

Dinamika Suhu pada Sistem Tangki-Seri-Tak-Berinteraksi dengan Arus *Recycle*

Yulius Deddy Hermawan*, Yogi Suksmono, Endang S.,
Evelin Cicilia, dan Dyah Sekaring Aisyiah

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, UPN "Veteran" Yogyakarta
Jl. SWK 104 (Lingkar Utara), Condong Catur, Yogyakarta 55283
*Email: ydhermawan@gmail.com

Abstract

This research studies the temperature dynamic behavior of non-interacting-tank (NIT) with recycle-stream which is frequently used in industries. Two tanks with volume of 25 liters are designed and arranged in series for experimentation in laboratory. Part of liquid from Tank-2 is recycled back to the Tank-1. In this work, the liquid volume of both Tank-1 and Tank-2 are remained at constant value. The heat disturbance load has been made based on both step increase and decrease. Those disturbances include the changes of temperature in input (T_i) and recycle (T_R) streams. The temperature dynamic behavior of NIT system has also been explored. As can be seen from our investigation in laboratory, both of Tank-1 and Tank-2 in NIT system produce a stable response to the disturbance change in temperature of the input and recycle streams. Furthermore, dynamic simulation using computer programming is also done, and its simulation results are compared with the experiment data from laboratory. The developed mathematical model of the NIT system is solved numerically. Such mathematical model is rigorously examined in Scilab software environment. This research also shows that the trends of temperature dynamic simulation results are quite similar with those in our experiment results.

Keywords: *Non-Interacting-Tank (NIT), step function, dynamic behavior, and stable response.*

Pendahuluan

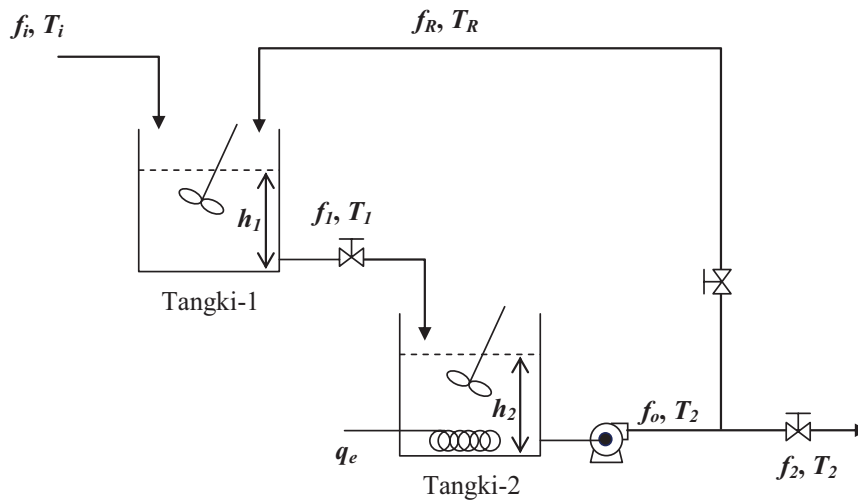
Masalah dinamika suhu sering dijumpai pada sistem proses di industri, khususnya sistem proses yang menerapkan *recycle* massa dan/atau panas. Perambatan gangguan massa dan/atau termal sangat mungkin terjadi pada proses yang menerapkan sistem *recycle* tersebut. Oleh karena itu, kelakuan dinamik (*dynamic behavior*) pada sistem tersebut sangat penting untuk dikenali, sehingga gangguan yang mungkin timbul dapat segera ditanggulangi.

Hermawan, Y.D., dkk. (2007) telah melakukan penelitian tentang dinamika suhu pada pemanas tangki horizontal berpengaduk. Penelitian tentang pengaruh *dead-time* terhadap dinamika suhu pada tangki seri-tak-berinteraksi (Pamungkas A.G., dan Saputro, A.W., 2007) dan pada tangki-seri-berinteraksi (Huda, M. dan Nunun, A.I.K., 2007) juga telah dilakukan. Pada tahun 2008, Hermawan, Y.D., dkk. menerapkan teknik *process reaction curves* (PRC) untuk penyetelan parameter kendali suhu di sistem tangki cairan. Namun, penelitian-penelitian tersebut tidak mengkaji pengaruh arus *recycle* terhadap kelakuan dinamik proses. Penelitian ini membahas pengaruh dari implementasi *recycle* terhadap kinerja proses, khususnya dinamika suhu pada sistem tangki-seri-tak-berinteraksi (TSTB) dengan arus *recycle*. Beberapa data atau parameter pada kondisi tunak (*steady state*) diambil dari penelitian sebelumnya (Hermawan, Y.D., 2010).

