

Dinamika Komposisi pada Sistem Tangki Pencampur 10 Liter

Yulius Dedy Hermawan*, Gogot Haryono,
Marya Agustin, dan Hayanti Abiad

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

*Email: ydhermawan@upnyk.ac.id

Abstract

The liquid concentration dynamic behavior of a 10 L mixing tank has been studied experimentally. Tank with volume of 10 liter are designed and arranged for experimentation in laboratory. The tank has two input streams, stream-1 is the water-stream with its volumetric rate of f_1 [cm^3/sec] and stream-2 is salt solution with its volumetric rate of f_2 [cm^3/sec] and salt composition of c_2 [gr/cm^3]. Since the tank is designed overflow, the liquid volume in tank is always constant. In this work, the mass disturbance load has been made based on step increase and decrease. Those disturbance include the changes of the flow-rate input (f_1 and f_2) and the concentration of the input stream (c_2). The dynamic behavior of mixing tank system has also been explored. As can be seen from our investigation in laboratory, the mixing tank with volume capacity of 10 liter produces a stable response. Furthermore, the open loop dynamic simulation using computer programming is also done, and its simulation result are compared with the experiment data from laboratory. The developed mathematical model of the mixing tank system has been solved analytically by laplace transform. The trends of simulation results are quite similar with those in our experiment results.

Keywords: Mixing-Tank, step function, dynamic behavior, and stable response.

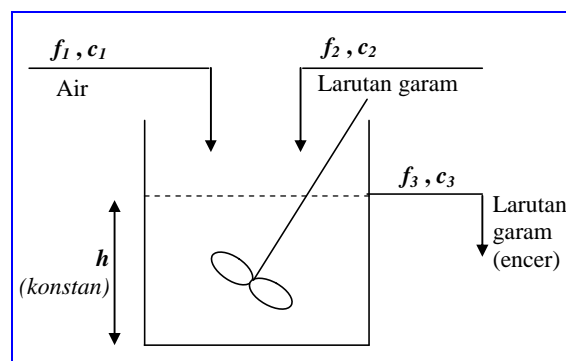
Pendahuluan

Komposisi cairan di dalam sistem tangki pencampur adalah salah satu parameter penting dalam proses pencampuran atau proses reaksi kimia dalam sebuah tangki pencampur atau reaktor. Perambatan gangguan massa sangat mungkin terjadi pada proses pencampuran. Sistem tangki pencampur sering dijumpai dalam industri/pabrik, namun kajian dinamikanya jarang dijumpai. Oleh karena itu, penelitian ini dilaksanakan untuk mempelajari dinamika komposisi pada tangki pencampur. Sehingga dengan mengenali kelakuan dinamis komposisi di dalam tangki, gangguan yang mungkin timbul dapat segera ditanggulangi.

Beberapa penelitian tentang dinamika komposisi telah dilakukan. Widayati, T.W. dan Hermawan, Y.D., (2007) telah mempelajari karakteristik pencampuran pada Tangki Horizontal Berpengaduk. Penelitian tentang pengaruh *Dead Time* terhadap Dinamika Konsentrasi pada Tangki Pencampur juga telah dilakukan (Rizal, F.S., dan Anisah S., 2007). Pada tahun 2010, Arum Retno A. dan Adini C melakukan penelitian tentang pengaruh *Dead Time* terhadap dinamika konsentrasi aproksimasi Orde Satu.

Dalam penelitian ini, sistem tangki pencampur 10 liter dirancang di laboratorium. Untuk mempelajari kelakuan dinamik pada sistem tangki pencampur, gangguan laju aliran dan konsentrasi dari arus input dibuat berdasarkan fungsi tahap (*step function*), karena

pembuatan gangguan ini mudah dilakukan di laboratorium. Respon dinamis berdasarkan perubahan input diamati sampai diperoleh kondisi tunak (*steady state*) yang baru. Model matematika sistem tangki pencampur 10 liter dibangun dan diselesaikan secara analitis menggunakan transformasi *lapace*. Gain proses (K) dan konstanta waktu proses (τ) dihitung berdasarkan hasil percobaan open loop di laboratorium. Penelitian ini diharapkan bermanfaat untuk mendukung perancangan pengendalian komposisi pada sistem tangki pencampur.



