

STUDI PERFORMANSI SISTEM PENGENDALIAN *TEMPERATURE*, *RELIABILITY* DAN *SAFETY* PADA *HEAT EXCHANGER* DI PT. PETROWIDADA GRESIK

Oleh

(Novan Yudha A, Ir.Ronny Dwi Noriyati, M.Kes, Imam Abadi, ST.MT)

Jurusan Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh November
Kampus ITS Keputih Sukolilo – Surabaya 60111

ABSTRAK

Heat Exchanger HT-3120 merupakan *plant* yang berfungsi untuk menaikkan temperatur *Ortho-Xylene*. Agar proses bisa berjalan dengan aman, sistem pengendalian harus dapat bekerja dengan baik dan sistem proteksi harus memiliki tingkat keamanan yang mencukupi. Pada proses perpindahan panas tersebut diharapkan temperatur dari *Ortho-Xylene* sesuai dengan yang diharapkan yakni sebesar 140 °C dimana temperatur awal *Ortho-Xylene* sebesar 40 °C . Maka dari itu, diperlukan suatu pengendalian yang handal agar dapat menjaga temperatur dari *Ortho-Xylene* dengan memanipulasi laju aliran dari *steam*. Maka dalam tugas akhir ini, dilakukan suatu simulasi yang terintegrasi antara proses, sistem pengendalian dan sistem proteksi dari model yang telah didapatkan. Dari hasil simulasi didapatkan bahwa untuk sistem pengendalian temperatur memiliki Mp 31,01%, ts 1165 detik dan Ess 0,1%. Ketiga parameter tersebut mewakili performansi dari sistem kontrol temperatur. Perhitungan PFD total dari sistem pada saat $T_i=8760$ jam atau 1 tahun yakni 0,81373 sedangkan pada saat $T_i=83712$ jam yakni 6,33429, sistem yang saat ini tersedia di *heat exchanger* HT-3120 dikategorikan sebagai sistem yang mempunyai SIL 1.

Kata Kunci: *Heat exchanger*, *Ortho-Xylene*, *temperature*, *Probability Failure of Demand (PFD)*, *Safety Integrity Level (SIL)*.

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Peristiwa perpindahan panas banyak dijumpai dalam industri-industri kimia, misalnya, pada proses pendinginan atau pemanasan umpan yang akan masuk ke reaktor, vulkanisasi karet, pembuangan panas dari suatu pembangkit tenaga, dan lain-lain. Seperti pada PT.Petrowidada Gresik yang merupakan perusahaan yang memproduksi *Phthalic Anhydride* yang digunakan sebagai bahan baku bagi industri plastik, cat, dan lem di Indonesia.

Salah satu tahapan pada proses pengolahannya adalah proses pertukaran panas yang terjadi pada *heat exchanger* HT-3120 dimana temperatur dari *Ortho Xylene* harus dijaga sekitar 140°C dengan memanipulasi laju fluida pemanas yakni berupa *steam*. Pada saat ini alat penukar panas yang dipakai adalah *heat exchanger* jenis *shell and tube*.

Tugas Akhir ini mengacu pada Tugas Akhir sebelumnya yang dilakukan oleh Galih Candrawati yakni hanya melakukan suatu pengendalian terhadap suatu *Unit Thermal Ventilation* dan menganalisa tingkat safety namun tidak melakukan analisa terhadap

keandalan dari masing-masing komponen pada *Unit Thermal Ventilation*.

Sementara itu pada Tugas Akhir sebelumnya yang dilakukan Andhika Bagus yaitu hanya melakukan analisa sebuah *plant* di PT.Petrokimia Gresik dari segi kehandalan dan tingkat keamanannya saja, namun tidak melakukan analisa tentang sistem pengendalian pada *plant* tersebut. Berdasarkan pada penjelasan diatas, untuk itulah pada Tugas Akhir ini akan dilakukan sistem pengendalian terhadap suatu proses dan analisa dalam segi kehandalan dalam tiap komponen dalam proses pertukaran panas serta tingkat keamanannya. Sehingga diharapkan dari analisa sistem pengendalian, kehandalan, dan tingkat keamanan akan berguna bagi perusahaan dalam meningkatkan proses produksi di PT. Petrowidada Gresik.

