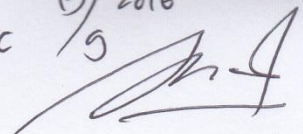


Acc 19/9/2016


SIMULASI PENGENDALI PI PLUS FEEDFORWARD PADA SISTEM HEAT EXCHANGER MENGGUNAKAN LABVIEW

Huda Failasufa

Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia
Email : failasufa95@gmail.com

Abstrak—Heat Exchanger merupakan suatu alat yang pada umumnya dikendalikan secara otomatis digunakan untuk mentransfer energi panas maupun dingin di dalam tangki berpengaduk. Agar temperatur dalam tangki sesuai dengan set point maka dirancang sistem kendali PI plus feedforward. Dalam melakukan pengendalian proses tersebut digunakan sistem kendali PI, tetapi adanya disturbance menyebabkan keluaran respon tidak sesuai set point. Disturbance dihasilkan dari perubahan kondisi awal. Pada penelitian ini digunakan sistem kendali PI plus feedforward untuk menangani gangguan pada sistem Heat Exchanger. Sistem Heat Exchanger dan pengendalinya disimulasikan dengan LabVIEW. Penelitian menghasilkan sistem kendali PI dengan parameter $P = 0,097$ dan $I = 0,00097$ sedangkan sistem kendali feedforward menggunakan pengendali gain temperatur (T) sebesar $0,0055$ dan gain flow (F) sebesar 4 . Dengan menggunakan sistem kendali PI, heat exchanger dapat menghasilkan temperatur yang mendekati set point 100°C . Respon karakteristik proses menghasilkan maksimal overshoot/undershoot $0,5^{\circ}\text{C}$ dari set point, dan settling time 360 detik dengan menggunakan sistem kendali PI Plus Feedforward. Sistem kendali feedforward berfungsi untuk meredam gangguan sehingga temperatur output tetap sesuai set point yang dibutuhkan, walaupun terdapat perubahan temperatur ataupun flow yang masuk ke dalam tangki.

Kata Kunci : Heat Exchanger, Disturbance, temperature (T), dan PI

I. PENDAHULUAN

Tangki pemanas berpengaduk (Heat Exchanger) digunakan dalam berbagai macam proses kimia [1]. Tujuan dari plant Heat Exchanger ini adalah menjaga temperatur keluaran agar tetap pada set point. Dibutuhkan suatu sistem kendali untuk mencapai tujuan tersebut, salah satu sistem kendali yang sering digunakan dalam industri yakni feedback control dengan pengendali Proportional, Integral, Derivatif (PID)[2]. Akan tetapi apabila terdapat perubahan pada kondisi awal yang terlalu cepat akan membuat temperatur keluaran tidak sesuai dengan set point. Perubahan kondisi awal inilah yang dinamakan

disturbance. Dikarenakan disturbance ini dapat mengganggu pengendalian pada plant, maka untuk mengatasi gangguan/disturbance tersebut ditambahkan pengendali feedforward.

Dengan adanya pengendali gabungan antara sistem kendali PI dan feedforward maka diharapkan perubahan apapun yang terjadi pada sistem heat exchanger tidak mempengaruhi keluaran proses itu sendiri.

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Prihantoro [3], feedforward-feedback control merupakan suatu pengontrol yang dapat digunakan secara efektif untuk mempercepat tanggapan sistem pengendalian sehingga sesuai dengan set point yang dikehendaki. Hal ini dikarenakan feedforward dapat secara langsung mengoreksi perubahan load yang terjadi walaupun akan tetap timbul error sehingga dibutuhkan feedback untuk mengatasi hal tersebut. Feedforward dapat mengurangi deviasi dari set point tapi hal ini berjalan lambat. Feedback digunakan untuk mengembalikan keadaan menuju set point secara cepat tetapi mempunyai deviasi yang lebih lebar. Metode pengontrolan feedforward-feedback ini banyak digunakan dalam industri untuk mempercepat respons keluaran yang stabil.