Gambar 1. Sistem Tangki Pencampur

Landasan Teori

Gambar 1 menunjukkan sistem tangki pencampur untuk proses pengenceran larutan garam. Sistem ini terdiri dari 2 arus input dan satu arus output. Arus-1

adalah fluida air dengan laju alir volumetrik f_1 cm³/detik, dan arus-2 adalah fluida larutan garam dengan konsentrasi c_2 gr/cm³ dan laju f_2 cm³/detik.

Pengadukan diterapkan di dalam tangki untuk mempercepat tercapainya keseragaman konsentrasi garam di dalam tangki. Sistem tangki dirancang *overflow* agar volume cairan di dalam tangki selalu konstan. Neraca massa sistem tangki pada Gambar 1 dijelaskan sebagai berikut:

Neraca massa komponen dengan variasi komposisi arus input (laju alir arus input konstan)

$$\ddagger \frac{d(C_3(t))}{dt} + C_3(t) = |_1 C_1(t) + |_2 C_2(t) \quad \dots (1)$$

Dimana:

$$C_1(t) = c_1(t) - \bar{c}_1 \quad \dots (2)$$

$$C_2(t) = c_2(t) - \bar{c}_2 \quad \dots (3)$$

$$C_3(t) = c_3(t) - \bar{c}_3 \quad \dots (4)$$

Persamaan (2) – (4) adalah komposisi arus input dan output dalam term deviasi.

$$\ddagger = \frac{V}{f_1 + f_2} \quad \dots (5)$$

$$|_1 = \frac{\bar{f}_1}{f_1 + f_2} \quad \dots (6)$$

$$|_2 = \frac{\bar{f}_2}{f_1 + f_2} \quad \dots (7)$$

Transformasi laplace dari persamaan (1) adalah:

$$C_3(s) = \frac{|_1}{(\ddagger s + 1)} C_1(s) + \frac{|_2}{(\ddagger s + 1)} C_2(s) \quad \dots (8)$$

Jika C_2 berubah sesuai dengan fungsi tahap: $C_2(s) = \frac{\Delta c_2}{s}$, sedangkan c_1 konstan, maka diperoleh respon $C_3(t)$ terhadap perubahan input $C_2(t)$ sebagai berikut:

$$C_3(t) = |_2 \Delta c_2 (1 - \exp(-t/\ddagger)) \quad \dots (9)$$

atau

$$c_3(t) = \bar{c}_3 + |_2 \Delta c_2 (1 - \exp(-t/\ddagger)) \quad \dots (10)$$

Neraca massa komponen dengan variasi laju alir arus input (komposisi arus input konstan)

$$\ddagger \frac{d(C_3(t))}{dt} + C_3(t) = |_3 F_1(t) + |_4 F_2(t) \quad \dots (11)$$

Dimana:

$$F_1(t) = f_1(t) - \bar{f}_1 \quad \dots (12)$$

$$F_2(t) = f_2(t) - \bar{f}_2 \quad \dots (13)$$

Persamaan (12) dan (13) adalah laju alir input dalam term deviasi

$$|_3 = \frac{(\bar{c}_1 - \bar{c}_3)}{f_1 + f_2} \quad \dots (14)$$

$$|_4 = \frac{(\bar{c}_2 - \bar{c}_3)}{f_1 + f_2} \quad \dots (15)$$

Transformasi laplace dari persamaan (11) adalah:

$$C_3(s) = \frac{|_3}{(\ddagger s + 1)} F_1(s) + \frac{|_4}{(\ddagger s + 1)} F_2(s) \quad \dots (16)$$