1.2 Tujuan

Adapun tujuan dari Tugas Akhir ini adalah untuk melakukan studi performansi melalui simulasi yang terintegrasi antara proses, sistem pengendalian dan sistem proteksi pada *Heat Exchanger HT-3120*.

II. TEORI PENUNJANG

2.1 Heat Exchanger

Pengertian penukar panas atau dalam industri kimia populer dengan istilah bahasa Inggrisnya, *heat exchanger* (HE), adalah suatu alat yang memungkinkan perpindahan panas dan bisa berfungsi sebagai pemanas maupun sebagai pendingin. Biasanya, medium pemanas dipakai uap lewat panas (*super heated steam*) dan air biasa sebagai air pendingin (*cooling water*). Penukar panas dirancang sebisa mungkin agar perpindahan panas antar fluida dapat berlangsung secara efisien. Pertukaran panas terjadi karena adanya kontak, baik antara fluida terdapat dinding yang memisahkannya maupun keduanya bercampur langsung begitu saja. Penukar panas sangat luas dipakai dalam industri seperti kilang minyak, pabrik kimia maupun petrokimia, industri gas alam, refrigerasi, pembangkit listrik.

Heat Exchanger yang dipakai adalah tipe *Shell and Tube Heat Exchanger*. Dimana terdiri atas suatu bundel pipa yang dihubungkan secara parallel dan ditempatkan dalam sebuah pipa mantel (cangkang). Fluida yang satu mengalir di dalam bundel pipa, sedangkan fluida yang lain mengalir di luar pipa pada arah yang sama, berlawanan, atau bersilangan. Kedua ujung pipa tersebut dilas pada penunjang pipa yang menempel pada mantel.

Penurunan model matematis:

- Kestimbangan Massa :

$$\left[\frac{\text{akumulasi massa}}{\text{waktu}} \right] = \left[\frac{\text{massa masuk}}{\text{waktu}} \right] - \left[\frac{\text{massa keluar}}{\text{waktu}} \right]$$

$$\frac{d(\rho Ah)}{dt} = \rho F_i - \rho F \quad (2.1)$$

$$A \frac{dh}{dt} = F_i - F \quad (2.2)$$

ρ = Kerapatan cairan

F_i = Laju alir cairan masuk

F = Laju alir cairan keluar

- Kestimbangan Energi :

$$\left[\frac{\text{akumulasi energi}}{\text{waktu}} \right] = \left[\frac{\text{energi masuk}}{\text{waktu}} \right] - \left[\frac{\text{energi keluar}}{\text{waktu}} \right] + \left[\frac{\text{energi steam}}{\text{waktu}} \right]$$

$$\frac{d[\rho Ah c_p (T - T_{ref})]}{dt} = \rho F_i c_p (T_i - T_{ref}) - \rho F c_p (T - T_{ref}) + Q \quad (2.3)$$

Dimana:

c_p = Kalor spesifik (kkal/kg)

T_i = Suhu cairan masuk ($^{\circ}\text{C}$)

T = Suhu cairan keluar ($^{\circ}\text{C}$)

T_{ref} = Suhu cairan yang diinginkan ($^{\circ}\text{C}$)

Q = Energi panas steam (kkal/jam)