Penelitian yang lebih spesifik tentang feedback feedforward control sebagai pengontrol suhu juga dilakukan oleh Ariyanto [4], Feedback kontrol dicapai dengan menggunakan PID controller. Pengendalian proses kontrol feedback dan feedforward dijumlahkan untuk memberikan sinyal kontrol gabungan. Sedangkan IMC dirancang dengan melakukan invers model beserta fungsi transfer filter. Ketiga pengendali tersebut memberikan hasil yang berbeda-beda. Kinerja pengendali PID Feedback kontroler masih mempunyai kelemahan yang menghasilkan overshoot yang sangat tinggi. Pada pengendali PID Feedback Plus Feedforward kontroler, gabungan dua sistem kendali ini memiliki kelebihan dengan menurunkan overshoot hingga $56,1\%$. Berbeda dengan pengendali PID IMC yang memberikan kinerja proses pengendalian temperatur yang sangat baik dengan hasil overshoot $6,2\%$ dan settling time $88,8$ detik.

Dalam makalah penelitian yang disusun oleh Syahputra [5], dilakukan penelitian simulasi uji system temperature pada heat exchanger dengan pengendali jenis feedforward, hasil pengendalian yang diperoleh relatif lebih baik dibanding pengendalian dengan

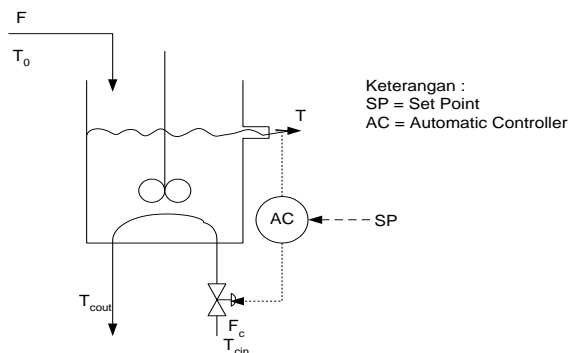
feedback, terutama dalam kecepatan tanggapan menuju keadaan stabilnya. Hal ini disebabkan pengendalian dengan *feedforward* membutuhkan beban komputasi yang relatif lebih kecil dibanding pengendalian dengan *feedback*. Pada simulasi dengan pengendalian gabungan *feedforward* dan *feedback*, diperoleh bahwa tanggapan sistem sudah memberikan hasil yang relatif lebih baik dibanding hasil-hasil dengan pengendali *feedforward* maupun pengendali *feedback*.

Pengendalian *disturbance* dan proses dengan metode lain dilakukan oleh Jayanti [6], yaitu melakukan penelitian simulasi sistem kendali *heat exchanger* menggunakan *fuzzy logic controller* tipe 2. Hasil yang diperoleh dari penelitian tersebut, sistem kendali *plant stirred tank heat exchanger* dengan IT2FLC memiliki respons yang lebih baik atau lebih tepat dalam menangani adanya gangguan berupa perubahan data *plant* diantaranya adalah perubahan kecepatan aliran panas, temperatur cairan pendingin, dan temperatur cairan panas dengan IT2FLC.

II. MODEL SISTEM

A. Model Matematis

Heat Exchanger ditunjukkan pada Gambar 1. Sistem ini memiliki aliran masukan berupa fluida dengan laju aliran sebesar F dan temperatur awal sebesar T_0 . Cairan yang bersuhu panas T_0 akan didinginkan hingga mencapai temperatur output T dengan cara mengalirkan cairan pendingin (F_c). Besarnya aliran cairan pendingin dapat dikendalikan sehingga temperatur output dapat mencapai *set point*.