Jika F_1 berubah sesuai dengan fungsi tahap:

$F_1(s) = \frac{\Delta f_1}{s}$, sedangkan f_2 konstan, maka diperoleh respon $C_3(t)$ terhadap perubahan input $F_1(t)$ sebagai berikut:

$$C_3(t) = |_3 \Delta f_1 (1 - \exp(-t/\ddagger)) \quad \dots (17)$$

atau

$$c_3(t) = \bar{c}_3 + |_3 \Delta f_1 (1 - \exp(-t/\ddagger)) \quad \dots (18)$$

Jika F_2 berubah sesuai dengan fungsi tahap:

$F_2(s) = \frac{\Delta f_2}{s}$, sedangkan f_1 konstan, maka diperoleh respon $C_3(t)$ terhadap perubahan input $F_2(t)$ sebagai berikut:

$$C_3(t) = |_4 \Delta f_2 (1 - \exp(-t/\ddagger)) \quad \dots (19)$$

atau

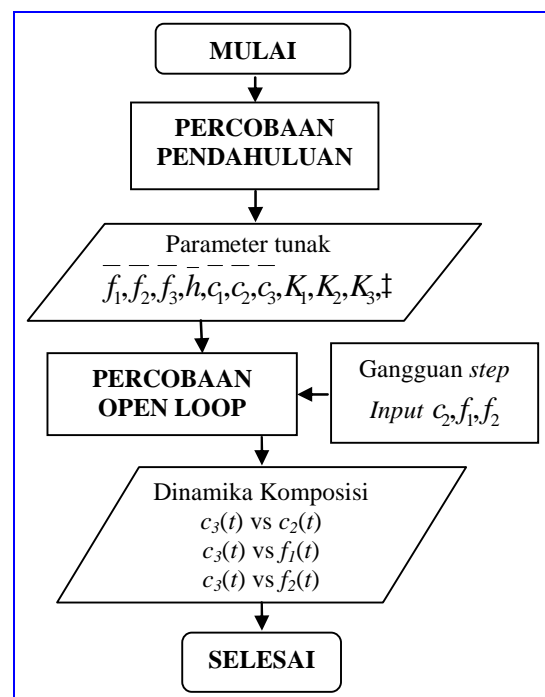
$$c_3(t) = \bar{c}_3 + |_4 \Delta f_2 (1 - \exp(-t/\ddagger)) \quad \dots (20)$$