Penyederhanaan persamaan (2.3) dengan asumsi $T_{ref} = 0$ dan $\rho = \text{konstan}$

$$A \frac{d(hT)}{dt} = F_i T_i - FT + \frac{Q}{\rho c_p} \quad (2.4)$$

Substitusi persamaan (2.2) ke persamaan (2.4) menjadi :

$$A \frac{d(hT)}{dt} = Ah \frac{dT}{dt} + AT \frac{dh}{dt} = Ah \frac{dT}{dt} + T(F_i - F) \quad (2.5)$$

$$Ah \frac{dT}{dt} + T(F_i - F) = F_i T_i - FT + \frac{Q}{\rho c_p}$$

Atau

$$Ah \frac{dT}{dt} = F_i (T_i - T) + \frac{Q}{\rho c_p} \quad (2.6)$$

Persamaan (2.6) jika disederhanakan lagi menjadi :

$$Ah \frac{dT}{dt} + F_i T = F_i T_i + \frac{Q}{\rho c_p}$$

Atau

$$\frac{Ah}{F_i} \frac{dT}{dt} + T = T_i + \frac{Q}{F_i \rho c_p} \quad (2.7)$$

Persamaan Laplacenyanya adalah :

$$T_{(s)} (\tau S + 1) = T_{i(s)} + \frac{Q_{(s)}}{F_i \rho c_p} \quad (2.8)$$

dengan

$$\tau = \frac{Ah}{F_i} = \frac{V}{F_i}$$

Sehingga fungsi transfernya adalah :

$$T(s) = \frac{T_i(s)}{(\tau S + 1)} + \frac{1}{(\tau S + 1)} \frac{1}{F_i \rho c_p} Q(s) \quad (2.9)$$

2.2 Pengendali PID

2.2.1 Pengendali Proporsional (P)

Kontroler proporsional memiliki 2 parameter, pita proporsional (*proportional band*) dan konstanta proporsional. Daerah kerja kontroler efektif dicerminkan oleh pita proporsional, sedangkan konstanta proporsional menunjukkan nilai faktor penguatan terhadap sinyal kesalahan, K_p ^[1]. Hubungan antara pita proporsional (PB)

dengan konstanta proporsional (K_p) ditunjukkan secara presentasi oleh persamaan :

$$PB = \frac{1}{K_p} \times 100\% \quad (2.10)$$

Dengan : $PB = Proportional Band$
 $K_p = Gain$ Proses

2.2.2 Pengendali Integral (I)

Kontroler integral memiliki karakteristik seperti halnya sebuah integral. Keluaran kontroler sangat dipengaruhi oleh perubahan yang sebanding dengan nilai sinyal kesalahan. Keluaran kontroler ini merupakan jumlahan yang terus menerus dari perubahan masukannya. Kalau sinyal kesalahan tidak mengalami perubahan, keluaran akan menjaga keadaan seperti sebelum terjadinya perubahan masukan.

Transfer function dari unit kontrol integral adalah sebagai berikut :

$$U = \frac{1}{T_i} K_c \int e \cdot dt \quad (2.11)$$

dimana,

$T_i =$ integral time
 $e =$ error (input dari unit control)
 $K_c =$ gain dari controller

2.2.3 Pengendali Diferensial (D)

Keluaran kontroler diferensial memiliki sifat seperti halnya suatu operasi derivatif. Perubahan yang mendadak pada masukan kontroler, akan mengakibatkan perubahan yang sangat besar dan cepat.

Transfer function dari kontrol *derivative* adalah sebagai berikut:

$$U = K_c \cdot T_D \frac{de}{dt} \quad (2.12)$$

dimana,

$K_c =$ gain
 $e =$ error
 $T_D =$ derivative time

2.3 Reliability

Dalam arti luas keandalan atau *reliability* dihubungkan dengan sistem yang dapat diandalkan, berjalan dengan baik dan dengan tidak adanya sistem yang mengalami kerusakan. Keandalan atau *reliability* didefinisikan sebagai probabilitas dari suatu sistem untuk dapat melaksanakan operasi atau fungsinya dengan baik selama selang waktu tertentu.