Gambar 1. Diagram proses sistem *Heat Exchanger*[1]

Keterangan :

- F : Laju aliran *input* tangki ($\frac{m^3}{min}$)
- T_0 : Temperatur *input* tangki ($^{\circ}C$)
- F_{cin} : Laju aliran pendingin *input* ($\frac{m^3}{min}$)
- T_{cin} : Temperatur *input* pendingin ($^{\circ}C$)
- T_{cout} : Temperatur *output* pendingin ($^{\circ}C$)
- T : Temperatur *output* ($^{\circ}C$)

Pada proses *Heat Exchanger* digunakan beberapa parameter seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1. berikut ini :

Tabel 1. Parameter yang digunakan pada proses *Heat Exchanger* [1]

Besaran	Notasi
Laju aliran input	F
Volume cairan dalam tangki	V
Suhu steady state	T_s
Massa jenis cairan	ρ
Kapasistas panas cairan pada tekanan tetap	C_p
Suhu awal cairan masuk	T_0
Suhu awal cairan <i>coolant</i>	T_{cin}
Aliran <i>coolant</i> pada kondisi <i>steady-state</i>	F_{cs}
Kapasistas panas cairan <i>coolant</i> pada tekanan tetap	C_{pc}
Massa jenis cairan <i>coolant</i>	ρ_c
Konstanta transfer panas	a
Konstanta	b

Kondisi *benchmark* dan asumsi yang digunakan sebagai berikut :

- Volume tangki dan parameter fisik konstan, pencampuran dalam tangki teraduk sempurna
- F_c dengan *range* antara $0,001 \text{ m}^3/\text{min} - 0,5 \text{ m}^3/\text{min}$
- *Set point* sebesar $100^{\circ}C - 120^{\circ}C$ pada sinyal *step* dan *set point* $100^{\circ}C$ saat adanya *disturbance*
- T_0 dengan *range* $140^{\circ}C - 160^{\circ}C$
- F dengan *range* $0,05 \text{ m}^3/\text{min} - 0,12 \text{ m}^3/\text{min}$
- Rumus kesetimbangan energi pada sistem dengan volume konstan ditunjukkan pada persamaan

$$\frac{dU}{dt} = H_0 - H_1 + Q - W_s \quad (1)$$

Dengan menggunakan kondisi dan asumsi yang ada maka model *plant Heat Exchanger* dapat ditulis sebagai berikut :

$$V\rho C_p \frac{dT}{dt} = C_p\rho F T_0 - T - \frac{aF_c^{b+1}}{F_c + \frac{aF_c^b}{2\rho_c C_{pc}}} T - T_{cin} \quad (2)$$

Parameter *steady state* seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. Parameter *steady state* pada *Heat Exchanger* [1]

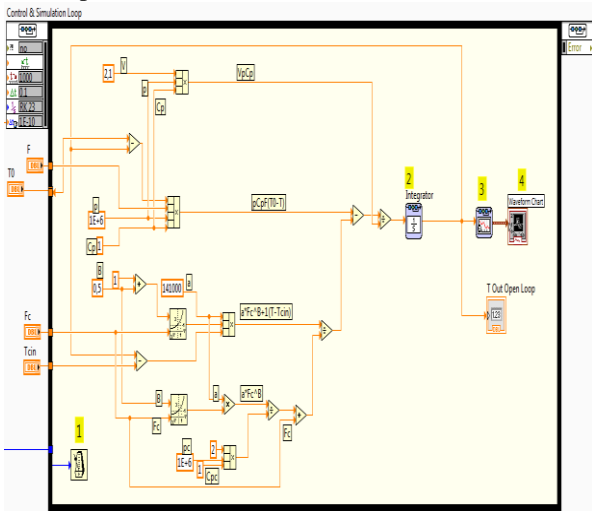
Notasi	Nilai
F	$0,085 \text{ m}^3/\text{min}$
V	$2,1 \text{ m}^3$
T_s	$85,4 \text{ }^{\circ}C$
ρ	10^6 g/m^3
C_p	$1 \text{ cal/(g }^{\circ}C)$
T_0	$150 \text{ }^{\circ}C$
T_{cin}	$25 \text{ }^{\circ}C$
F_{cs}	$0,5 \text{ m}^3/\text{min}$
C_{pc}	$1 \text{ cal/(g }^{\circ}C)$
ρ_c	10^6 g/m^3
a	$1,41 \times 10^5 \text{ cal/min }^{\circ}C$
b	$0,5$

III. PERANCANGAN SISTEM

Perancangan simulasi pengendalian *Heat Exchanger* hanya meliputi perangkat lunak (*software*) pada LabVIEW. Langkah awal yakni memodelkan *plant* ke dalam LabVIEW menggunakan persamaan model (2) kemudian menguji *open loop test*.

