

# Perancangan Konfigurasi Pengendalian Proses pada Sistem Non Interacting Tank dengan Analisis Kuantitatif Relative Gain Array

*by* Yulius Deddy Hermawan

---

**Submission date:** 09-Jun-2021 08:18AM (UTC+0700)

**Submission ID:** 1603142234

**File name:** 19\_Yulius\_TKUPNVY\_TEKNOSIM\_2010.pdf (189.9K)

**Word count:** 2591

**Character count:** 14215

**Perancangan Konfigurasi Pengendalian Proses pada Sistem *Non Interacting Tank*  
dengan Analisis Kuantitatif *Relative Gain Array***

**Yulius Meddy Hermawan, Yogi Suksmono, Ranggi Habibie Narno Putra dan Mitha Puspitasari**  
Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, UPN "Veteran" Yogyakarta  
Jl. Lingkar Utara (SWK 104) Condongcatur, Yogyakarta 55283  
E-mail: ydhermawan@gmail.com

**Intisari**

Penelitian ini bertujuan untuk merancang konfigurasi pengendalian proses pada sistem *Non Interacting Tank (NIT)* dengan analisis kuantitatif *Relative Gain Array (RGA)*. Sistem *NIT* dibuat di laboratorium dengan menggunakan 2 tangki silinder masing-masing berkapasitas 25 liter yang dipasang secara seri. Pada tangki kedua dipasang pemanas listrik. Fluida yang digunakan adalah air dengan asumsi densitasnya konstan. Pada penelitian ini dilakukan 2 tahapan percobaan yaitu percobaan pendahuluan dan percobaan *RGA* secara *open loop*. Percobaan pendahuluan menghasilkan beberapa parameter steady sebagai berikut: laju alir volumetrik input ( $f_1$ ) dan output ( $f_1$ ) Tangki-1 sebesar 15,15 ml/det, laju alir volumetrik input ( $f_1$ ) dan output ( $f_2$ ) Tangki-2 sebesar 15,15 ml/det, level cairan di Tangki-1 ( $h_1$ ) 15,5 cm, level cairan di Tangki-2 ( $h_2$ ) 15,1 cm, suhu pada Tangki-1 ( $T_1$ ) 28°C, suhu pada Tangki-2 ( $T_2$ ) 28°C dan pemanas listrik ( $q_e$ ) 0 Watt. Aliran output dari Tangki-1 merupakan input Tangki-2. Pada percobaan *RGA*, calon manipulated variable (*MV*) diubah secara manual mengikuti fungsi tahap dan direkam respon output atau controlled variable (*CV*) terhadap perubahan *MV*. Berdasarkan hasil perhitungan *RGA*, diperoleh pasangan-pasangan konfigurasi pengendalian proses sebagai berikut: variabel proses  $f_1$  dikendalikan oleh  $f_1$ , variabel proses  $h_1$  dikendalikan oleh  $f_1$ , variabel proses  $h_2$  dikendalikan oleh  $f_2$ , dan variabel proses  $T_2$  dikendalikan oleh  $q_e$ . Selanjutnya simulasi dinamik (*closed loop*) pada sistem *NIT* perlu dilakukan untuk menguji kinerja dari konfigurasi pengendalian yang telah dihasilkan.

Kata kunci: *Controlled Variable (CV)*, *Fungsi Tahap*, *Manipulated Variable (MV)*, *Non-Interacting-Tank (NIT)*, dan *Relative Gain Array (RGA)*.