Fungsi Keandalan terhadap waktu dapat dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$R(t) = 1 - F(t) = \int_t^{\infty} f(t) dt \quad (2.13)$$

2.4 Laju Kegagalan

Laju kegagalan (λ) adalah banyaknya kegagalan per satuan waktu. Laju kegagalan dapat dinyatakan sebagai perbandingan antara banyaknya kegagalan yang terjadi selama selang waktu tertentu dengan total waktu operasi komponen atau sistem. Laju kegagalan dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\lambda = \frac{f}{T} \quad (2.14)$$

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2.15)$$

dimana :

$f =$ banyaknya kegagalan selama jangka waktu operasi

$T =$ total waktu operasi

2.5 Safety Integrity Level (SIL)

SIL adalah nilai ukur dari performansi *Safety Instrumented System (SIS)* yang hanya dihubungkan dengan *device* yang mengkonfigurasi SIS. Tinjauan dari *Safety Integrity Level (SIL)* berhubungan dengan standar ANSI/ISA 84.01-1996 dan IEC 61508.

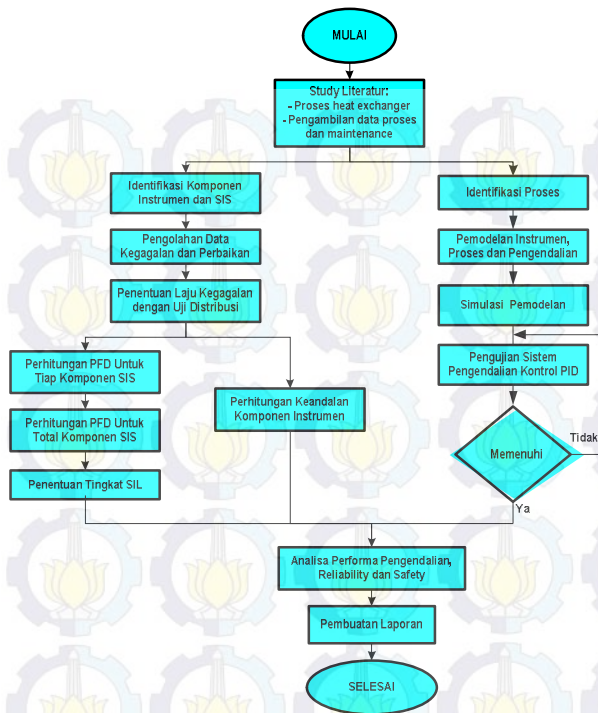
Tabel 2.1 Range nilai PFD yang merepresentasikan tingkatan SIL

Safety Integrity Level	Availability Required	Probability to Fail on Demand	1/PFD	
IEC 61508 ISA 84	4	>99.99%	E-005 to E-004	100,000 to 10,000
	3	99.90-99.99%	E-004 to E-003	10,000 to 1,000
	2	99.00 - 99.90%	E-003 to E-002	1,000 to 100
	1	90.00 - 99.00%	E-002 to E-001	100 to 10

SIL 1 menunjukkan level keamanan rendah (*High risk*) atau kemungkinan terjadinya *failure* semakin besar. sedangkan SIL 4 menunjukkan level keamanan tinggi (*Low risk*) atau kemungkinan terjadinya *failure* semakin kecil.

III. Metodologi Penelitian

Pada bab ini akan dijabarkan mengenai tahap-tahap yang dilakukan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini mulai dari pemodelan proses pada *Heat Exchanger HT-3120*, instrumen pendukung, *controller* dan sistem proteksi hingga simulasi dari model yang telah didapatkan tersebut dengan menggunakan *software matlab-simulink* untuk kemudian dilakukan analisa.