A. Perancangan Simulasi Open Loop Test

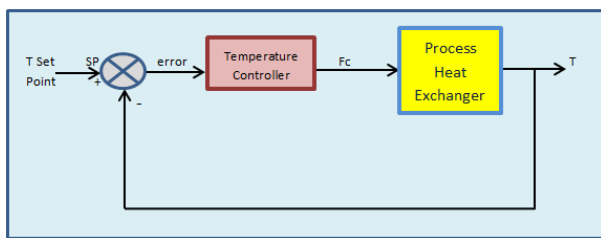
Perancangan pada sistem *open loop test* digunakan untuk mengetahui nilai temperatur tangki. Pada *Heat Exchanger*, dengan *input* berupa *flow* dan temperatur. Berikut sistem *open loop test* pada blok diagram dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Block diagram sistem open loop test

B. Perancangan Feedback Control menggunakan Sub VI PI Controller

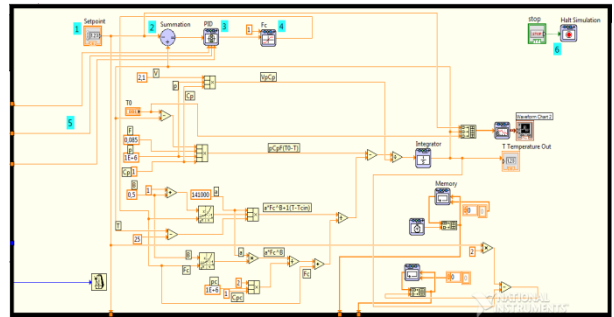
Pada perancangan sistem kendali *feedback* menggunakan pengendali PI. Variabel *input* pada pengendali PI ini adalah nilai *error* (e) sedangkan untuk variabel *output* adalah nilai F_c seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Blok diagram pengendali PI

Nilai *error* atau selisih, digunakan sebagai masukan untuk pengendali PI di dalam sistem kendali *feedback*. Pengendali PID ini akan mengeluarkan sinyal kendali yang dimasukkan ke dalam proses (dalam hal ini *manipulated variable*). Sehingga pengendali PI pada sistem kendali *feedback* dapat mengendalikan proses sehingga temperatur output (T) tetap berada di nilai *set point*-nya.

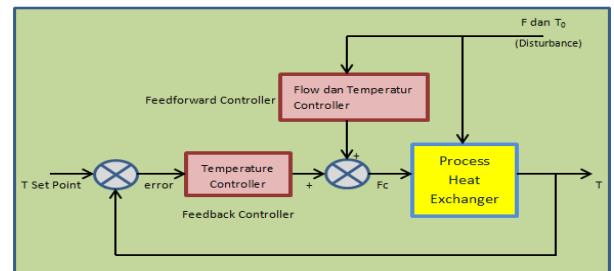
Berikut simulasi sistem pengendali PI pada blok diagram dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Block diagram Sistem Kendali PI

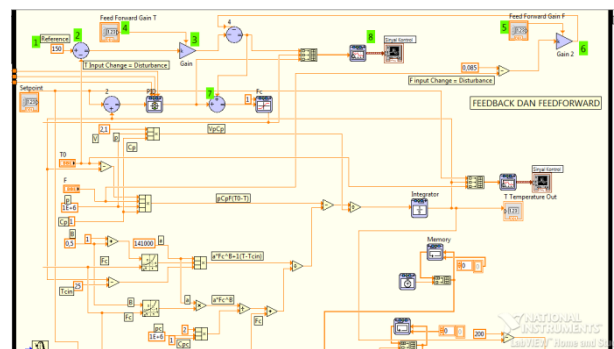
C. Perancangan Sistem Kendali PI Plus Feedforward

Kendali umpan maju atau *feedforward control* merupakan kendali yang menggunakan masukan *disturbance* untuk melakukan pengendalian terhadap *disturbance* itu sendiri. Dalam Gambar 5, kendali *feedforward* juga akan mengeluarkan sinyal kendali, yang mana aksi kendali bergantung pada *disturbance* yang terukur.