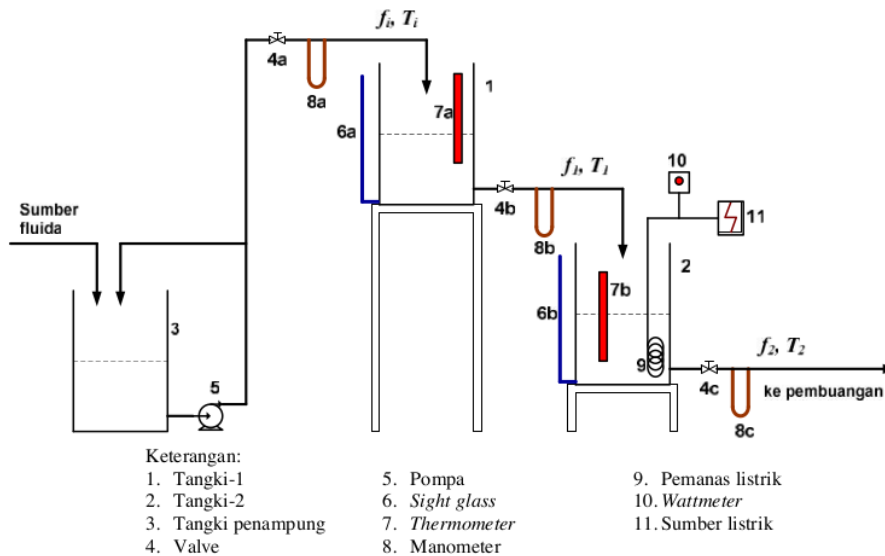
**Pendahuluan**

Sistem multikapasitas terdiri dari sistem *Non Interacting Tank (NIT)* dan sistem *Interacting Tank (IT)*. Meskipun sistem multikapasitas tersebut sering dijumpai di Industri Kimia, Petrokimia, Minyak dan Gas, tetapi kajian dinamika proses dan kontrol untuk sistem tersebut jarang dilakukan. Oleh karena itu, penelitian ini mempelajari dinamika proses dan penyusunan konfigurasi pengendalian proses pada sistem multikapasitas khususnya sistem *NIT*.

Beberapa upaya penelitian tentang dinamika proses pada sistem multikapasitas telah dilakukan. Saputro, A.W dan Pamungkas, A.G (2007) telah meneliti pengaruh *deadtime* terhadap dinamika suhu pada sistem *NIT*, sedangkan Huda, M dan Nunun, I.H (2007) mempelajari pengaruh *deadtime* terhadap dinamika suhu pada sistem *IT*. Pada tahun 2010 Hermawan Y.D., dkk. telah melakukan penelitian tentang dinamika proses pada sistem *NIT* dengan arus *recycle*. Penelitian-penelitian yang pernah dilakukan tersebut belum mengkaji masalah konfigurasi pengendalian proses pada sistem multikapasitas. Di lain pihak, penelitian tentang perancangan konfigurasi pengendalian proses secara kuantitatif menggunakan metode *Relative Gain Array (RGA)* pada sistem *Heat Exchanger Network* telah dilakukan oleh Hermawan, Y.D dan Wongsri, M (2007).

Konfigurasi pengendalian proses dapat ditentukan secara kualitatif maupun kuantitatif. Masalah yang muncul pada penentuan konfigurasi pengendalian proses adalah bagaimana memasangkan *Controlled Variable (CV)* dan *Manipulated Variable (MV)* yang tepat. Konfigurasi pasangan *CV* dan *MV* tersebut mungkin lebih dari satu. Dalam penelitian ini, metode *RGA* dipilih untuk menentukan konfigurasi pengendalian proses khususnya pada sistem *NIT*. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi penting tentang konfigurasi pengendalian proses pada sistem *NIT* bagi peneliti lain atau bagi dunia industri.





Gambar 1. Rangkaian alat percobaan

**Metodologi**

Gambar 1 menunjukkan rangkaian alat percobaan sistem NIT pada penelitian ini. Nomor 1 dan Nomor 2 pada Gambar 1 merupakan Tangki-1 dan Tangki-2 yang tersusun secara seri dimana mencerminkan sistem tangki seri-tak-berinteraksi (NIT). Tangki-1 dan Tangki-2 mempunyai dimensi yang sama, yaitu diameter = 25 cm, dan tinggi = 50 cm. Pemanas listrik dipasang pada Tangki-2 dan dihidupkan pada saat melakukan percobaan RGA untuk menguji pengaruh panas listrik terhadap suhu. Fluida yang digunakan pada penelitian ini adalah air dengan asumsi densitasnya konstan.

Penelitian ini dilaksanakan melalui 2 tahapan percobaan, yaitu percobaan pendahuluan dan percobaan RGA secara *open loop*. Percobaan pendahuluan dilakukan untuk mendapatkan parameter parameter pada kondisi tunak (*steady state parameters*) untuk sistem NIT. Sedangkan percobaan RGA dimaksudkan untuk menentukan pasangan-pasangan variabel terkendali dan variabel termanipulasi (CV-MV) pada sistem NIT.