Sistem TSTB yang terdiri dari dua tangki dengan kapasitas masing-masing ± 25 liter dirancang dan disusun seri di laboratorium. Pemanas listrik dipasang di Tangki-2, dan sebagian massa keluar dari Tangki-2 dipompa untuk dikembalikan (*recycle*) ke Tangki-1 dan sisanya dikirim ke proses lain. Untuk mempelajari kelakuan dinamik suhu pada sistem tersebut, gangguan beban panas listrik (q_c) dan suhu di arus input ke Tangki-1 (T_i) dibuat berdasarkan fungsi tahap (*step function*), karena pembuatan gangguan ini mudah dilakukan di laboratorium. Sistem persamaan diferensial (model matematika) untuk sistem ini diselesaikan secara numerik. *Software* Scilab dipilih untuk membantu perhitungan atau simulasi model matematika tersebut. Selanjutnya, hasil perhitungan dengan pemrograman komputer dibandingkan dengan data percobaan laboratorium. Penelitian ini diharapkan bermanfaat atau dapat memberikan informasi penting untuk perancangan konfigurasi pengendalian (*level* dan suhu) pada sistem TSTB dengan arus *recycle*.

Landasan Teori

Gambar 1 menunjukkan sistem TSTB dengan pemanas dan arus *recycle*. Pemanas listrik dipasang di Tangki-2. Pengadukan diterapkan pada sistem ini untuk menjamin keseragaman suhu cairan di dalam tangki. Pada studi ini, volume cairan di dalam kedua tangki dijaga konstan pada nilai tertentu.



Gambar 1. Sistem Tangki-Seri-Tak-Berinteraksi (TSTB) dengan pemanas dan arus *recycle* .

Neraca energi pada sistem ini disusun berdasarkan model Q, artinya panas masuk ke proses (yang berasal dari pemanas listrik) ditetapkan sebagai variabel q_e [Joule/detik atau Watt].

Tangki-1:

$$\frac{dT_1}{dt} = \frac{\bar{f}_i \rho c_{p1} T_i + \bar{f}_R \rho c_{pR} T_R - \bar{f}_1 \rho c_{p1} T_1}{\bar{V}_1 \rho c_{p1}} \quad (1)$$

Tangki-2:

$$\frac{dT_2}{dt} = \frac{\bar{f}_1 \rho c_{p1} T_1 + q_e - \bar{f}_o \rho c_{p2} T_2}{\bar{V}_2 \rho c_{p2}} \quad (2)$$

Kapasitas panas air ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$C_{p_i} = 2,76 \times 10^5 - 2,09 \times 10^3 T + 8,125 T^2 + 1,41 \times 10^{-2} T^3 + 9,37 \times 10^{-6} T^4 \quad (3)$$

dimana C_p dalam J/(kmol K), dan T dalam K.

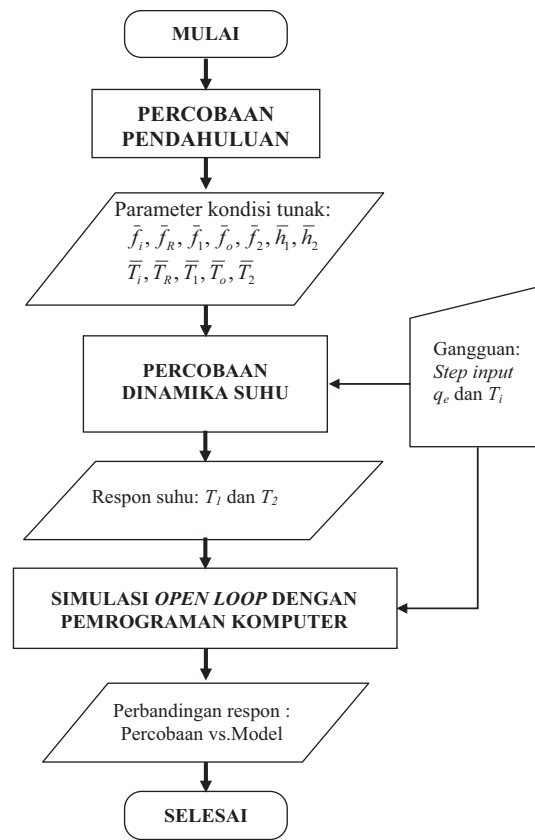
Sistem persamaan ini diselesaikan secara serempak dengan metode eksplisit euler. Untuk mempelajari dinamika suhu pada sistem ini, beban panas listrik (q_e) dan suhu arus *input* (T_i) ditetapkan sebagai variabel pengganggu.