Gambar 5. Diagram Blok Sistem Kendali PI Plus Feedforward

Sistem kendali PI dapat digunakan untuk mengendalikan proses agar keluarannya mampu mengikuti *set point* yang diberikan, sedangkan sistem kendali *feedforward* mampu mengkompensasi efek *disturbance* yang hadir saat pengendalian proses. Dengan kombinasi kendali PI Plus *feedforward*, pengendalian proses dapat menjadi lebih efektif khususnya dalam menghadapi adanya *disturbance* yang muncul. Berikut simulasi sistem pengendali PI Plus *Feedforward* pada blok diagram dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Block Diagram Sistem Kendali PI Plus Feedforward

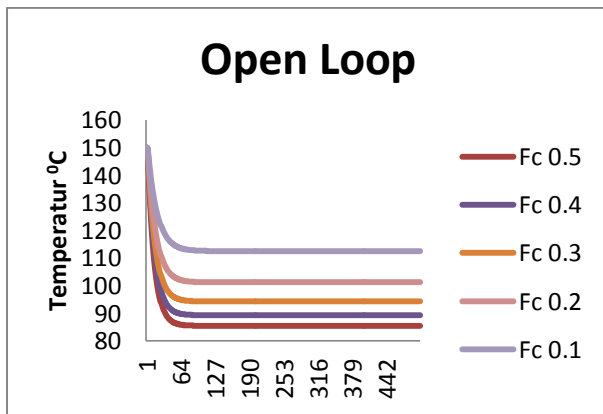
IV. HASIL DAN ANALISIS

A. Pengujian Hasil Simulasi *Open Loop Test*

Pengujian secara *open loop test* dilakukan dengan kendali manual yaitu dengan mengubah – ubah nilai *manipulated variable* pada sistem *Heat Exchanger*. Adapun hasil *open loop test* dapat dilihat pada Tabel 3. dan Gambar 7.

Tabel 3. Hasil pengujian *open loop*

Percobaan	F_c (m^3/min)	T ($^{\circ}C$)	
		Nilai Steady State	Pembulatan
1	0,1	112,478	112
2	0,2	101,181	101
3	0,3	94,2534	94
4	0,4	89,3033	89
5	0,5	85,48	85

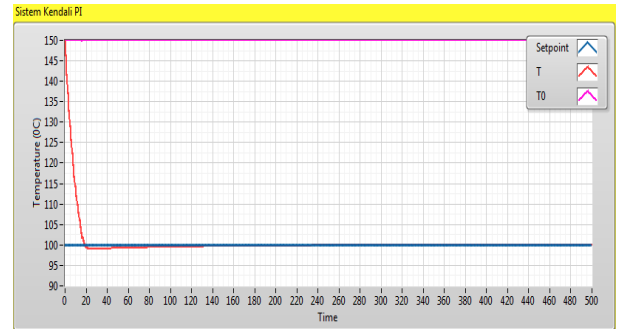


Gambar 7. Hasil pengujian *open loop*

Berdasarkan Tabel 3. dapat disimpulkan bahwa semakin besar nilai variabel F_c maka semakin rendah pula nilai variabel T yang dihasilkan. Dengan memberikan nilai F_c sebesar $0.5 m^3/min$ sesuai dengan parameter *steady state* pada bab dua, menghasilkan T sebesar $85,48^{\circ}C$. Oleh karena itu saat melakukan analisis sistem dengan pengendali PI dan *feedforward*, *set point* yang diberikan tidak boleh melebihi $85,48^{\circ}C$. karena dengan nilai F_c sebesar $0.5 m^3/min$ sistem hanya mampu menghasilkan temperatur (T) maksimal sebesar $85,48^{\circ}C$.