Gambar 3.1 Bagan metodologi penelitian

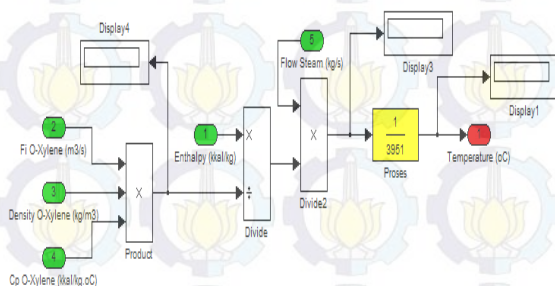
Perancangan Simulasi

Perancangan simulasi ini didasarkan pada model matematis yang dijabarkan dalam program simulink Matlab.

- **Pemodelan Proses Heat Exchanger HT-3120**

Berdasarkan hukum kesetimbangan energi dan hukum kesetimbangan massa yang digunakan pada *heat exchanger*, diperoleh fungsi transfer seperti yang diperoleh pada persamaan 2.9 adalah sebagai berikut:

$$T(s) = \frac{T_i(s)}{(\tau s + 1)} + \frac{1}{(\tau s + 1)} \frac{1}{F_i \rho c_p} Q(s)$$



Gambar 3.2 Model Simulink Heat Exchanger

Dimana:

T_i = temperatur awal O-Xylene = 30°C

F_i = flow input O-Xylene = 0,00292 m³/s

ρ = massa jenis O-Xylene = 866,1 kg/ m³

C_p = kalor spesifik O-Xylene = 0.6 kkal/kg. °C

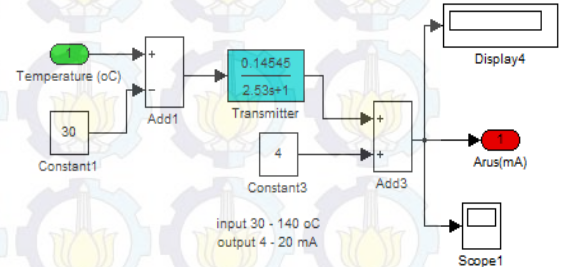
h = enthalpy steam = 152,4047 kkal/kg

- **Pemodelan Sensor**

Sensor temperatur yang digunakan berupa *Thermocouple* merupakan *probe* atau *sensor* yang digunakan untuk mengukur suhu.

Sehingga fungsi transfer dari *temperature transmitter* adalah sebagai berikut

$$\frac{T(s)}{I(s)} = \frac{0,14545 \text{ mA}/^\circ\text{C}}{2,53 \text{ s} + 1}$$



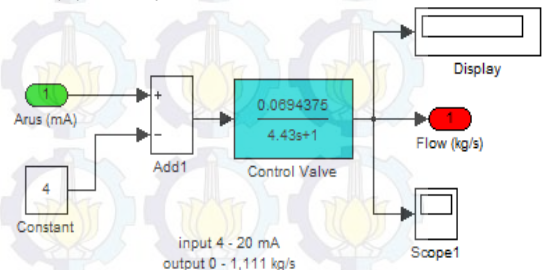
Gambar 3.3 Pemodelan Simulink temperatur transmitter

- **Pemodelan Control Valve**

TV-1162 ini merupakan *temperature control valve* yang dialiri oleh *steam*. *Control valve* ini berfungsi mengatur banyak sedikitnya *supply steam* yang masuk ke dalam *heat exchanger* dengan aliran maksimal 1,111 kg/s.

Sehingga didapatkan fungsi alih dari *control valve* adalah sebagai berikut:

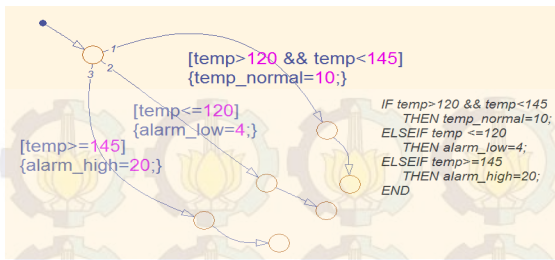
$$\frac{M(s)}{I(s)} = \frac{K_V}{\tau_V s + 1} = \frac{0,06945}{4,43 \text{ s} + 1}$$