Metode Penelitian

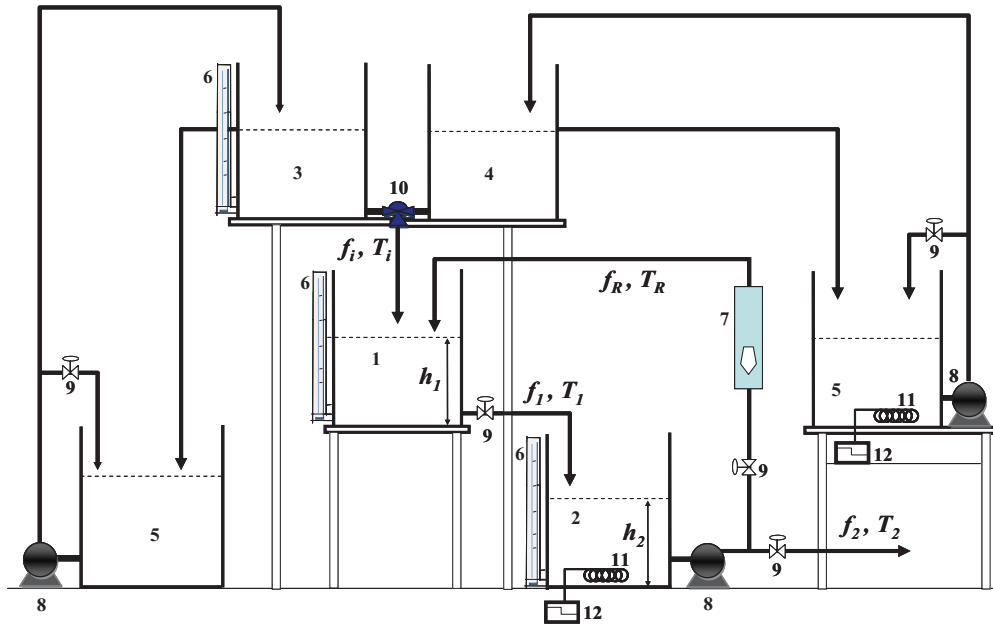
Pencapaian tujuan dalam penelitian ini dilaksanakan melalui percobaan laboratorium dan simulasi menggunakan komputer. Diagram alir penelitian yang menjelaskan tahapan kegiatan penelitian disajikan pada **Gambar 2**. Skema peralatan percobaan ditunjukkan pada **Gambar 3**.

Bahan Percobaan

Bahan yang digunakan dalam penelitian adalah air. Air yang digunakan diambil dari laboratorium Jurusan Teknik Kimia, UPN "Veteran" Yogyakarta.



Gambar 2. Diagram alir penelitian



Keterangan:

1	Tangki-1	7	Rotameter
2	Tangki-2	8	Pompa
3	Tangki pengumpan	9	Valve
4	Tangki pengganggu	10	Three way valve
5	Tangki penampung	11	Pemanas Listrik
6	Level indicator	12	Pengatur daya listrik

Gambar 3. Skema peralatan percobaan.

Cara Kerja

Penelitian ini dilaksanakan melalui tahapan percobaan sebagai berikut:

(1) Percobaan pendahuluan: untuk menentukan parameter-parameter pada kondisi tunak, yaitu: $\bar{f}_i, \bar{f}_R, \bar{f}_1, \bar{f}_o, \bar{f}_2, \bar{h}_1, \bar{h}_2, \bar{T}_i, \bar{T}_R, \bar{T}_1, \bar{T}_2, \bar{q}_e$, dan persamaan empiris hubungan suhu arus *recycle* (T_R) dan suhu cairan di Tangki-2 (T_2).

