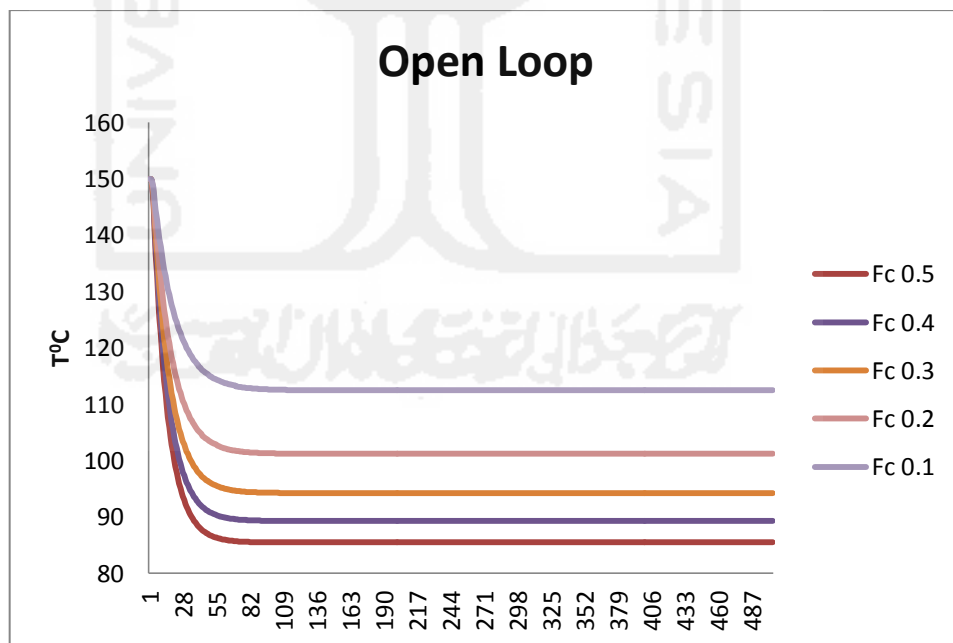


BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian *Open Loop Test* Pada *Plant Heat Exchanger*

Langkah awal yang dilakukan peneliti yaitu membuat sistem *heat exchanger* di dalam program LabVIEW. Pengujian *open loop test* ini dilakukan terhadap proses/*plant* tersebut untuk mencari karakteristik dari *plant* tersebut. Pengujian secara *open loop* ini dilakukan dengan kendali manual dengan cara mengubah-ubah parameter nilai *manipulated variabel* pada sistem *heat exchanger* dalam program LabVIEW. Dengan melakukan *open loop test*, didapatkan hasil kendali manual sehingga dapat mengetahui karakteristik respon dari *plant* tersebut. Berikut grafik pengujian respon open loop ditunjukkan pada Gambar 4.1



Gambar 4. 1 Pengujian Respon *Open Loop Test* pada *Heat Exchanger*

Tabel 4. 1 Respon *Open Loop Test Heat Exchanger*

Percobaan	F_c (m ³ /min)	T (°C)	
		Nilai <i>Steady State</i>	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

