Jun-2021 02:46PM (UTC+0700)

**Submission ID:** 1602716103

**File name:** F2\_SRKP\_2014\_Hermawan\_et\_al.pdf (433.09K)

**Word count:** 2516

**Character count:** 13232



## DINAMIKA PROSES SISTEM *PURE CAPACITY* PADA 2 TANGKI SERI

**Yulius Dedy Hermawan<sup>\*)</sup>, Siti Diyar Kholisoh,  
Affan Fajar Hamdani, dan Dustini Dewi Puspita**

Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, UPN "Veteran" Yogyakarta  
Jl. SWK 104 (Lingkar Utara), Condong Catur, Yogyakarta 55283

<sup>\*)</sup>Email: [ydhermawan@gmail.com](mailto:ydhermawan@gmail.com)

### **Abstract**

The dynamic behaviors of pure capacity system for 2 liquid tanks in series have been studied experimentally. Two square tanks were designed and arranged in series for investigation in laboratory. The 1<sup>st</sup> tank (Tank-1) has an input stream, stream-*i*, (water stream with its volumetric rate of  $f_i(t)$  [ $\text{cm}^3/\text{min}$ ]). The liquid of Tank-1 was then be pumped to the 2<sup>nd</sup> tank (Tank-2) with its volumetric rate of  $f_1(t)$  [ $\text{cm}^3/\text{min}$ ]. The volumetric rate of  $f_1(t)$  can be adjusted by changing the voltage of pump,  $m(t)$ . Whereas the output volumetric rate of Tank-2  $f_2(t)$  was affected by the liquid level in Tank-2. In this study, the mass disturbance load has been made based on step decrease and increase. Those disturbances included the changes of the volumetric rate of water stream  $f_i(t)$  and of the voltage of pump  $m(t)$ . The dynamic behavior of the pure capacity system has been explored. As can be seen from our investigation, the liquid level dynamic in both of Tank-1 and Tank-2 were unstable. The liquid level responses in Tank-1 and Tank-2 were typical with ramp response. Furthermore, the open loop liquid dynamic simulation was also done by using Scilab software, and its simulation results were compared with those results from laboratory. The developed mathematical model of the pure capacity system has been solved numerically. According to our experiment in laboratory and our dynamic simulation, the trends of simulation results were quite similar with those in our experiment results.

**Keywords:** Dynamic Behavior; Pure Capacity System; Ramp Response; Step Function; and Unstable Response

### **PENDAHULUAN**

Sistem *pure capacity* dapat ditemukan pada sistem multi kapasitas, yaitu sistem *non-interacting-tank* maupun sistem *interacting-tank*. Sistem multi kapasitas terdiri atas dua (atau lebih) tangki yang tersusun secara seri, dimana fluida dari tangki satu dipindahkan/dialirkan ke tangki yang lainnya dengan menggunakan pompa. Proses *pure capacity* dikenal juga dengan *integrating process* dan sering dijumpai di industri. Sistem proses ini sangat sensitif terhadap perubahan input, misalnya perubahan laju alir volumetrik umpan dan perubahan energi pompa. Jika tidak dikendalikan, respons sistem *pure capacity*, khususnya respons level cairan di dalam tangki menjadi tidak stabil. Gangguan massa maupun termal yang terjadi dapat merambat ke proses selanjutnya, dan menimbulkan efek yang sangat besar terhadap proses berikutnya atau sering dikenal sebagai *snowball effect*. Oleh karena itu, dinamika proses sistem *pure capacity* sangat penting untuk dipelajari agar gangguan yang mungkin timbul dapat ditanggulangi dengan baik.