(2) Percobaan dinamika suhu: Pada percobaan ini, volume cairan di Tangki-1 dan Tangki-2 dijaga konstan, sehingga tidak ada penjabaran neraca massa. Percobaan *open loop* dilakukan dengan membuat gangguan, yaitu mengubah beban panas listrik q_e atau suhu arus *input* T_i secara tiba-tiba (*step increase* atau *step decrease*). Suhu cairan di Tangki-1 (T_1) dan di Tangki-2 (T_2) diamati dan dicatat sampai diperoleh kondisi tunak baru.

(3) Simulasi dengan pemrograman komputer: Sistem persamaan matematika diselesaikan secara numerik dengan metode eksplisit euler. Selanjutnya hasil

simulasi tersebut dibandingkan dengan data yang diperoleh dari percobaan.

Hasil dan Pembahasan

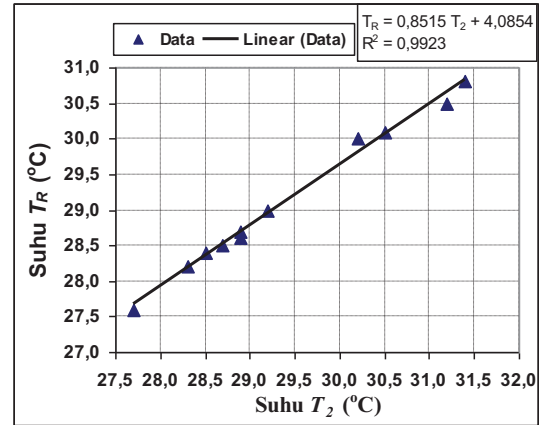
Data laju alir tiap-tiap arus dan ketinggian (*level*) cairan pada kondisi tunak yang telah dihasilkan oleh Hermawan, Y.D., dkk. (2010) digunakan dalam penelitian ini. Parameter-parameter kondisi tunak yang dihasilkan dari percobaan pendahuluan ditunjukkan pada Tabel 1. Hubungan antara suhu arus *recycle* (T_R) dan suhu cairan di Tangki-2 (T_2) ditunjukkan pada Gambar 4 dan diwakili dengan persamaan linear sebagai berikut:

$$T_R = 0,8515 T_2 + 4,0854 \quad (4)$$

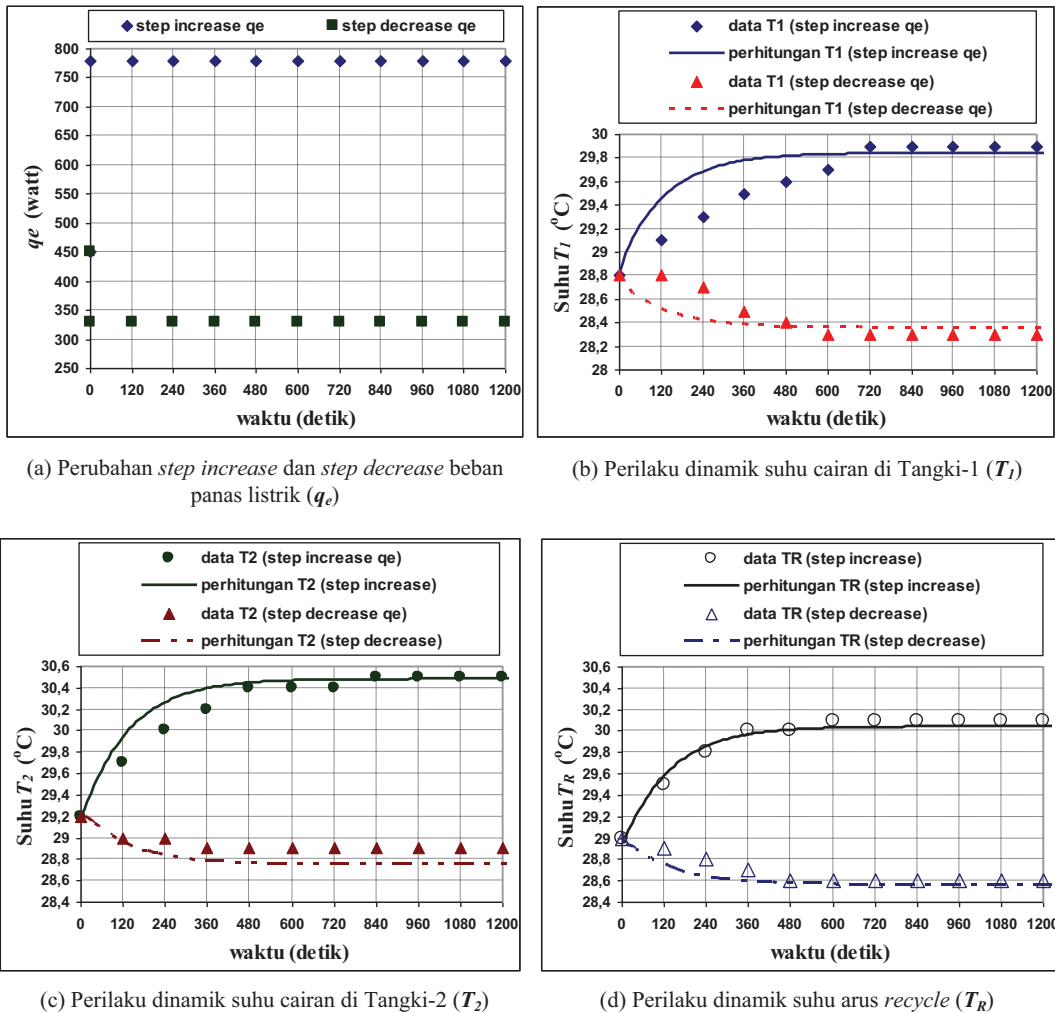
Pada percobaan dinamika suhu, variabel q_e dan T_i diubah menurut fungsi *step* (*step increase* dan *step decrease*). Perilaku dinamik suhu T_1 dan T_2 terhadap perubahan beban panas listrik (q_e) diilustrasikan pada Gambar 5. Sedangkan pengaruh perubahan suhu arus *input* (T_i) terhadap suhu T_1 dan T_2 ditunjukkan pada Gambar 6.

Tabel 1. Parameter-parameter kondisi tunak.

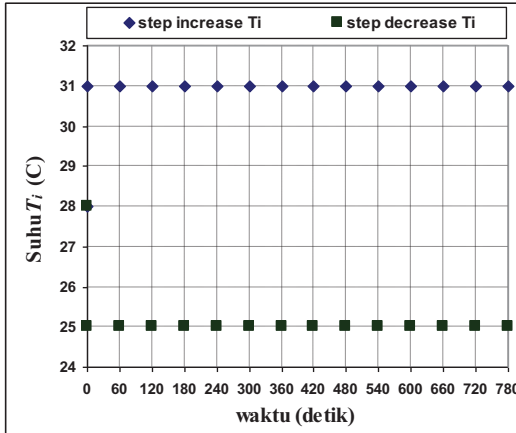
Parameter	Nilai Tunak
f_i (cm ³ /detik)	111
f_j (cm ³ /detik)	305
f_2 (cm ³ /detik)	111
f_R (cm ³ /detik)	194
h_1 (cm)	20
h_2 (cm)	23
T_i (°C)	28
T_1 (°C)	28,8
T_2 (°C)	29,2
T_R (°C)	29
q_e (watt)	450



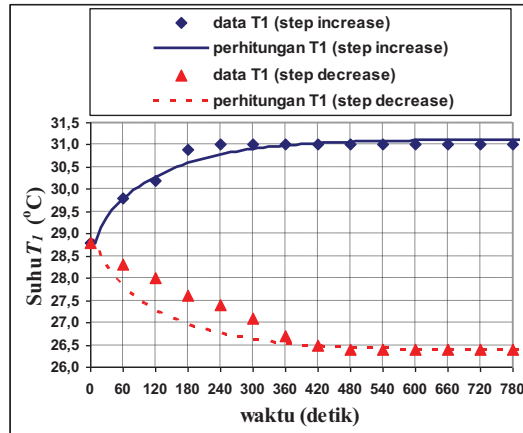
Gambar 4. Hubungan suhu arus recycle (T_R) dan suhu cairan di Tangki-2 (T_2)