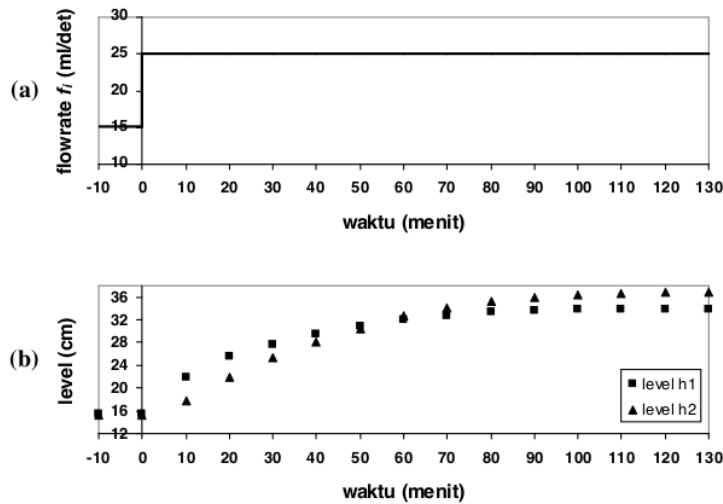
Berdasarkan analisis derajat kebebasan, diperoleh 4 variabel yang harus dikendalikan, yaitu: laju alir arus input Tangki-1 ( $f_i$ ), level cairan di Tangki-1 ( $h_1$ ), level cairan di Tangki-2 ( $h_2$ ), dan suhu cairan di Tangki-2 ( $T_2$ ). Selanjutnya, empat variabel yang harus dikendalikan tersebut disebut sebagai *controlled variable* (CV). Empat variabel lain yang diusulkan sebagai calon *manipulated variable* (MV) adalah laju alir arus input Tangki-1 ( $f_i$ ), laju alir arus output Tangki-1 ( $f_1$ ), laju alir arus output Tangki-2 ( $f_2$ ), dan energi (panas) listrik ( $q_e$ ). Pada percobaan RGA, setiap calon MV diubah mengikuti fungsi tahap (*step function*), kemudian direkam respon CV (*output*) terhadap perubahan MV tersebut.

Tabel I. Parameter *steady* pada sistem NIT.

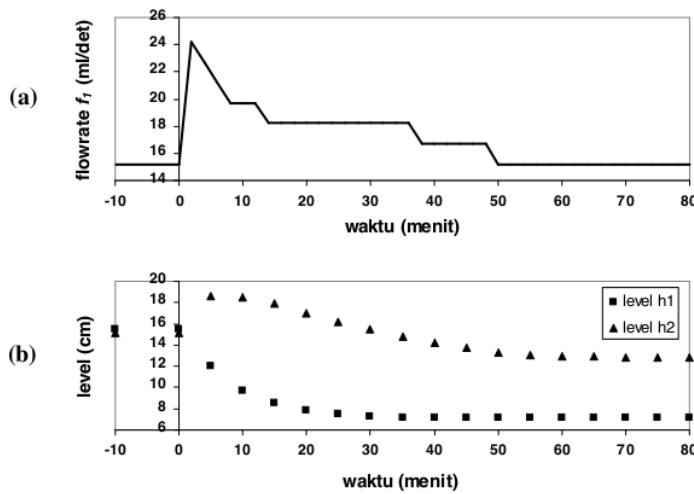
Tangki 1	Nilai	Tangki 2	Nilai
flowrate input, $f_i$ (cm <sup>3</sup> /det)	15,2	flowrate input, $f_i$ (cm <sup>3</sup> /det)	15,2
flowrate output, $f_1$ (cm <sup>3</sup> /det)	15,2	flowrate output, $f_2$ (cm <sup>3</sup> /det)	15,2
level cairan, $h_1$ (cm)	15,5	level cairan, $h_2$ (cm)	15,1
suhu, $T_1$ (°C)	28	suhu, $T_2$ (°C)	28
valve input (%-open)	40	daya pemanas, $q_e$ (Watt)	0
valve output (%-open)	50	valve input (%-open)	50
		valve output (%-open)	50

**Hasil dan Pembahasan**

Parameter-parameter *steady* yang dihasilkan dari percobaan pendahuluan disajikan pada Tabel I. Selanjutnya, parameter-parameter *steady* ini digunakan sebagai nilai awal (*initial value*) pada percobaan RGA, dan dibahas sebagai berikut.