B. Pengujian Hasil Simulasi Sistem Kendali PI

Dalam analisis menggunakan sistem kendali PI, Respon keluaran proses yaitu temperatur cairan keluar proses T diberi target untuk mampu mengikuti *set point* (mencapai *steady state*). Respon karakteristik proses, diharapkan menghasilkan nilai *settling time*, sekecil mungkin, beserta toleransi maksimal *overshoot* yang dihasilkan sebesar $0,5\%$.

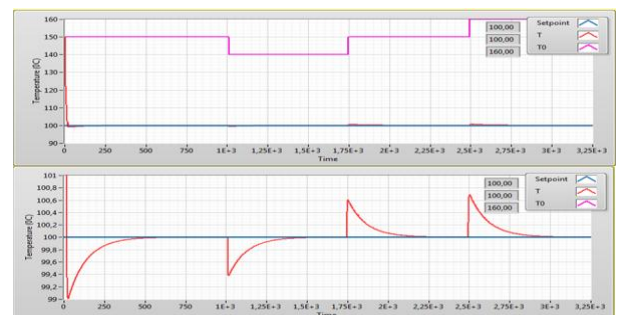


Gambar 8. Hasil Pengujian Kendali PI Pada Sinyal *Step*

Gambar 8. menunjukkan penggunaan pengendali PI dengan parameter $P = 0,097$ dan $I = 0,00097$, dan didapatkan respon karakteristik proses yang menghasilkan *overshoot* sebesar $0,99\%$, sedangkan *settling time* sebesar $18,81$ deik. Temperatur cairan keluar (T) yang dihasilkan sebesar $99,98^{\circ}C$ (sesuai *Set Point*).

Permasalahan yang terjadi dalam penelitian ini adalah ketika temperatur cairan masuk (T_0) dapat berubah dari kondisi normalnya (kondisi awal) sehingga menjadi sebuah *disturbance* yang membuat temperatur cairan keluar (T) sebagai *controlled variable* berubah dan menjauhi *set point* yang diberikan.

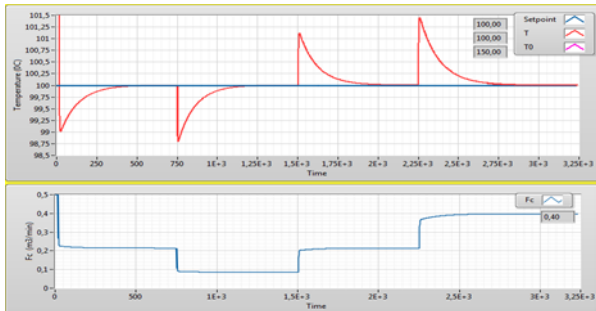
Pada Gambar 9 menunjukkan hasil pengendalian oleh sistem kendali PI dalam menangani *disturbance* yaitu perubahan temperatur cairan masuk (T_0) dari kondisi awal. Sistem kendali PI telah mengendalikan proses agar sesuai dengan *set point* yang diberikan. Tetapi dengan adanya *disturbance* atau perubahan temperatur cairan yang masuk (T_0) terjadi deviasi pada temperatur cairan keluar (T) dengan *set point*-nya. Pada Gambar 9 sistem kendali PI mencoba untuk mengembalikan temperatur cairan keluar (T) menuju *set point*-nya. Tetapi hal itu membutuhkan waktu yang lama bagi sistem kendali PI untuk melakukan pengendalian terhadap *disturbance* yang terjadi.