Metodologi Penelitian

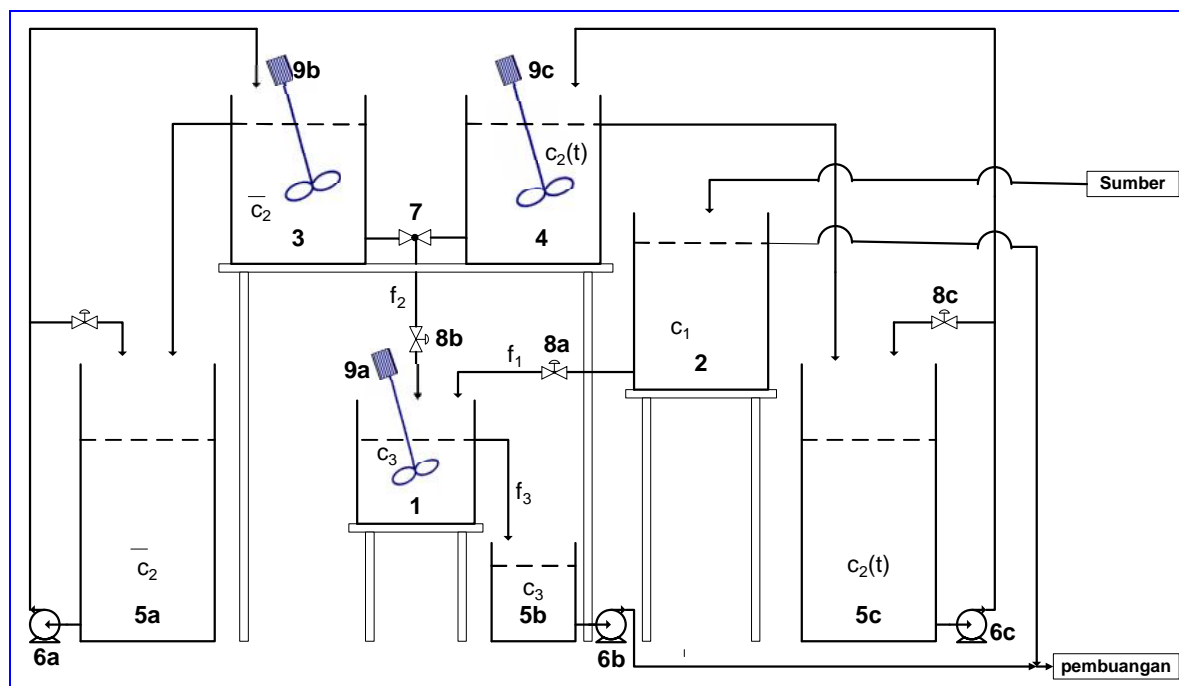
Diagram penelitian yang menjelaskan tahapan kegiatan penelitian disajikan pada **Gambar 2**. Skema peralatan penelitian ditunjukkan pada **Gambar 3**.

Bahan Percobaan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah air dan larutan garam. Air diambil dari Laboratorium Program Studi Teknik Kimia, UPN "Veteran" Yogyakarta.



Gambar 2. Diagram alir percobaan



Keterangan:

- | | | |
|---------------------------|---------------------------------|---------------------|
| 1 : Tangki pencampur 10 L | 4 : Tangki umpan gangguan c_2 | 7 : Three Way Valve |
| 2 : Tangki umpan arus-1 | 5 : Tangki penampung | 8 : Valve |
| 3 : Tangki umpan arus-2 | 6 : Pompa transfer | 9 : Pengaduk |

Gambar 3. Rangkaian alat percobaan

Cara kerja

Percobaan ini dilaksanakan melalui tahapan sebagai berikut :

(1) Percobaan pendahuluan, untuk menentukan parameter-parameter kondisi tunak, yaitu: \bar{f}_1 , \bar{f}_2 , \bar{f}_3 , \bar{c}_1 , \bar{c}_2 , \bar{c}_3 , dan \bar{h} . Pada percobaan pendahuluan, arus-1 adalah air yang berasal dari tangki umpan arus-1 (No. 2), dan arus-2 adalah larutan garam dari tangki umpan arus-2 (No. 3).

(2) Percobaan *open loop* dinamika komposisi:

Gangguan konsentrasi input (c_2)

Konsentrasi larutan garam yang lebih pekat atau lebih encer dari pada kondisi awal dibuat terlebih dahulu dan disimpan dalam tangki umpan gangguan (No. 4). Konsentrasi arus-2 diubah secara tiba-tiba dengan memutar *gate* pada *Three Way Valve* (No. 7) sehingga arus-2 berasal dari tangki umpan gangguan (No. 4).

Gangguan laju alir arus input f_1 dan f_2

Gangguan laju alir arus-1 dibuat dengan cara memperbesar atau memperkecil pembukaan *valve* arus-1 (No. 8a) secara tiba-tiba. Sedangkan gangguan laju alir arus-2 menggunakan *valve* arus-2 (No. 8b).