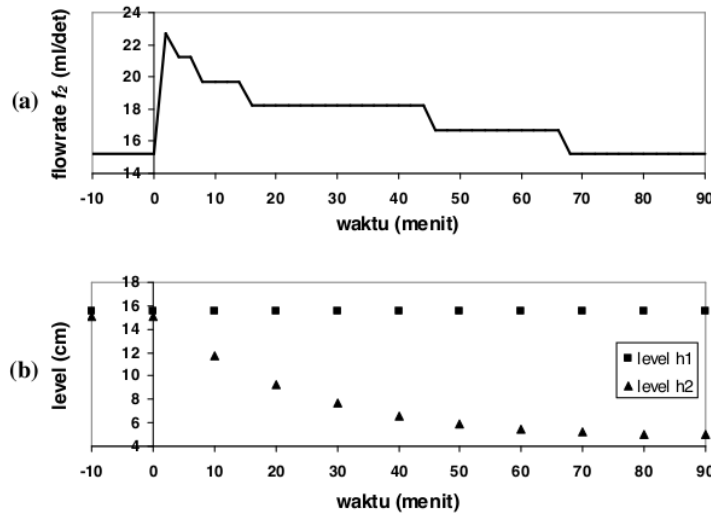


Gambar 2. Respon dinamik sistem NIT terhadap perubahan laju alir  $f_i$  menurut fungsi tahap dari 40% valve open sampai 60% valve open. (a) step increase  $f_i$ , (b) respon level

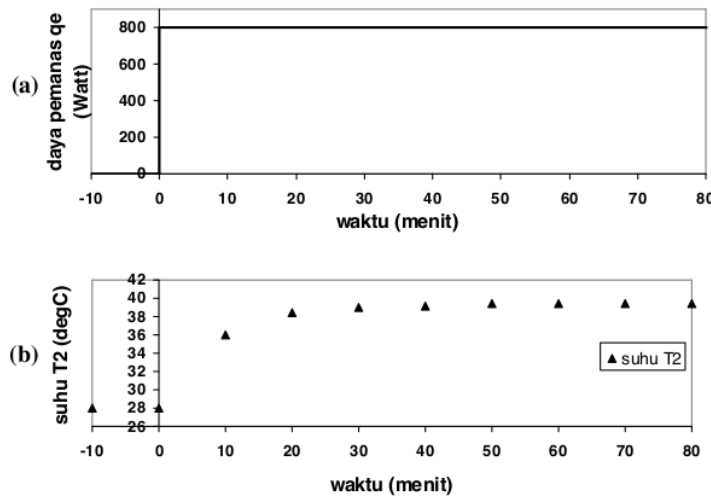


Gambar 3. Respon dinamik sistem NIT terhadap perubahan laju alir  $f_i$  menurut fungsi tahap dari 50% valve open sampai 70% valve open. (a) step increase  $f_i$ , (b) respon level





Gambar 4. Respon dinamik sistem NIT terhadap perubahan laju alir  $f_2$  menurut fungsi tahap dari 50% valve open sampai 70% valve open. (a) step increase  $f_2$ , (b) respon level



Gambar 5. Respon dinamik sistem NIT terhadap perubahan laju panas  $q_e$  menurut fungsi tahap dari 0 Watt sampai 800 Watt. (a) step increase  $q_e$ , (b) respon suhu

**Step increase  $f_i$  dari 40% valve open (15.15 mL/det) sampai 60% valve open (25 mL/det)**

Respon dinamik sistem NIT terhadap step increase  $f_i$  diilustrasikan pada Gambar 2. Ketika  $f_i$  berubah menurut fungsi step increase, maka level  $h_1$  dan  $h_2$  mengalami kenaikan. Awalnya,  $h_1$  dan  $h_2$  sama-sama naik tetapi  $h_1$  melonjak lebih tinggi dibandingkan  $h_2$ . Hal ini disebabkan pengaruh penambahan volume air yang masuk ke Tangki-1 yang berasal dari step increase  $f_i$  lebih besar dari pada yang masuk ke Tangki-2.