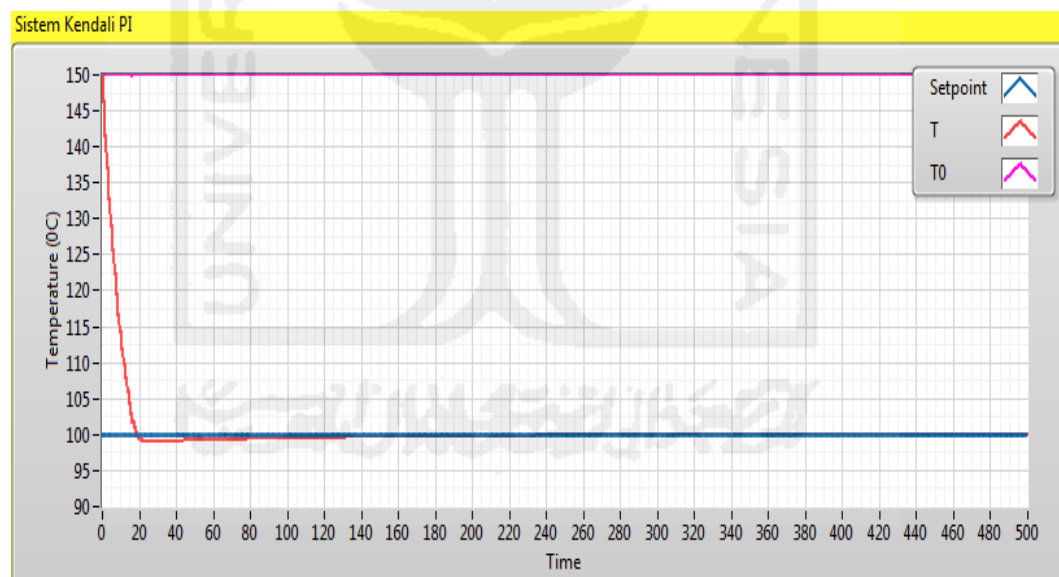
Dari Grafik dan Tabel 4.1 diatas menunjukkan hasil pengujian *open loop* pada *plant heat exchanger* sistem tersebut adalah non linear. Berdasarkan hasil pengujian tersebut dapat disimpulkan karakteristik respon dari *plant*, yakni semakin besar nilai aliran cairan pendingin (F_c) yang diberikan maka semakin rendah nilai output (T) yang didapatkan . Hal ini berbanding terbalik karena tujuan dari *plant* ini adalah mendinginkan cairan didalam tangki. Didalam proses ini, variabel F_c dinyatakan sebagai *manipulated variable* sedangkan variabel T sebagai *controlled variable*. Pada percobaan yang kelima, diberikan nilai F_c sebesar 0,5 sesuai dengan data *heat exchanger* pada bab metodologi penelitian, didapatkan nilai T sebesar 85⁰C. Nilai T itulah yang digunakan sebagai nilai *set point* minimal untuk melakukan analisis dengan sistem kendali *feedback* dan *feedforward*, sehingga *set point* yang diberikan nantinya tidak kurang dari 85⁰C dikarenakan dengan F_c sebesar 0,5 hanya mampu menghasilkan T maksimal pada 85,4⁰C. Pada penelitian ini hanya menggunakan *set point* antara 100⁰C-120⁰C, karena kemampuan aktuator hanya bisa mencapai pada kondisi tersebut.

Hasil yang didapat pada respon *open loop test* diatas menunjukkan bahwa variabel F_c (aliran *coolant*) yang merupakan *manipulated variabel* akan

mempengaruhi output *plant* yaitu T . Oleh karena itu, model matematik yang digunakan dapat dipakai sebagai model *heat exchanger* untuk simulasi *plant* pada pengendalian ini.

4.2 Pengujian Sistem Kendali PI Pada *Plant Heat Exchanger*

Pengujian yang kedua yakni menguji respon keluaran dari *plant* tersebut dengan melakukan pengaturan (*tuning*) parameter pengendali PID pada sistem kendali *feedback* dengan hasil pengujian yang didapatkan parameter P sebesar 0,097 dan I sebesar 0,00097 dengan *overshoot* yang dihasilkan sebesar 0,99% dan *settling time* sebesar 18,81 detik. Pengaturan (*tuning*) parameter pengendali PID pada sistem kendali *feedback* ini dilakukan tanpa menggunakan parameter D karena respon yang dihasilkan sudah mencapai *set point* yang diinginkan.



Gambar 4. 2 Pengujian Parameter Pengendali PI Pada Sinyal *Step*

Pada Gambar 4.2 diatas menunjukkan bahwa dengan parameter PI yang didapat pengendali PI mampu mencapai *set point* sebesar 100⁰C. Parameter PI tersebut digunakan untuk menganalisa respon keluaran dari *plant heat exchanger*, apakah temperatur output cairan dapat mencapai target untuk mampu mengikuti



point yang diberikan. Sinyal kendali yang dihasilkan oleh pengendali PI akan mempengaruhi respon keluaran yang mana dikendalikan oleh sistem kendali *feedback* akan tetap mencapai *set point* meskipun *set point* diubah dalam waktu tertentu. Akan tetapi pada pengujian dengan adanya *disturbance*, peneliti hanya menggunakan satu buah *set point* yakni sebesar 100°C .