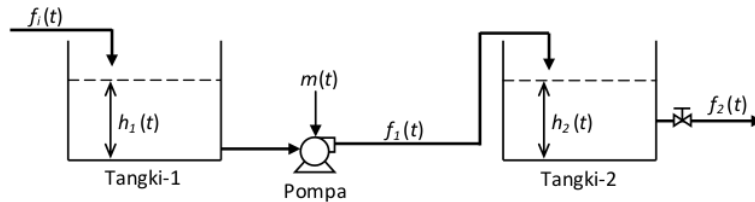
Beberapa penelitian tentang dinamika proses sistem multi kapasitas yang mendukung penelitian ini telah dilakukan. Pada tahun 2010, Hermawan Y.D., dkk. telah membahas dinamika proses pada sistem *non-interacting-tank* dengan arus *recycle*. Perancangan pengendalian suhu dan level pada sistem *non-interacting-tank* telah dilakukan [Hermawan Y.D., dkk, 2010]. Selanjutnya, tahun 2012, Hermawan Y.D melakukan kajian simulasi *loop* tertutup pada sistem *non-interacting-tank*.

Dalam penelitian ini, untuk memodelkan sistem *pure capacity* di laboratorium, 2 tangki *square* dengan volume masing-masing 10 L dirancang dan disusun secara seri. Air digunakan sebagai fluida dan diumpankan ke Tangki-1, kemudian dipompa ke Tangki-2. Laju alir fluida keluaran pompa dapat diatur dengan mengatur tegangan pompa. Untuk mempelajari kelakuan dinamik pada sistem *pure capacity*, gangguan laju alir volumetrik arus input Tangki-1, dan tegangan pompa dibuat berdasarkan fungsi tahap (*step function*), karena pembuatan gangguan ini mudah dilakukan di laboratorium. Respons dinamis berdasarkan perubahan input diamati sampai diperoleh kondisi tunak (*steady state*) yang baru. Model

matematika sistem *pure capacity* dibangun dan diselesaikan secara numerik menggunakan metode eksplisit euler. Penelitian ini diharapkan bermanfaat untuk mendukung perancangan pengendalian level cairan pada sistem *pure capacity*.

### LANDASAN TEORI

Sistem *pure capacity* pada 2 tangki seri dapat dilihat pada **Gambar 1**. Umpan dialirkan menuju ke Tangki-1 dengan laju alir volumetrik  $f_1(t)$  [ $\text{cm}^3/\text{menit}$ ]. Cairan dari Tangki-1 dipompa ke Tangki-2. Laju alir keluaran pompa  $f_1(t)$  [ $\text{cm}^3/\text{menit}$ ] dapat diatur dengan mengatur tegangan pompa  $m(t)$  [volt]. Sedangkan Laju alir volumetrik keluaran Tangki-2  $f_2(t)$  [ $\text{cm}^3/\text{menit}$ ] dapat diatur menggunakan *valve*.



**Gambar 1.** Sistem *pure capacity* pada 2 tangki seri.

Sistem persamaan diferensial (model matematika) dari sistem *pure capacity* yang dihasilkan adalah sebagai berikut:

$$\frac{dh_1(t)}{dt} = (f_1(t) - f_1(t)) / A_1 \quad (1)$$

$$\tau_p \frac{df_1(t)}{dt} + f_1(t) = K_p m(t) \quad (2)$$

$$\frac{dh_2(t)}{dt} = (f_1(t) - f_2(t)) / A_2 \quad (3)$$

$$f_2(t) = C_v h_2(t)^\alpha \quad (4)$$

Penyelesaian sistem persamaan diferensial secara numerik menggunakan metode eksplisit euler adalah sebagai berikut:

$$h_1(j+1) = h_1(j) + \Delta t (f_1(j) - f_1(j)) / A_1 \quad (5)$$

$$f_1(j+1) = f_1(j) + \Delta t \left( \frac{K_p}{\tau_p} m(j) - \frac{1}{\tau_p} f_1(j) \right) \quad (6)$$