Mulai waktu 50 menit, level  $h_2$  sudah mendekati  $h_1$ , dan akhirnya  $h_2$  melampaui  $h_1$  sampai keduanya mencapai titik *steady* baru. Hal ini terjadi mungkin karena karakteristik *valve* pada arus  $f_1$  dan arus  $f_2$  yang berbeda dan sifat ketidak-linearitas arus output tersebut. Titik *steady*  $h_1$  33,9 cm tercapai pada waktu sekitar 90 menit, dan  $h_2$  36,8 cm pada waktu sekitar 110 menit.

**Step increase  $f_1$  dari 50% valve open sampai 70% valve open**

Respon dinamik sistem NIT terhadap *step increase*  $f_1$  diilustrasikan pada Gambar 3. Berdasarkan Gambar 3.b ditemukan respon terbalik pada level di Tangki-2 ( $h_2$ ) yang dikenal dengan *inverse response*. Jika bukaan *valve* arus  $f_1$  ditambah (dari 50% menjadi 70%) secara tiba-tiba, maka awalnya respon dinamik level berada dalam arah yang berlawanan,  $h_1$  turun sementara  $h_2$  naik. Perbesaran bukaan *valve* arus  $f_1$  menyebabkan laju alir  $f_1$  naik drastis sesaat, sehingga bisa dipahami bahwa level  $h_2$  naik sesaat kemudian turun lagi sampai tercapai kondisi *steady* baru. Pada saat  $h_1$  mulai menunjukkan tanda-tanda *steady*,  $h_2$  merambat turun. Nilai *steady* baru  $h_1$  7,1 cm tercapai pada waktu sekitar 30 menit, sedangkan nilai *steady* baru  $h_2$  12,8 cm tercapai sekitar 60 menit.

**Step increase  $f_2$  dari 50% valve open sampai 70% valve open**

Respon dinamik sistem NIT terhadap *step increase*  $f_2$  diilustrasikan pada Gambar 4. Dari Gambar 4.b terlihat bahwa ketika arus  $f_2$  berubah, efeknya hanya nampak pada level  $h_2$ , sementara  $h_1$  konstan sampai percobaan selesai. Ini menunjukkan bahwa sistem yang digunakan adalah *Non Interacting Tank*. Pada waktu sekitar 80 menit,  $h_2$  mencapai nilai *steady* baru 5 cm.

**Step increase  $q_e$  dari 0 sampai 800 Watt**

Gambar 5 menunjukkan respon dinamik suhu sistem NIT terhadap perubahan beban panas listrik ( $q_e$ ) berdasarkan fungsi *step increase*. Berdasarkan pengamatan di laboratorium, perubahan  $q_e$  hanya berpengaruh kepada suhu cairan di Tangki-2 ( $T_2$ ), dengan kata lain perubahan  $q_e$  tidak mempengaruhi level cairan pada kedua tangki. Kondisi *steady* baru  $T_2$  39,5 °C tercapai pada waktu sekitar 40 menit.

**Analisis RGA**

RGA merupakan suatu teknik untuk memperkirakan efek-efek interaksi antara *loop-loop* pengendalian. Dalam penelitian ini, variabel-variabel  $f_1, h_1, h_2$ , dan  $T_2$  ditetapkan sebagai calon variabel yang akan dikendalikan (CV), sedangkan variabel-variabel:  $f_1, f_2$ , dan  $q_e$  ditetapkan sebagai calon variabel yang akan diubah-ubah (MV) untuk menjaga CV konstan. Langkah awal untuk menghitung RGA yaitu menghitung *gain* proses kondisi tunak ( $K_{ij}$ ). Nilai *gain* tersebut menunjukkan seberapa besar pengaruh MV terhadap CV, seperti ditunjukkan persamaan (1) berikut:

$$K_{ij} = \frac{\Delta O}{\Delta I} = \frac{\Delta CV}{\Delta MV} \dots\dots\dots (1)$$

Hasil percobaan *open loop* (respon output  $\Delta O$  terhadap perubahan input  $\Delta I$ ) digunakan untuk menghitung *gain* proses. Hasil perhitungan *gain* proses disajikan pada Tabel II. Untuk perubahan input dari  $f_1$  dan  $f_2$ : karena kondisi *steady* baru dari  $f_1$  dan  $f_2$  setelah *step increase* adalah sama dengan kondisi *steady* awal/mula-mula, maka yang dijadikan patokan  $\Delta I$  adalah selisih dari laju alir  $f_1$  maupun  $f_2$  sesaat (yang terbesar) setelah *step increase* dengan laju alir *steady* mula-mula. RGA dihitung dari matriks *gain* proses ( $\mathbf{K}$ ) menggunakan persamaan (2), dan hasilnya ditunjukkan pada Tabel III.