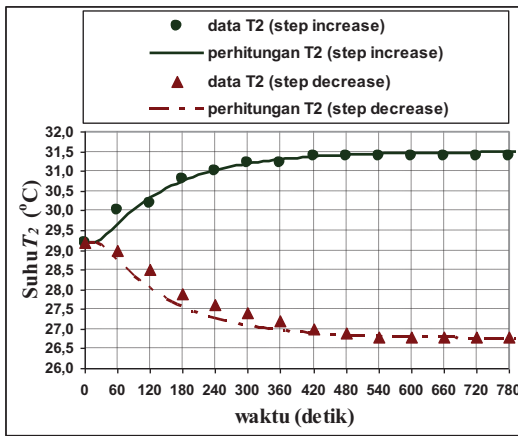
Gambar 5. Pengaruh perubahan beban panas listrik (q_e) dengan fungsi *step increase* dan *step decrease* terhadap suhu cairan di Tangki-1 (T_1), suhu cairan di Tangki-2 (T_2), dan suhu arus recycle (T_R).



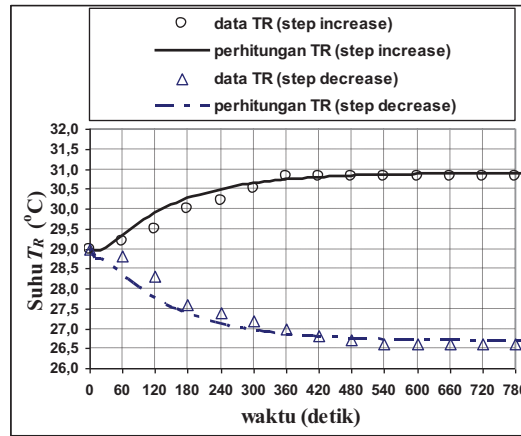
(a) Perubahan *step increase* dan *step decrease* suhu arus input (T_i) ke Tangki-1



(b) Perilaku dinamik suhu cairan di Tangki-1 (T_1)



(c) Perilaku dinamik suhu cairan di Tangki-2 (T_2)



(d) Perilaku dinamik suhu arus recycle (T_R)

Gambar 6. Pengaruh perubahan suhu arus input ke Tanki-1 (T_i) dengan fungsi *step increase* dan *step decrease* terhadap suhu cairan di Tangki-1 (T_1), suhu cairan di Tangki-2 (T_2), dan suhu arus recycle (T_R).

Step Increase q_e dengan beban gangguan $M = 330$ Watt

Variabel q_e dinaikkan menurut fungsi tahap (*step increase*) dari 450 Watt menjadi 780 Watt. Dengan naiknya energi listrik, suhu di Tangki-2 juga naik. Oleh karena cairan dari Tangki-2 *direcycle* ke Tangki-1, maka suhu cairan di Tangki-1 naik sampai akhirnya mencapai nilai tunak baru. Seperti terlihat pada **Gambar 5**, suhu di Tangki-1 konstan pada 29,9 °C dengan waktu sekitar 720 detik. Sedangkan suhu di Tangki-2 konstan pada 30,5 °C dengan waktu sekitar 720 detik. Suhu arus *recycle* sedikit di bawah suhu cairan di Tangki-2 ($T_R=30,1$ °C versus $T_2=30,5$ °C). Hal ini mungkin karena terjadi perpindahan panas ke lingkungan.

Step Decrease q_e dengan beban gangguan $M = -120$ Watt

Variabel q_e diturunkan menurut fungsi tahap (*step decrease*) dari 450 Watt menjadi 330 Watt. Dengan turunnya energi listrik, suhu di Tangki-2 juga turun. Oleh karena cairan dari Tangki-2 *direcycle* ke Tangki-1, maka suhu cairan di Tangki-1 turun sampai akhirnya mencapai nilai tunak baru. Seperti terlihat pada **Gambar 5**, suhu di Tangki-1 konstan pada 28,3 °C dan suhu di Tangki-2 konstan pada 28,9 °C, dengan waktu sekitar 600 detik. Sedangkan suhu arus *recycle* konstan pada 28,6 °C.

Step Increase T_i dengan beban gangguan $M = 3$ °C

Variabel T_i dinaikkan menurut fungsi tahap (*step increase*) dari 28 °C menjadi 31 °C. Suhu cairan di Tangki-1 dan Tangki-2 naik secara serempak, seperti ditunjukkan pada **Gambar 6**. Suhu cairan di Tangki-1 konstan pada 31 °C dan suhu di Tangki-2 konstan pada

31,4 °C, dengan waktu sekitar 420 detik. Sedangkan suhu pada arus *recycle* konstan pada 30,8 °C.