$$h_2(j+1) = h_2(j) + \Delta t (f_1(j) - C_v h_2(j)^\alpha) / A_2 \quad (7)$$

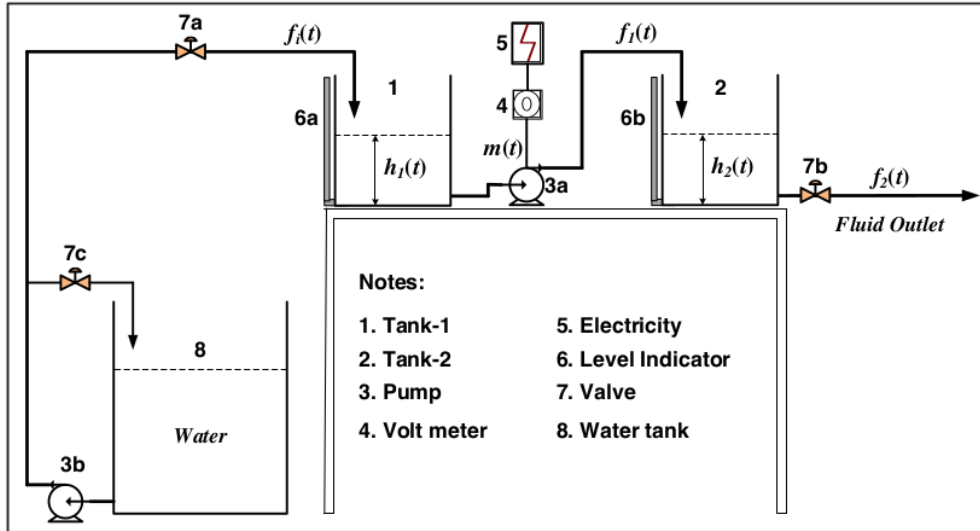
### METODOLOGI

Rangkaian alat percobaan sistem *pure capacity* ditunjukkan pada **Gambar 2**. Pada percobaan ini digunakan 2 tangki berbentuk segi empat (*square*) yang disusun seri (No. 1 dan 2 pada **Gambar 2**). Laju alir umpan air  $f_1(t)$  menuju Tangki 1 diatur menggunakan *valve* (No. 7a **Gambar 2**). Air dari Tangki 1 dialirkan ke Tangki-2 menggunakan pompa (No. 3a **Gambar 2**). Laju alir volumetrik  $f_1(t)$  diatur dengan mengatur tegangan pompa menggunakan *voltmeter* (No. 4 **Gambar 2**). Laju alir arus keluar Tangki-2  $f_2(t)$  diatur menggunakan *valve* (No. 7b **Gambar 2**).

Percobaan ini dilaksanakan melalui beberapa tahapan sebagai berikut:

- **Percobaan Pendahuluan:** Percobaan pendahuluan dilaksanakan untuk menentukan parameter *steady state*, yaitu: laju alir volumetrik:  $f_1$ ,  $f_2$ ; level cairan:  $h_1$  dan  $h_2$ ; dan tegangan pompa:  $m$ , serta parameter  $C_v$  dan  $\alpha$  pada persamaan (4).
- **Percobaan Dinamis (*open loop*):** Gangguan dibuat dengan mengurangi/menambah laju alir volumetrik input  $f_1(t)$  dan tegangan pompa  $m(t)$  berdasarkan fungsi tahap (*step decrease* dan *step increase*). Laju alir volumetrik input  $f_1(t)$  diubah menggunakan *valve*. Sedangkan, tegangan pompa  $m(t)$  dapat diubah menggunakan *voltmeter*. Kemudian, level cairan di dalam Tangki-1 dan Tangki-2 diamati perubahannya.
- **Simulasi Model Matematika:** Persamaan matematika sistem *pure capacity* (persamaan (1), (2), (3) dan (4)) diselesaikan secara serempak menggunakan metode numerik eksplisit euler. Simulasi penyelesaian model matematika dilakukan dengan bantuan *software* Scilab. Kemudian, hasil

penyelesaian sistem persamaan tersebut diplotkan dalam grafik respon dan dibandingkan dengan data yang diperoleh dari percobaan laboratorium.



Gambar 2. Rangkaian alat percobaan sistem *pure capacity*.

#### HASIL DAN PEMBAHASAN

Percobaan pendahuluan menghasilkan parameter-parameter kondisi tunak pada **Tabel 1**. Berdasarkan hasil percobaan pendahuluan, diperoleh konstanta waktu proses (*process time constant*) sebesar 0,28 menit. Hal ini berarti bahwa proses sensitif terhadap perubahan input.