Gambar 3.4 Pemodelan Simulink control valve

- **Pemodelan Logic Solver Temperatur**

Sistem proteksi temperatur ini memanfaatkan bacaan dari sensor *thermocouple*. Temperatur *O-Xylene* dalam HT-3120 dikatakan normal jika besaran yang terukur dalam range 120°C > dan <145°C. Sedangkan temperatur yang terbaca ≤ 120°C maka sistem akan otomatis menyalakan *alarm low* memberi tanda pada operator bahwa terjadi *temperature low*. Namun jika temperatur yang terbaca ≥ 145°C, maka sistem akan otomatis menyalakan *alarm high* memberi tanda pada operator bahwa terjadi *temperature high*.

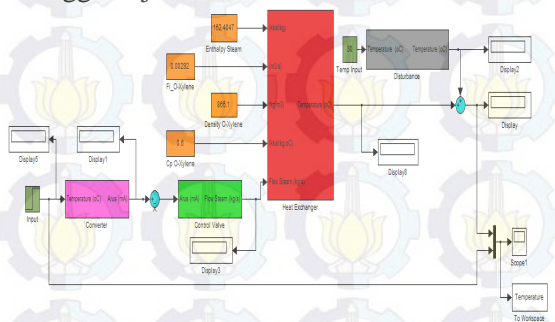


Gambar 3.5 Pemodelan Stateflow Proteksi Temperatur

IV. ANALISA SISTEM PENGENDALIAN TEMPERATUR PADA HEAT EXCHANGER

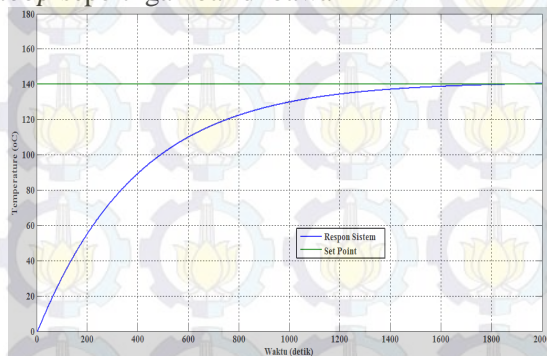
4.1 Pengujian Open Loop

Pengujian *open loop* ini ditujukan untuk mengetahui kinerja dari blok proses yang telah dibuat. Pada simulasi *open loop* ini kita menggunakan masukkan *signal uji step* sebesar 140°C dimana dikonversikan menjadi 20 mA, dalam artian *control valve* membuka penuh sehingga terjadi aliran *steam* maksimal.



Gambar 4.1 Pemodelan *Open Loop* HT-3120

Dan dari hasil simulasi *open loop* yang telah dirancang maka didapatkan grafik respon sistem pengendalian temperatur secara *open loop* seperti gambar di bawah ini :



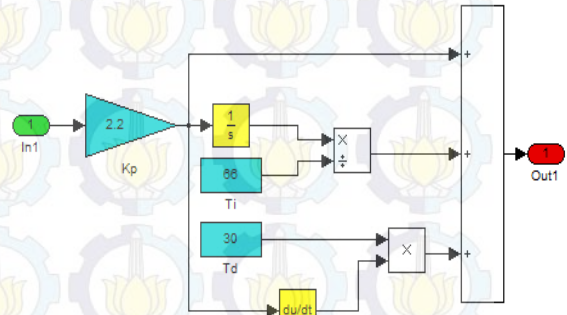
Gambar 4.2 Respon *Open Loop* HT-3120

Dari grafik diatas nampak bahwa dengan laju aliran maksimal *steam* sebesar 1,111 kg/s dengan tanpa kontroller sistem sudah mampu mencapai temperatur sebesar 140°C meskipun demikian nantinya diperlukan suatu sistem *control* yang dapat menjaga