Step Decrease T_i dengan beban gangguan $M = -3$ °C

Variabel T_i diturunkan menurut fungsi tahap (*step decrease*) dari 28 °C menjadi 25 °C. Suhu cairan di Tangki-1 dan Tangki-2 turun secara serempak, seperti ditunjukkan pada **Gambar 6**. Suhu cairan di Tangki-1, Tangki-2, dan suhu arus *recycle*, kontan pada nilai, berturut-turut: 26,4 °C, 26,8 °C dan 26,6 °C, pada waktu sekitar 480 detik.

Kesimpulan

Dinamika suhu pada sistem TSTB dengan arus *recycle* telah dipelajari melalui percobaan di laboratorium dan simulasi dengan pemrograman komputer. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa, Tangki-1 dan Tangki-2 pada sistem TSTB memberikan respon yang stabil terhadap perubahan beban panas listrik (q_e) dan suhu arus *input* (T_i). Selain itu, hasil simulasi model TSTB dan hasil pengamatan percobaan laboratorium menunjukkan perilaku (*trend*) yang sama.

Ucapan Terimakasih

Kami mengucapkan terimakasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (LPPM), UPN "Veteran" Yogyakarta, atas dukungan dana untuk penelitian ini.

Daftar Notasi

- f_i = laju alir volumetrik arus *input* ke Tangki-1, [cm³/detik].
- f_R = laju alir volumetrik arus *recycle* ke Tangki-1, [cm³/detik].
- f_1 = laju alir volumetrik arus *output* dari Tangki-1, [cm³/detik].
- f_2 = laju alir volumetrik arus *output* dari Tangki-2, [cm³/detik].
- f_o = laju alir volumetrik pompa, [cm³/detik].
- h_1 = ketinggian (*level*) cairan di Tangki-1, [cm]
- h_2 = ketinggian (*level*) cairan di Tangki-2, [cm]
- T_i = suhu di arus *input*, [°C]
- T_R = suhu di arus *recycle*, [°C]
- T_1 = suhu cairan di Tangki-1, [°C]
- T_2 = suhu cairan Tangki-2, [°C]
- \bar{V}_1 = volume cairan di Tangki-1 pada kondisi tunak, [cm³]
- \bar{V}_2 = volume cairan di Tangki-2 pada kondisi tunak, [cm³]
- q_e = energi pemanas listrik, [Watt]
- ρ = densitas air, [gr/cm³]
- c_{pi} = Kapasitas panas cairan di arus *input*, [J/(kmol K)]
- c_{pR} = Kapasitas panas cairan di arus *recycle*, [J/(kmol K)]

- c_{p1} = Kapasitas panas cairan di arus keluar dari Tangki-1, [J/(kmol K)]
- c_{p2} = Kapasitas panas cairan di arus keluar dari Tangki-2, [J/(kmol K)]

Daftar Pustaka

Hermawan, Y.D., Suksmono, Y., Dewi, D.U., dan Widyaswara, W., "Dinamika Level Cairan pada Tangki-Seri-Tak-Berinteraksi dengan Arus Recycle", Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan" 2010, Jurusan Teknik Kimia, FTI, UPN "Veteran" Yogyakarta.

Hermawan, Y.D., Suksmono, Y., Chendikia P., dan Agung P. S., 2007, "Dinamika Suhu Pada Pemanas Tangki Horizontal Berpengaduk", Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan" 2007, Jurusan Teknik Kimia, FTI, UPN "Veteran" Yogyakarta.

Hermawan, Y.D., Priyo Wasposito U.S., Siti Diyar Kholisoh, 2008, "Aplikasi Process Reaction Curve (PRC) Untuk Penyetelan Parameter Pengendali Suhu Dan Komposisi Pada Sistem Tangki Cairan", Laporan Penelitian Program Hibah Kompetisi A2-2007, Jurusan Teknik Kimia, FTI, UPN "Veteran" Yogyakarta.

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 Mellichamp, D.A., 1998, *Process Dynamics and Control*, 2nd ed., John Wiley & Sons, New York.