**Tabel 1.** Parameter kondisi tunak

No	Parameter Tunak	Nilai Tunak
1	Laju alir volumetrik arus input ke Tangki 1, $f_i$ ( $\text{cm}^3/\text{menit}$ )	14.125,76
2	Laju alir volumetrik arus output dari Tangki 1, $f_1$ ( $\text{cm}^3/\text{menit}$ )	14.125,76
3	Laju alir volumetrik arus output dari Tangki 2, $f_2$ ( $\text{cm}^3/\text{menit}$ )	14.125,76
4	Tegangan pompa, $m$ (volt)	63
5	Level cairan di Tangki 1, $h_1$ (cm)	10
6	Level cairan di Tangki 2, $h_2$ (cm)	10
7	Gain proses pada pompa, $K_p$ ( $\text{cm}^3/\text{menit volt}$ )	224,22
8	Koefisien valve, $C_v$ pada persamaan (4)	2.381,77
9	Koefisien pangkat, $\alpha$ , pada persamaan (4)	0,77
10	Luas penampang Tangki 1, $A_1$ ( $\text{cm}^2$ )	400
11	Luas penampang Tangki 2, $A_2$ ( $\text{cm}^2$ )	400

Hasil percobaan di laboratorium dan simulasi model matematika sistem *pure capacity* adalah sebagai berikut:

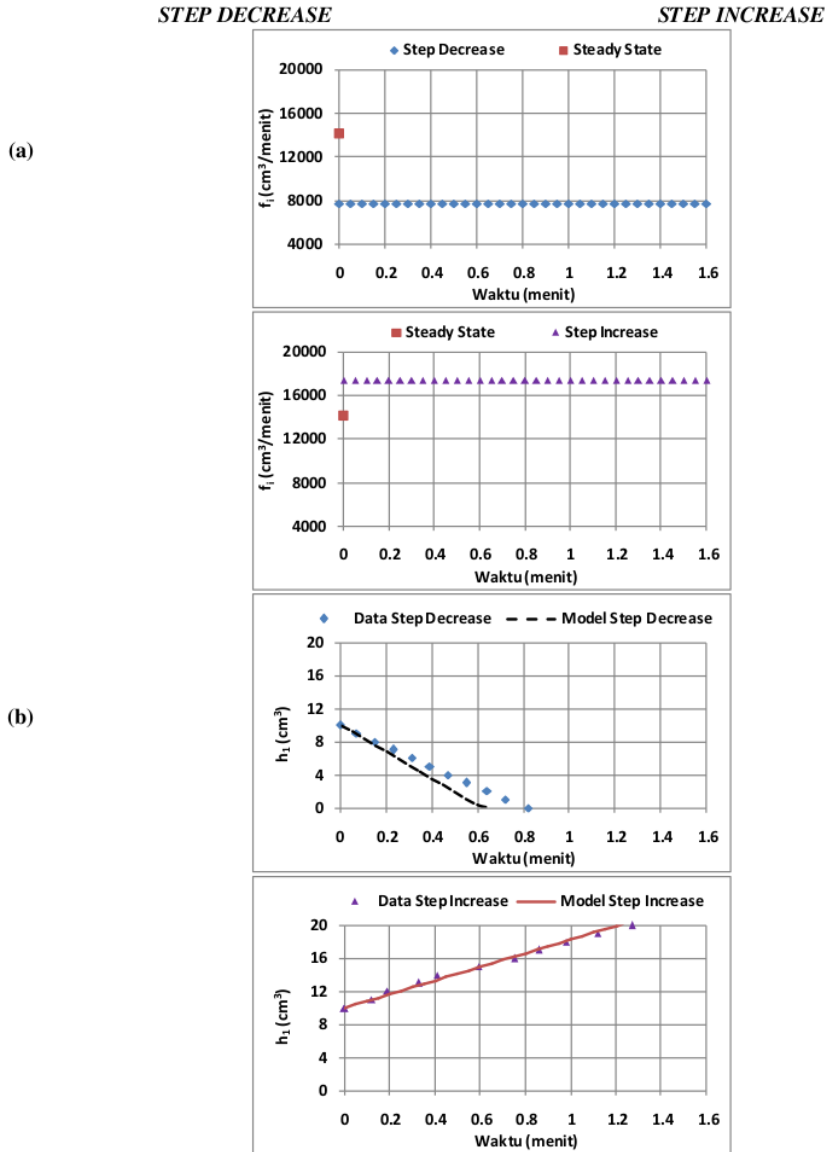
Step decrease  $f_i$  (laju alir volumetrik input) dengan beban  $\Delta f_i = -6472,55 \text{ cm}^3/\text{menit}$