Gambar 9. Grafik Pengaruh T_0 Pada Sistem Kendali PI

Pada Gambar 10 menunjukkan hasil pengendalian oleh sistem kendali PI dalam menangani *disturbance* yaitu perubahan *flow input* (F) dari kondisi awal. Sistem kendali PI telah mengendalikan proses agar sesuai dengan *set point* yang diberikan. Tetapi dengan adanya *disturbance* atau perubahan laju aliran yang masuk (F) terjadi deviasi pada temperatur cairan keluar (T) dengan *set point*-nya. Pada Gambar 10 sistem kendali PI mencoba untuk mengembalikan temperatur

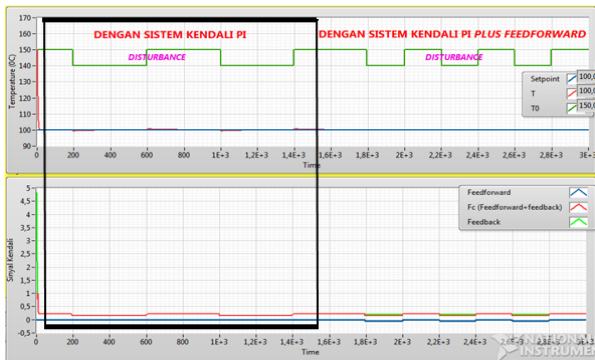
cairan keluar (T) menuju *set point*-nya. Tetapi hal itu membutuhkan waktu yang lama bagi sistem kendali PI untuk melakukan pengendalian terhadap *disturbance* yang terjadi.



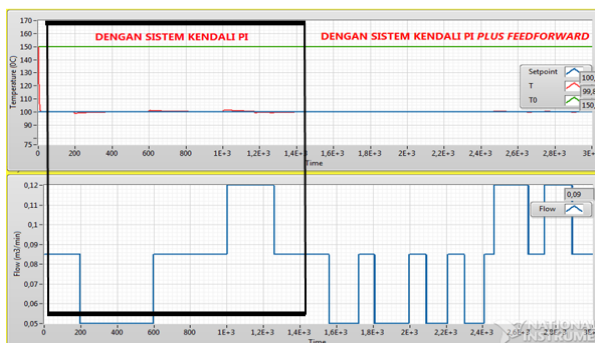
Gambar 10. Grafik Pengaruh F Pada Sistem Kendali PI

C. Sistem Kendali PI Plus Feedforward

Pengendali *feedforward* menggunakan pengendali *gain* yang diatur supaya *overshoot* yang ditimbulkan dari perubahan temperatur cairan masuk T_0 dan F menjadi berkurang. Pada penelitian ini pengendali *gain* menggunakan parameter T_0 sebesar 0,0055 kali penguatan dan F sebesar 4 kali penguatan, sehingga dengan adanya gabungan sistem kendali PI dan *feedforward* mampu mengatasi permasalahan pengendalian *heat exchanger* walaupun terdapat adanya *disturbance*.



Gambar 11. Grafik Pengaruh T_0 Pada Sistem Kendali PI Plus Feedforward



Gambar 12. Grafik Pengaruh T_0 Pada Sistem Kendali PI Plus Feedforward

Gambar 11 dan Gambar 12 menampilkan perbedaan antara penggunaan sistem kendali PI dengan gabungan sistem kendali PI plus *feedforward* terhadap *disturbance* yang diberikan ke dalam sistem. Tanpa

menggunakan sistem kendali *feedforward*, *disturbance* dapat membuat deviasi pada hasil pengendalian sistem kendali PI. Akan tetapi dengan adanya penambahan sistem kendali *feedforward* yang digunakan untuk mendampingi sistem kendali PI, *disturbance* yang ada tidak dapat membuat deviasi pada hasil pengendalian proses.

Sistem kendali *feedforward* akan aktif ketika adanya perubahan temperatur cairan masuk (T_i) ataupun laju aliran masuk (F) yang ditandai dengan keluarnya nilai sinyal kendali (terdapat nilai negatif pada sinyal kendali *feedforward*). Apabila tidak ada perubahan temperatur cairan masuk ataupun laju aliran yang masuk ke dalam tangki, maka sistem kendali *feedforward* tidak akan mengeluarkan sinyal kendali (sinyal kendali bernilai 0), karena tidak diperlukan untuk mengatasi perubahan/*disturbance* temperatur cairan masuk (T_0) dan laju aliran masuk (F).