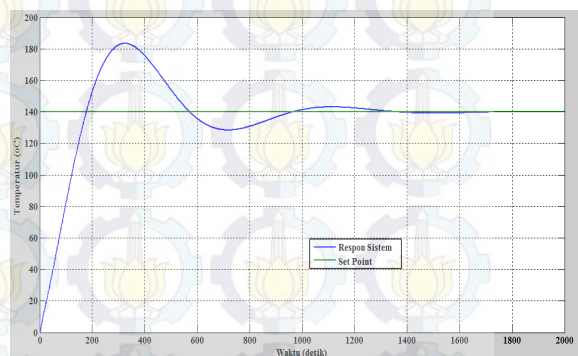
sistem agar stabil sesuai dengan *set point* jika sewaktu-waktu terjadi gangguan dalam sistem.

4.2 Pengujian sistem pengendalian parameter PID pabrik

Untuk mendapatkan kinerja sistem *control* yang memiliki performansi yang handal dan kualitas pengendalian yang optimal, maka parameter dalam *controller* juga harus memiliki nilai yang optimal. *Tuning PID* dilakukan untuk mendapatkan parameter PID Controller yang terbaik yaitu K_p , T_i , dan T_d .



Gambar 4.3 Model *Tuning Controller* PID di Pabrik

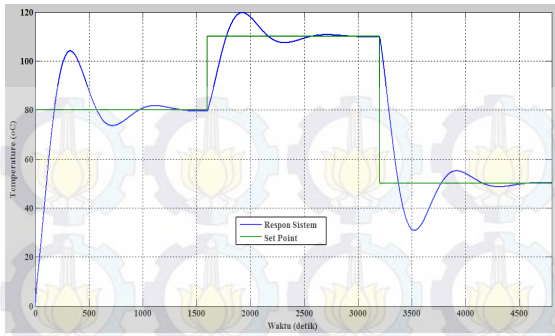


Gambar 4.4 Respon Sistem Parameter *Tuning* Pabrik

Dalam grafik respon diketahui bahwa untuk mencapai *setpoint* pada temperatur 140°C, diperoleh *time settling* 1165 s dengan memiliki nilai *maximum overshoot* (M_p) sebesar 31,01 % dan memiliki *error steady state* sebesar 0,1%.

4.3 Pengujian Dengan *Tracking Set Point*

Pada bagian ini akan dilakukan pengujian, dengan cara menaikkan dan menurunkan *setpoint* dalam hal ini yaitu temperatur sebesar harga yang sudah ditentukan. Tujuan dari dilakukannya pengujian ini adalah untuk mengetahui respon *control* ketika set point dinaikkan/diturunkan apakah *controller* masih mampu mengejar setpoint sesuai dengan yang diinginkan. Responnya dapat dilihat pada gambar berikut :

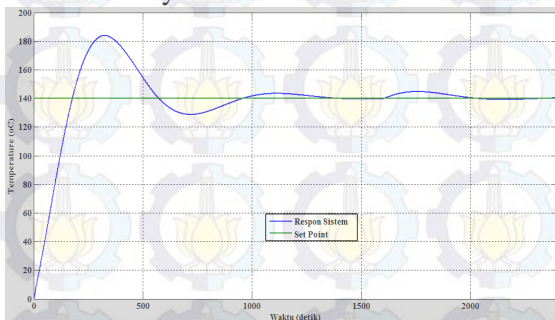


Gambar 4.5 Respon Uji Sistem Dengan Tracking Set Point

Untuk kontrol temperatur, pada saat *setpoint* pertama saya memberi nilai 80 °C terlihat bahwa sistem kontrol PID masih handal dalam mengejar *setpoint* dengan *time settling* 1158 s, *maximum overshoot* (Mp) sebesar 30,125% dan memiliki nilai *error steady state* 0,425%. Pada detik ke 1600, *setpoint* saya naikan 30 °C sehingga menjadi 110 °C terlihat bahwa sistem kontrol PID masih handal dalam mengejar *setpoint* dengan *time settling* 786 s, memiliki nilai *error steady state* sebesar 0,091%, dan memiliki nilai *maximum overshoot* (Mp) yakni sekitar 8,82%. Dan pada detik ke 3200, *setpoint* saya turunkan 60 °C sehingga menjadi 50 °C terlihat bahwa sistem kontrol PID juga masih handal dalam mengejar *setpoint* dengan *time settling* 1033 s dan memiliki nilai *error steady state* 0,54.