$$RGA = \mathbf{K}^T \times (\mathbf{K}^T)^{-1} \dots\dots\dots (2)$$

Analisis interaksi *Relative gain* ( $\lambda_{ij}$ ) dari RGA adalah sebagai berikut:

1. Untuk  $\lambda_{ij} = 1,0$ : tidak ada interaksi dengan *loop* lain, dan pasangan *i-j* harus digunakan.
2. Untuk  $\lambda_{ij} = 0$ : MV *j* tidak mempunyai pengaruh terhadap CV *i*.
3. Untuk  $0 < \lambda_{ij} < 1,0$ : masih ada interaksi dengan *loop* lain, tetapi pasangan *i-j* masih disukai.
4. Untuk  $\lambda_{ij} > 1,0$ : interaksi dengan *loop* lain akan mengurangi kinerja *loop* pengendali.
5. Untuk  $\lambda_{ij} < 0$ : pasangan *i-j* mungkin akan menghasilkan respon yang tidak stabil.



Perhitungan RGA (Tabel III) menghasilkan nilai *relative gain* 0 (nol) dan 1 (satu). Ini berarti bahwa, jika *relative gain* bernilai 0, maka MV tidak berpengaruh terhadap CV, jika bernilai 1 menunjukkan tidak ada interaksi dengan *loop* pengendali lain, jadi pasangan MV dan CV harus digunakan. Akhirnya, percobaan RGA menghasilkan 4 pasangan CV-MV untuk sistem NIT sebagai berikut: (1)  $f_i$ ; (2)  $h_1$ ; (3)  $h_2$ ; dan (4)  $T_2$ . Konfigurasi pengendalian proses pada sistem NIT ditunjukkan pada Gambar 6.

**Kesimpulan**

Berdasarkan nilai elemen individu RGA, dapat disimpulkan bahwa konfigurasi pengendalian proses pada sistem NIT dengan pemanas di Tangki-2 adalah sebagai berikut: *flowrate* masuk Tangki-1 ( $f_i$ ) dikendalikan oleh  $f_i$  sendiri dengan dipasang *controller* FC, *level* cairan di Tangki-1 ( $h_1$ ) dikendalikan oleh *flowrate* keluar Tangki-1 ( $f_i$ ) dengan dipasang *controller* LC, *level* cairan di Tangki-2 ( $h_2$ ) dikendalikan oleh *flowrate* keluar Tangki-2 ( $f_2$ ) dengan dipasang *controller* LC, dan suhu cairan di Tangki-2 ( $T_2$ ) dikendalikan oleh laju pemanas listrik ( $q_e$ ) dengan dipasang *controller* TC. Selanjutnya, percobaan atau simulasi *closed loop* pada sistem pengendalian proses NIT perlu dilakukan untuk menguji kinerja konfigurasi pengendalian yang telah dihasilkan.

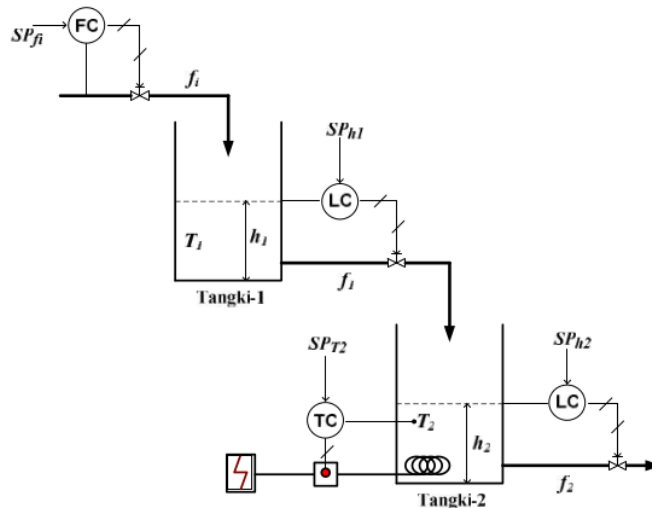
Tabel II. Perhitungan *gain* proses (K) sistem NIT