Laju alir volumetrik  $f_i$  diturunkan nilainya menurut fungsi tahap (*step decrease*) dari  $14.125,76 \text{ cm}^3/\text{menit}$  menjadi  $7653,21 \text{ cm}^3/\text{menit}$  (**Gambar 3.a**). Dapat dipahami bahwa dengan turunnya laju alir volumetrik input  $f_i$  dan laju alir volumetrik output  $f_1$  konstan, maka level cairan di Tangki-1 ( $h_1$ ) turun dan akhirnya habis (**Gambar 3.b**). Sedangkan level cairan di Tangki-2 ( $h_2$ ) konstan dan mulai turun ketika cairan di Tangki-1 habis (**Gambar 3.c**). Seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 3.b** dan **Gambar 3.c**, respons level cairan di kedua tangki adalah tidak stabil.

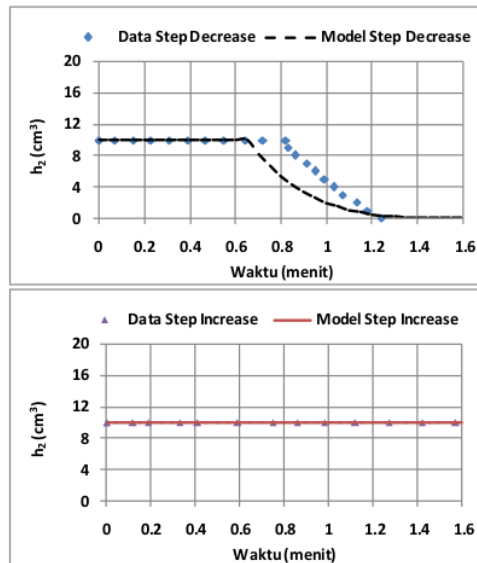
Step increase  $f_i$  (laju alir volumetrik input) dengan beban  $\Delta f_i = +3303,15 \text{ cm}^3/\text{menit}$



Laju alir volumetrik  $f_i$  dinaikkan nilainya menurut fungsi tahap (*step increase*) dari 14.125,76  $\text{cm}^3/\text{menit}$  menjadi 17428,91  $\text{cm}^3/\text{menit}$  (**Gambar 3.a**). Kenaikan laju alir volumetrik input  $f_i$ , menyebabkan *level* cairan Tangki-1 ( $h_1$ ) naik dan akhirnya *overflow* (**Gambar 3.b**). Hal ini terjadi karena laju alir arus input ( $f$ ) lebih besar dari arus output ( $f_1$ ). Respons *level* cairan di Tangki-1 adalah tidak stabil dan responsnya seperti *ramp response*. Sedangkan *level* cairan di Tangki-2 ( $h_2$ ) konstan (**Gambar 3.c**), karena laju alir volumetrik  $f_1$  konstan.