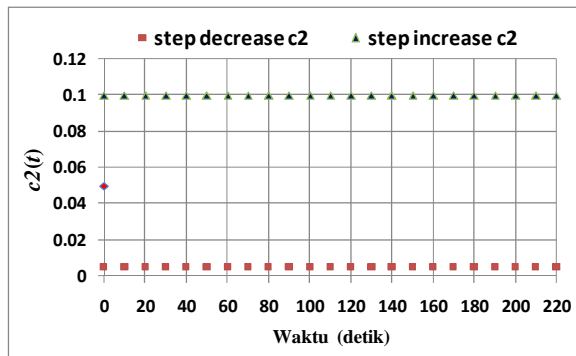
Respon konsentrasi garam dalam tangki pencampur (c_3) terhadap perubahan c_2 , f_1 , dan f_2 diamati selama waktu tertentu.

Hasil dan Pembahasan

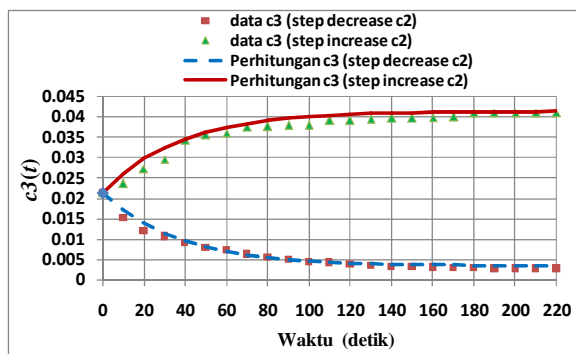
Percobaan pendahuluan menghasilkan parameter-parameter kondisi tunak seperti ditunjukkan pada **Tabel 1**. Berdasarkan hasil percobaan, konstanta waktu proses (*process time constant*) dapat dihitung menggunakan persamaan (5), yaitu 37,3 detik. Hal ini berarti bahwa proses cukup sensitif terhadap perubahan input.

Tabel 1. Parameter-Parameter Steady Sistem

No	Parameter Steady	Nilai
1	Laju alir fluida arus-1, \bar{f}_1 [cm ³ /det]	106
2	Laju alir fluida arus-2, \bar{f}_2 [cm ³ /det]	71
3	Laju alir fluida arus-3, \bar{f}_3 [cm ³ /det]	177
4	Level fluida di tangki 1, \bar{h} [cm]	21
5	konsentrasi garam pada arus-1, \bar{c}_1 [g/cm ³]	0
6	konsentrasi garam pada arus-2, \bar{c}_2 [g/cm ³]	0,05
7	konsentrasi garam pada tangki pencampur, \bar{c}_3 [g/cm ³]	0,0214
8	Volume larutan garam di dalam tangki pencampur, V [cm ³]	6600



(a) perubahan *step increase* dan *step decrease* konsentrasi garam arus-2 (c_2)



(b) perilaku dinamik konsentrasi garam di tangki pencampur (c_3)

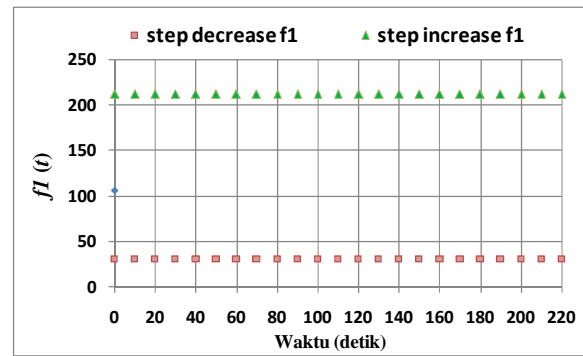
Gambar 4. Pengaruh perubahan konsentrasi arus-2 (c_2) dengan fungsi *step increase* dan *step decrease* terhadap konsentrasi larutan garam di tangki pencampur (c_3).