Sistem kendali *feedback* berfungsi untuk mengatur temperatur output (T) *heat exchanger* agar dapat mencapai dan mengikuti *set point* yang diberikan, akan tetapi kelemahan dari sistem kendali *feedback* ini tidak dapat mengkompensasi dengan baik gangguan yang terjadi pada saat awal (dalam penelitian ini temperatur masuk T_0 atau aliran masuk cairan F berubah dari kondisi awal) sebelum gangguan tersebut mempengaruhi proses di dalam tangki. Hal ini akan membuat temperatur output (T) sebagai *controlled variable* berubah dan menjauhi *set point* yang diberikan. Oleh karena itu dibutuhkan sebuah sistem kendali tambahan untuk menaikkan unjuk kerja dari pengendali sistem *heat exchanger* tersebut secara keseluruhan dan sistem kendali tersebut adalah *Feedforward Control System*.

Sebelum *feedforward control* diimplementasikan ke dalam sistem, terlebih dahulu peneliti melakukan pengukuran *disturbance* dan efeknya terhadap hasil pengendalian proses menggunakan sistem kendali PI. *Disturbance* pada penelitian ini yakni perubahan pada kondisi awal (temperatur masuk T_0 atau aliran masuk cairan F berubah dari kondisi awal). Kriteria yang diinginkan yakni *overshoot*, dan *settling time* yang semakin rendah. *Overshoot* pada penelitian ini adalah simpangan maksimum dari nilai *set point*, sedangkan *settling time* adalah waktu yang menyatakan respon telah masuk $\pm 0,5\%$ dari keadaan *steady state*.



Tabel 4. 3 Deviasi *Flow (F)* Sebagai *Disturbance*

<i>Set Point</i>	<i>F</i> Awal (m ³ /min)	<i>Disturbance</i>		Maksimum <i>overshoot/undershoot</i> (°C)	<i>Settling Time</i> (detik)
		Perubahan <i>F</i>	Selisih		
100	0,085	0,050	0,035	1,25	425
	0,050	0,085	0,035	1,13	525
	0,085	0,12	0,035	1,5	600

Gambar 4.4 dan Gambar 4.5 diatas menunjukkan perubahan temperatur awal (T_0) atau aliran air (F) yang masuk ke dalam tangki *heat exchanger* (grafik warna hijau atau biru) membuat respon temperatur output (T) hasil pengendalian sistem kendali PI menjadi terganggu (grafik warna merah). Adanya *disturbance* (perubahan pada temperatur awal (T_0) atau aliran masuk cairan (F)) inilah yang menyebabkan terjadinya deviasi antara *set point* dengan temperatur output (T). Di dalam Gambar 4.4 dan 4.5 sistem kendali PI mencoba untuk mengembalikan temperatur output (T) kembali pada *set point*, akan tetapi dibutuhkan waktu yang lama bagi sistem kendali PI dalam mengatasi *disturbance* yang sedang terjadi. Oleh sebab itu peneliti menggunakan tambahan sistem kendali *feedforward* untuk mengatasi *disturbance* yang dapat mengganggu performa sistem kendali PI.

Dapat dilihat pada Tabel 4.2 dan 4.3 dengan selisih yang sama pada masing-masing variabel *disturbance* (T_0 dan F) menghasilkan nilai *overshoot/undershoot* yang masih cukup jauh dari nilai *set point* serta membutuhkan waktu yang cukup lama untuk mencapai kondisi *steady* kembali. Dalam mengatasi masalah tersebut, peneliti melakukan pengaturan (*tuning*) pada pengendali *gain* pada sistem kendali *feedforward* untuk mengatasi *disturbance* yang akan dijelaskan pada sub bab berikutnya.