(c)



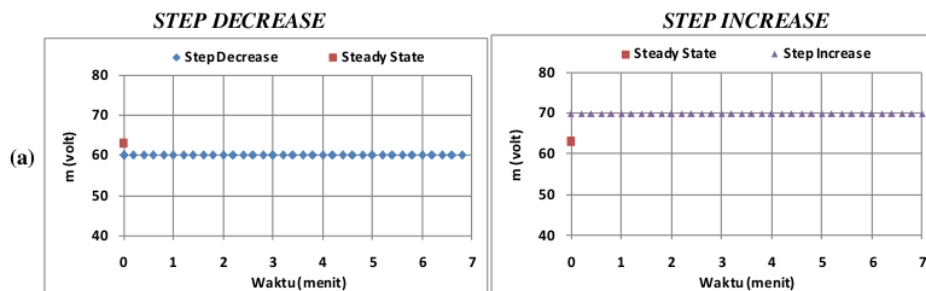
**Gambar 3.** Respons dinamis sistem *pure capacity* terhadap perubahan laju alir volumetrik  $f_i$ . (a) laju alir volumetrik  $f_i$ , (b) level cairan di Tangki-1  $h_1$ , (c) level cairan di Tangki-2  $h_2$ .

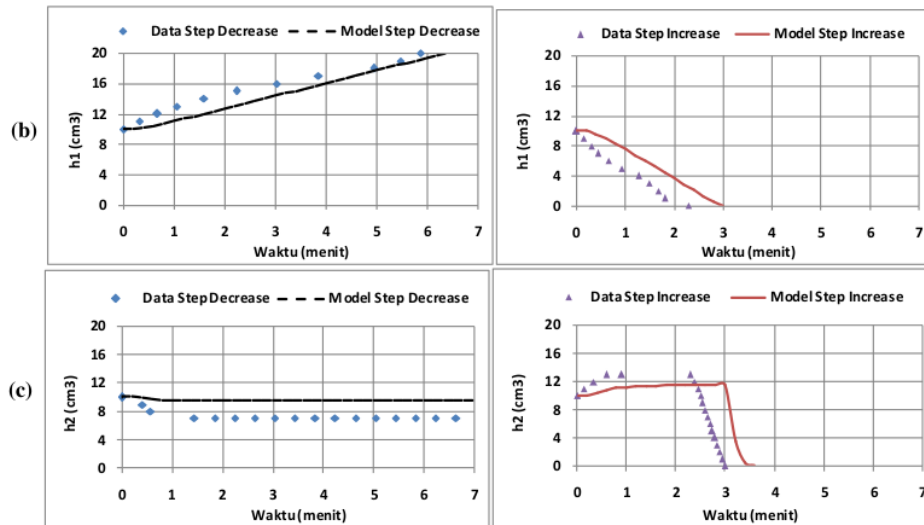
Step decrease  $m$  (tegangan pompa) dengan beban  $\Delta m = -3$  volt

Tegangan pompa  $m$  diturunkan nilainya menurut fungsi tahap (*step decrease*) dari 63 volt menjadi 60 volt (**Gambar 4.a**). Turunnya tegangan pompa menyebabkan laju alir volumetrik  $f_i$  turun sehingga level cairan di Tangki-1 ( $h_1$ ) naik dan akhirnya *overflow* (**Gambar 4.b**). Seperti halnya perubahan *step increase*  $f_i$ , respons level cairan di Tangki-1 adalah tidak stabil dan seperti *ramp response*. Sedangkan level cairan di Tangki-2 ( $h_2$ ) turun dan akhirnya konstan (**Gambar 4.c**). Hal ini berarti bahwa laju alir volumetrik arus *input* Tanki-2 ( $f_1$ ) adalah sama dengan laju alir volumetrik arus *output* Tanki-2 ( $f_2$ )

Step increase  $m$  (tegangan pompa) dengan beban  $\Delta m = +7$  volt

Tegangan pompa  $m$  dinaikkan nilainya menurut fungsi tahap (*step increase*) dari 63 volt menjadi 70 volt (**Gambar 4.a**). Kenaikan tegangan pompa menyebabkan laju alir volumetrik  $f_i$  naik, sehingga level cairan di Tangki-1 ( $h_1$ ) turun dan akhirnya habis (**Gambar 4.b**). Hal ini terjadi karena laju alir volumetrik arus *output* Tanki-1 lebih besar dari laju alir volumetrik arus *input*. Sedangkan level cairan di Tangki-2 ( $h_2$ ) awalnya naik dan akhirnya mulai turun ketika cairan di Tangki-1 habis (**Gambar 4.c**).