Step Increase c_2 dengan beban $\Delta c_2 = 0,05 \text{ g/cm}^3$

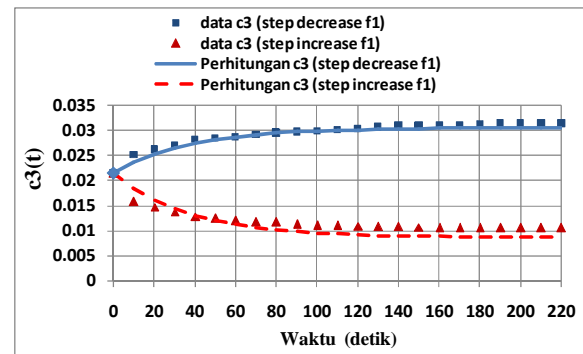
Variabel c_2 dinaikkan menurut fungsi tahap (*step increase*) dari $0,05 \text{ g/cm}^3$ menjadi $0,1 \text{ g/cm}^3$ (**Gambar 4.a**). Dengan naiknya konsentrasi garam pada arus-2 (c_2), konsentrasi garam di tangki pencampur (c_3) juga naik. Seperti terlihat pada **Gambar 4.b**, respon konsentrasi c_3 adalah stabil dan konstan pada $0,04 \text{ g/cm}^3$ dengan waktu sekitar 120 detik. Berdasarkan data parameter *steady*, diperoleh gain proses $K_2 = 0,4$; nilai ini dihitung dengan persamaan (7). Jika nilai $K_2 = 0,4$, $\tau = 37,3$ detik, dan $\Delta c_2 = 0,05 \text{ g/cm}^3$ disubstitusikan ke dalam persamaan (10), maka diperoleh respon hasil perhitungan yang stabil dan dekat dengan data percobaan (**Gambar 4.b**).

Step Decrease c_2 dengan beban $\Delta c_2 = -0,045 \text{ g/cm}^3$

Variabel c_2 diturunkan menurut fungsi tahap (*step decrease*) dari $0,05 \text{ g/cm}^3$ menjadi $0,005 \text{ g/cm}^3$ (**Gambar 4.a**). Seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 4.b**, konsentrasi garam di tangki pencampur (c_3) turun seiring dengan turunnya konsentrasi garam pada arus-2 (c_2). Konsentrasi c_3 mencapai nilai tunak baru pada $0,003 \text{ g/cm}^3$ dengan waktu sekitar 120 detik. Respon *step decrease* hasil perhitungan mendekati data percobaan (**Gambar 4.b**).



(a) perubahan *step increase* dan *step decrease* laju alir arus-1 (f_1)



(b) perilaku dinamik konsentrasi garam di tangki pencampur (c_3)

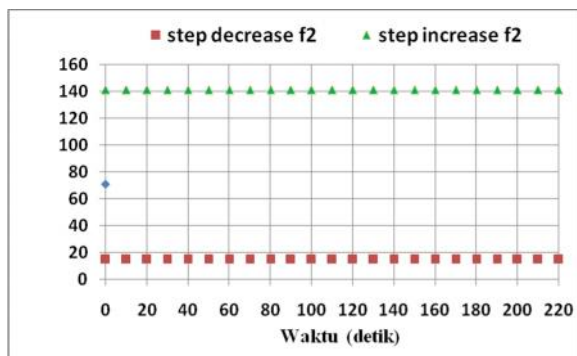
Gambar 5. Pengaruh perubahan laju alir arus-1 (f_1) dengan fungsi *step increase* dan *step decrease* terhadap konsentrasi larutan garam di tangki pencampur (c_3).