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dari hasil simulasi dan pengujian untuk semua sistem kendali PI plus *feedforward* pada sistem *heat exchanger* diperoleh beberapa kesimpulan, diantaranya sebagai berikut :

1. Pengujian *open loop* dilakukan secara manual, dengan F_c sebesar 0,5 menghasilkan temperatur output (T) sebesar $85,4^{\circ}\text{C}$. Nilai T tersebut digunakan sebagai *set point* minimal untuk melakukan analisis pada penelitian ini. Pada penelitian ini hanya menggunakan *set point* antara 100°C - 120°C , karena kemampuan aktuator hanya bisa mencapai pada kondisi tersebut.
2. Pada sistem *close loop* kendali *feedback* (PI) didapatkan kesimpulan bahwa sistem kendali *feedback* hanya membutuhkan dua buah pengendali yaitu P dan I. Kedua parameter tersebut menghasilkan respon karakteristik *overshoot* = 0,99%, *rising time* = 11,72 detik dan *settling time* = 18,81 detik. Apabila terdapat *disturbance*, respon (T) masih belum mencapai kondisi yang diinginkan (tujuan penelitian).
3. Pengujian sistem kendali *feedforward* digunakan untuk mengatasi *disturbance* yang masuk ke dalam tangki. Pengendali *gain* yang digunakan untuk sistem kendali *feedforward* ini didapat dari hasil *tuning* yang menghasilkan *gain* sebesar 4 untuk F dan 0.0055 untuk T_0 . Gabungan dua sistem kendali inilah yang dapat mengurangi *disturbance* yang dihasilkan dari perubahan temperatur awal masuk cairan (T_0) dan perubahan aliran masuk (F). Apabila diberi gangguan, gabungan dua sistem kendali ini memiliki respon yang lebih baik dibandingkan hanya menggunakan satu sistem kendali (PI) dengan hasil maksimal *overshoot/undershoot* tidak lebih

dari 0,5°C dari *set point* dan *settling time* maksimal 360 detik.

B. Saran

Saran yang dapat diterapkan pada penelitian ini dan untuk penelitian selanjutnya yang serupa adalah :

1. Dapat menggunakan pengendali lain seperti neuro fuzzy adaptif dan MRAC (*Model Reference Adaptive Control*) PID dalam mengendalikan proses yang digunakan.
2. Perlu adanya penelitian untuk mengimplementasikan sistem kendali *stirred tank heat exchanger* dengan PID pada *plant* sebenarnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. Marlin, *Process Control, Designing Process and Control Systems For Dynamic Performance*. Singapore: Mc Graw Hill. 2000
- [2] A. Sylvia, *Perancangan dan Simulasi MRAC PID Control untuk Proses Pengendalian Temperatur pada Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)*. Jurnal Teknik POMITS, Jurusan Teknik Elektro, Vol. 3 No 1, 2014.
- [3] J. Prihantoro, *Feedforward Feedback Control Sebagai Pengontrol Suhu Menggunakan Proporsional – Integral Berbasis Mikrokontrolle ATmega 8535*. Jurnal Teknologi, Jurusan Teknik Elektro – Universitas Diponegoro, 2011.
- [4] E. Ariyanto, *Permodelan dan Simulasi Pada Alat Penukar Panas*. Jurnal Teknologi, Program Studi Teknik Kimia – Universitas Muhammadiyah Palembang, 2015.
- [5] R. Syahputra, *Simulasi Pengendalian Temperatur Pada Heat Exchanger Menggunakan Teknik Neuro-Fuzzy Adaptif*. Jurnal Teknologi, Program Studi Teknik Elektro – Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Vol. 8 No 2, 161 – 168, 2015.
- [6] P.N. Jayanti, *Simulasi Sistem Kendali Heat Exchanger Berbasis Interval Type-2 Fuzzy Logic Controller*, Program Studi Teknik Elektro – Universitas Islam Indonesia, 2013.