Gambar 4. Respons dinamis sistem *pure capacity* terhadap perubahan tegangan pompa  $m$ : (a) tegangan pompa  $m$ , (b) level cairan di Tangki-1  $h_1$ , (c) level cairan di Tangki-2  $h_2$ .

#### KESIMPULAN

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa sistem *pure capacity* memberikan respon yang tidak stabil terhadap perubahan laju alir volumetrik arus input ( $f_i$ ) dan tegangan pompa ( $m$ ). *Ramp response* juga ditunjukkan pada respons level cairan di kedua tangki. Penelitian ini juga mengungkapkan bahwa respons level cairan di kedua tangki hasil dari simulasi model matematika dan hasil percobaan laboratorium menunjukkan perilaku dinamis yang sama.

#### DAFTAR NOTASI

$A_{1,2}$  : Luas penampang Tangki 1, 2 [cm<sup>2</sup>]  
 $C_v$  : Koefisien *valve* pada persamaan  $f_2(t) = C_v h_2(t)^\alpha$   
 $f_{i,1,2}$  : Laju alir volumetrik arus- $i$ , 1, 2 [cm<sup>3</sup>/menit]  
 $h_{1,2}$  : Ketinggian (*level*) cairan di Tangki 1, 2 [cm]  
 $K_p$  : *Gain process* pada pompa [cm<sup>3</sup>/(menit watt)]  
 $m$  : Tegangan pompa [volt]  
 $t$  : Waktu (menit)

#### DAFTAR SIMBOL

$\alpha$  = Koefisien pangkat,  $\alpha=0.77$ , pada persamaan  $f_2(t) = C_v h_2(t)^\alpha$   
 $\tau_p$  = Konstanta waktu pada pompa (menit);  $\tau_p=1$  menit

#### DAFTAR PUSTAKA

- Hermawan Y.D., (2012), Dynamic Simulation and Control in A Non-Interacting-Tank System, 19<sup>th</sup> Regional Symposium on Chemical Engineering, Department of Chemical Engineering, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya, November 27-28, 2012, Bali, Indonesia: B-27-1 – B-27-6.
- Hermawan Y.D., Suksmono Y., Narno Putra R.M., Puspitasari M., (2010), Perancangan Konfigurasi Pengendalian Proses pada Sistem Non-Interacting-Tank dengan Analisis Kuantitatif *Relative Gain Array*, Seminar Nasional Teknologi Simulasi (TEKNOSIM) 2010, Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada: 75 – 8.
- Hermawan, Y.D., Suksmono, Y., Dewi, D.U., dan Widyaswara, W., (2010), Dinamika Level Cairan pada Sistem Tangki-Seri-Tak-Berinteraksi dengan Arus Recycle, Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan" 2010, Program Studi Teknik Kimia, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta: D08-1 – D08-6.





SEMINAR REKAYASA KIMIA DAN PROSES 2014  
ISSN : 1411-4216

- 2 Hermawan, Y.D., Suksmono, Y., Sulistyowati, E., Cicilia, E., dan Aisyah, D.S. 2010. Dinamika Suhu pada Sistem Tangki-Seri-Tak-Berinteraksi dengan Arus Recycle, *Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan"* 2010, Program Studi Teknik Kimia, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta: D10-1 – D10-6.
- 2 Stephanopoulos, G., (1984), *Chemical Process Control: An Introduction to Theory and Practice*, PTR. Prentice-Hall, Inc., A Simon and Shuster Company, New Jersey.



# DINAMIKA PROSES SISTEM PURE CAPACITY PADA 2 TANGKI SERI

## ORIGINALITY REPORT

8%

SIMILARITY INDEX

%

INTERNET SOURCES

%

PUBLICATIONS

8%

STUDENT PAPERS

## PRIMARY SOURCES

1

Submitted to Universitas Diponegoro

Student Paper

5%

2

Submitted to UPN Veteran Yogyakarta

Student Paper

3%

Exclude quotes  On

Exclude bibliography  On

Exclude matches  < 2%