Step Increase f_1 dengan beban $\Delta f_1 = 106 \text{ cm}^3/\text{detik}$

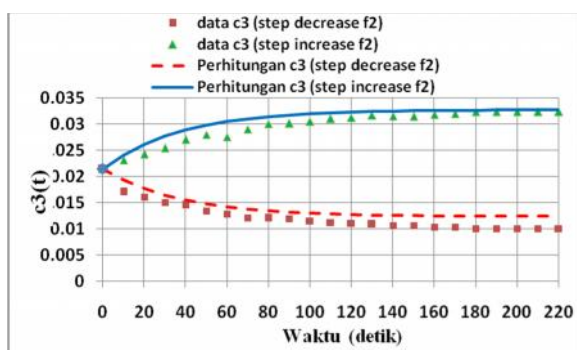
Variabel f_1 dinaikkan menurut fungsi tahap (*step increase*) dari $106 \text{ cm}^3/\text{detk}$ menjadi $212 \text{ cm}^3/\text{detk}$ (**Gambar 5.a**). Ketika laju alir fluida air (arus-1) dinaikkan, konsentrasi garam di tangki (c_3) akan turun. Hal ini berarti pula terjadi proses pengenceran di dalam tangki. Konsentrasi c_3 akhirnya konstan pada $0,0087 \text{ g/cm}^3$ dengan waktu sekitar 120 detik (**Gambar 5.b**). Respon c_3 terhadap perubahan f_1 dapat diperkirakan menggunakan persamaan (18) dengan gain $K_3 = -1,2 \times 10^{-4}$, dan hasil perhitungannya dekat dengan data percobaan.

Step Decrease f_1 dengan beban $\Delta f_1 = -76 \text{ cm}^3/\text{detik}$

Variabel f_1 diturunkan menurut fungsi tahap (*step decrease*) dari $106 \text{ cm}^3/\text{detk}$ menjadi $30 \text{ cm}^3/\text{detk}$ (**Gambar 5.a**). Dalam kasus ini, laju alir fluida air (arus-1) dikurangi maka konsentrasi garam di tangki (c_3) akan naik. Hal ini berarti pula terjadi proses pemekatan di dalam tangki. Konsentrasi c_3 akhirnya konstan pada $0,031 \text{ g/cm}^3$ dengan waktu sekitar 100 detik. Seperti yang ditunjukkan **Gambar 5.b**, respon *step decrease* hasil perhitungan persamaan (18) adalah monoton stabil dan dekat dengan data percobaan.



(a) perubahan *step increase* dan *step decrease* laju alir arus-1 (f_2)



(b) perilaku dinamik konsentrasi garam di tangki pencampur (c_3)

Gambar 6. Pengaruh perubahan laju alir arus-2 (f_2) dengan fungsi *step increase* dan *step decrease* terhadap konsentrasi larutan garam di tangki pencampur (c_3).

Step Increase f_2 dengan beban $\Delta f_2 = 70 \text{ cm}^3/\text{detik}$

Variabel f_2 dinaikkan menurut fungsi tahap (*step increase*) dari $71 \text{ cm}^3/\text{detik}$ menjadi $141 \text{ cm}^3/\text{detik}$ (**Gambar 6.a**). Ketika laju alir fluida garam (arus-2) dinaikkan, konsentrasi garam di tangki (c_3) akan naik. Hal ini berarti terjadi proses penambahan konsentrasi garam di dalam tangki. Konsentrasi c_3 akhirnya konstan pada $0,032 \text{ g/cm}^3$ dengan waktu sekitar 140 detik (**Gambar 6.b**). Respon c_3 terhadap perubahan f_2 dapat diperkirakan menggunakan persamaan (20) dengan gain $K_4 = 1,62 \times 10^{-4}$, dan hasil perhitungannya dekat dengan data percobaan (**Gambar 6.b**).

Step Decrease f_2 dengan beban $\Delta f_2 = -56 \text{ cm}^3/\text{detik}$

Variabel f_2 diturunkan menurut fungsi tahap (*step decrease*) dari $71 \text{ cm}^3/\text{detik}$ menjadi $15 \text{ cm}^3/\text{detik}$ (**Gambar 6.b**). Ketika laju alir fluida garam (arus-2) diturunkan, konsentrasi garam di tangki (c_3) akan turun. Hal ini berarti terjadi proses pengurangan konsentrasi di dalam tangki. Konsentrasi c_3 akhirnya konstan pada $0,010 \text{ g/cm}^3$ dengan waktu sekitar 160 detik (**Gambar 6.b**). Respon c_3 terhadap perubahan f_2 dapat diperkirakan menggunakan persamaan (20) dengan gain $K_4 = 1,62 \times 10^{-4}$, dan hasil perhitungannya dekat dengan data percobaan.