CV	MV	1	2	3	4
		$\Delta f_i$	$\Delta f_1$	$\Delta f_2$	$\Delta q_e$
1	$\Delta f_i$	$K_{11} = \frac{\Delta f_i}{\Delta f_i}$ = 1	$K_{12} = \frac{\Delta f_i}{\Delta f_1}$ = 0	$K_{13} = \frac{\Delta f_i}{\Delta f_2}$ = 0	$K_{14} = \frac{\Delta f_i}{\Delta q_e}$ = 0
2	$\Delta h_1$	$K_{21} = \frac{\Delta h_1}{\Delta f_i}$ = 1.8680	$K_{22} = \frac{\Delta h_1}{\Delta f_1}$ = -0.9491	$K_{23} = \frac{\Delta h_1}{\Delta f_2}$ = 0	$K_{24} = \frac{\Delta h_1}{\Delta q_e}$ = 0
3	$\Delta h_2$	$K_{31} = \frac{\Delta h_2}{\Delta f_i}$ = 2.2010	$K_{32} = \frac{\Delta h_2}{\Delta f_1}$ = -0.2621	$K_{33} = \frac{\Delta h_2}{\Delta f_2}$ = -1.3768	$K_{34} = \frac{\Delta h_2}{\Delta q_e}$ = 0
4	$\Delta T_2$	$K_{41} = \frac{\Delta T_2}{\Delta f_i}$ = 0	$K_{42} = \frac{\Delta T_2}{\Delta f_1}$ = 0	$K_{43} = \frac{\Delta T_2}{\Delta f_2}$ = 0	$K_{44} = \frac{\Delta T_2}{\Delta q_e}$ = 0.0144

Tabel III. *Relative Gain Array* (RGA) sistem NIT

CV	MV	1	2	3	4
		$f_i$	$f_1$	$f_2$	$q_e$
1	$f_i$	1	0	0	0
2	$h_1$	0	1	0	0
3	$h_2$	0	0	1	0
4	$T_2$	0	0	0	1





Gambar 6. Konfigurasi pengendalian proses sistem NIT

## Daftar Pustaka

- 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*, Jurusan Teknik Kimia, FTI, UPN "Veteran" Yogyakarta, D08-6-1 – D08-6-1.
- Hermawan, Y.D., Suksmono, Y., Sulistyowati, E., Cicilia, E., dan Aisiyah, D.S., 2010, Dinamika Suhu pada Sistem Tangki-Seri-Tak-Berinteraksi dengan Arus Recycle, *Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan" 2010*, Jurusan Teknik Kimia, FTI, UPN "Veteran" Yogyakarta, D10-1 – D10-1-6.
- Hermawan, Y.D., dan Wongsri, M., 2007, Analisis Kontrolabilitas *Heat Exchanger Network* dengan *Relative Gain Array* dan *Condition Number*: Kasus Integrasi Energi pada Proses HDA, *Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan" 2007*, Jurusan Teknik Kimia, FTI, UPN "Veteran" Yogyakarta, B11-1 – B11-6.
- Huda, M., dan Nunun, A.I.H., 2007, Dinamika Suhu Pada Tangki-Seri-Berinteraksi dengan Dead-Time, *Laporan Penelitian S1*, Jurusan Teknik Kimia, FTI, UPN "Veteran" Yogyakarta.
- Pamungkas A.G., dan Saputro, A.W., 2007, Dinamika Suhu Pada Tangki-Seri-Tak-Berinteraksi dengan Dead-Time, *Laporan Penelitian S1*, Jurusan Teknik Kimia, FTI, UPN "Veteran" Yogyakarta.
- Seborg, D.E., Edgar, T.F., and Melichamp, D.A., 1998, *Process Dynamics and Control*, 2<sup>nd</sup> ed., John Wiley & Sons, New York.





# Perancangan Konfigurasi Pengendalian Proses pada Sistem Non Interacting Tank dengan Analisis Kuantitatif Relative Gain Array

---

## ORIGINALITY REPORT

---

6%

SIMILARITY INDEX

%

INTERNET SOURCES

%

PUBLICATIONS

6%

STUDENT PAPERS

---

## PRIMARY SOURCES

---

1

Submitted to UPN Veteran Yogyakarta

Student Paper

3%

---

2

Submitted to Sultan Agung Islamic University

Student Paper

3%

---

Exclude quotes On

Exclude matches < 2%

Exclude bibliography On