4.3 Pengujian Sistem Kendali PI Plus Feedforward Pada Plant Heat

Exchanger

Dalam sub bab ini peneliti melakukan analisis kendali proses menggunakan gabungan dua buah sistem kendali yakni sistem kendali PI dan sistem kendali *feedforward*. Langkah awal yang dilakukan pada sub bab ini adalah mengatur (*tuning*) *gain* untuk masing – masing variabel *disturbance*. *Tuning* pada sistem kendali *feedforward* (pengendali *gain*) dilakukan dengan cara memberikan perubahan temperatur masukan dengan selisih 10⁰C dan aliran air panas dengan selisih 0,035m³/min (dari keadaan *steady* 150⁰C dan 0,085) dengan harapan pengaturan/*tuning* ini dapat mengurangi efek dari *disturbance*

Tabel 4. 4 Pengaturan *Gain* terhadap T_0 Pada Sistem Kendali *Feedforward*

<i>Disturbance</i>		Pengendali <i>Feedforward</i>		<i>Set Point</i> (⁰ C)	Maksimum <i>overshoot/undershoot</i> (⁰ C)	<i>Settling Time</i> (detik)
T_0 Awal (⁰ C)	T_0 Gangguan (⁰ C)	<i>Reference</i>	<i>Gain</i>			
150	140	150	0,55	100	36	700
			0,055		4,5	400
			0,0055		0,14	60
	160		0,55		10	1000
			0,055		4	450
			0,0055		0,2	20

Pada Tabel 4.4 menunjukkan pengendali *gain* di-*tuning* supaya maksimum *overshoot/undershoot* yang dihasilkan oleh perubahan temperatur awal (T_0) menurun mendekati *set point*. Pengaturan pengendali *gain* dilakukan dengan menurunkan parameter pengendali tersebut karena apabila dinaikkan hasil temperatur keluaran tidak akan mencapai *set point*. Data dari tabel menunjukkan semakin rendah nilai *gain* maka semakin kecil pula *overshoot/undershoot* dan

settling time yang dihasilkan terhadap perubahan T_0 . Hasil pengujian tersebut didapatkan pengendali *gain* untuk sistem kendali *feedforward* sebesar 0,0055.

Tabel 4. 5 Pengaturan *Gain* terhadap F Pada Sistem Kendali *Feedforward*

<i>Disturbance</i>		Pengendali <i>Feedforward</i>		<i>Set Point</i> (°C)	Maksimum <i>overshoot/undershoot</i> (°C)	<i>Settling Time</i> (detik)
F Awal (m ³ /min)	F Gangguan (m ³ /min)	<i>Reference</i>	<i>Gain</i>			
0,085	0,05	0,085	2	100	0,6	420
			4		0,1	200
	0,1		2		0,9	500
			4		0,35	300

Pada Tabel 4.5 menunjukkan pengendali *gain* di-*tuning* supaya maksimum *overshoot/undershoot* yang dihasilkan oleh perubahan aliran masuk cairan (F) menurun mendekati *set point*. Pengaturan pengendali *gain* dilakukan dengan menaikkan parameter pengendali tersebut karena apabila diturunkan *overshoot/undershoot* yang dihasilkan semakin besar. Data dari tabel menunjukkan semakin tinggi nilai *gain* maka semakin kecil pula *overshoot/undershoot* dan *settling time* yang dihasilkan terhadap perubahan F . Hasil pengujian tersebut didapatkan pengendali *gain* untuk sistem kendali *feedforward* sebesar 4.

Dalam sistem kendali *feedforward*, penggunaan parameter pengendali *gain* pada temperatur awal cairan (T_0) sebesar 0,0055 dan aliran masuk (F) sebesar 4 dapat mengurangi *disturbance* yang dihasilkan sistem *heat exchanger*. Kedua nilai *gain* tersebut dianggap ideal karena mengurangi *overshoot/undershoot* yang disebabkan oleh perubahan temperatur awal (T_0) ataupun perubahan pada *flow* tetapi perubahan tersebut tidak membuat temperatur output (T) berkurang dari *set point* yang diberikan.









membutuhkan waktu sekitar 392 detik untuk mencapai *set point* kembali, berbeda dengan kombinasi sistem kendali PI dan *feedforward* yang tidak mempengaruhi respon sistem terhadap perubahan nilai F dan tetap berada pada *set point*.

Pada dasarnya sistem kendali *feedforward* ini akan aktif ketika ada perubahan temperatur awal (T_0) atau aliran masuk (F) yang ditandai dengan keluarnya sinyal kendali (terdapat nilai negatif pada sinyal *feedforward*). Apabila tidak ada perubahan T_0 maupun F yang masuk ke dalam tangki, maka sistem kendali *feedforward* akan bernilai 0 (sinyal kendali tidak akan keluar) dikarenakan tidak adanya perubahan pada T_0 ataupun F .