Kesimpulan

Dinamika komposisi pada sistem tangki pencampur 10 liter telah dipelajari melalui percobaan di laboratorium dan simulasi dengan pemrograman komputer. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa, sistem tangki pencampur memberikan respon yang stabil terhadap perubahan gangguan laju alir input dan komposisi input. Persamaan matematika untuk sistem tangki pencampur 10 liter adalah berorder satu dan telah diselesaikan secara analitis menggunakan transformasi laplace. Penelitian ini juga mengungkapkan bahwa respon komposisi hasil simulasi model matematika dan hasil pengamatan percobaan laboratorium menunjukkan perilaku (*trend*) yang sama.

Daftar Notasi

- $c_1(t)$ = konsentrasi garam dalam arus-1 pada waktu t , [g/cm^3]
- \bar{c}_1 = konsentrasi garam dalam arus-1 pada kondisi tunak, [g/cm^3]
- $c_2(t)$ = konsentrasi garam dalam arus-2 pada waktu t , [g/cm^3]
- \bar{c}_2 = konsentrasi garam dalam arus-2 pada kondisi tunak, [g/cm^3]
- $c_3(t)$ = konsentrasi garam dalam arus-3 pada waktu t , [g/cm^3]
- \bar{c}_3 = konsentrasi garam dalam arus-3 pada kondisi tunak, [g/cm^3]
- $f_1(t)$ = laju alir volumetrik air, arus-1 *input* ke Tangki Pencampur, [cm^3/detik].
- \bar{f}_1 = laju alir volumetrik air, arus-1 *input* ke Tangki Pencampur, pada kondisi tunak, [cm^3/detik].
- $f_2(t)$ = laju alir volumetrik larutan garam, arus-2 *input* ke Tangki Pencampur, [cm^3/detik].
- \bar{f}_2 = laju alir volumetrik larutan garam, arus-2 *input* ke Tangki Pencampur, pada kondisi tunak, [cm^3/detik].
- $f_3(t)$ = laju alir volumetrik arus-3, *output* dari Tangki Pencampur, [cm^3/detik].
- \bar{f}_3 = laju alir volumetrik arus-3, *output* dari Tangki Pencampur, pada kondisi tunak, [cm^3/detik].
- \bar{h} = ketinggian cairan di Tangki Pencampur, [cm]
- K = gain proses
- t = waktu [detik]
- \bar{V} = volume cairan di Tangki Pencampur, [cm^3]
- τ = konstanta waktu proses, [detik]



Daftar Pustaka

- Retno A, Arum, dan Adini C., 2010, "*Pengaruh Dead Time Terhadap Kelakuan Dinamika Konsentrasi Aproksimasi pada Orde Satu*", Laporan Penelitian S1, Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, UPN "Veteran" Yogyakarta.
- Seborg., D.E., Edgar, T.F., and Mellichamp, D.A., 1998, *Process Dynamics and Control*, 2nd ed., John Wiley & Sons, New York.
- Smith, C.A., Corripio, A.B., 1997, *Principles and Practice of Automatic Process Control*, 2nd ed., John Wiley & Sons, New York.
- Syaiful Rizal, Fikri, dan Anisah, Siti, 2007, "*Pengaruh Dead Time terhadap Dinamika Konsentrasi pada Tangki Pencampur (TTB)*", Laporan Penelitian S1, Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, UPN "Veteran" Yogyakarta.
- Widayati, T.W., dan Hermawan, Y.D., 2007, Karakteristik Pencampuran Pada Tangki Horizontal Berpengaduk, **Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan" 2007**, Jurusan Teknik Kimia, FTI, UPN "Veteran" Yogyakarta