4.4 Pengujian Load/Beban

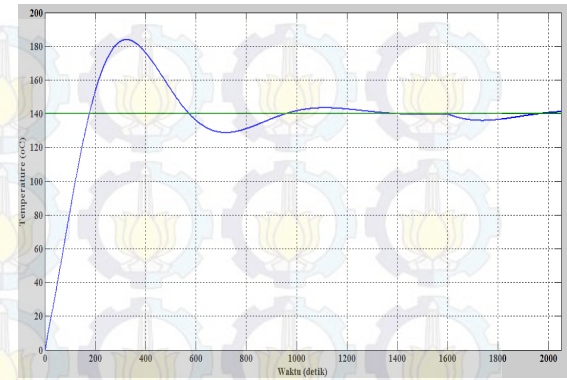
Pengujian *load*/beban ini dilakukan dengan memberikan gangguan secara *internal*, yaitu dengan memberikan perubahan laju aliran *steam* dengan menaikkan / menurunkannya.



Gambar 4.6 Respon Uji Sistem Dengan Penambahan Laju Aliran Steam

Pada respon grafik diatas, pengujian dilakukan dengan penambahan sebesar 25% dari laju aliran maksimal *steam* yakni sebesar 0,275 kg/s pada detik ke-1600. Sistem kembali ke keadaan *steady state* setelah 426 detik

sejak gangguan diberikan terlihat pada gambar 4.6 di atas.



Gambar 4.7 Respon Uji Sistem Dengan Pengurangan Laju Aliran Steam

Pada respon grafik diatas, pengujian dilakukan dengan pengurangan sebesar 25% dari laju aliran maksimal *steam* yakni sebesar 0,275 kg/s pada detik ke-1600. Sistem kembali ke keadaan *steady state* setelah 400 detik sejak gangguan diberikan terlihat pada gambar 4.7 di atas.

4.5 Distribusi data Instrumen

Pada subbab ini akan dijelaskan hasil olah *software* untuk mengetahui distribusi data kegagalan tiap instrumen pada *heat exchanger* HT-3120.

TE-1162

Tabel 4.1 Data Time To Failure TE-1162

Tag Name	Failure Date	Plan Start Date	TTF (hours)
TE-1162	22/01/2004	21/08/2001	21216
	14/02/2004		552
	21/02/2005		8952
	23/10/2007		23376
	01/01/2010		19224
	23/09/2010		6360
MTTF			13280

Dari data *Time To Failure* (TTF) pada tabel 4.1 tersebut, didapatkan distribusi *eksponential* dengan 1 parameter yakni $\lambda = 0,000075638$. Hal ini dibuktikan dengan menghitung nilai dari MTTF dengan menggunakan persamaan seperti berikut:

$$\begin{aligned}
 MTTF &= \gamma + \frac{1}{\lambda} \\
 &= \frac{1}{0,000075638} \\
 &= 13220,867817
 \end{aligned}$$

TV-1162

Tabel 4.2 Data *Time To Failure* TV-1162

Tag Name	Failure Date	Plan Start Date	TTF (hours)
TV-1162	20/01/2004	21/08/2001	21168
	22/01/2004		48
	14/02/2004		552
	23/10/2007		32328
	04/09/2008		7608
	01/01/2010		11616
	23/09/2010		6360
MTTF			11382,85

Dari data TTF pada tabel 4.2 tersebut, didapatkan distribusi weibull dengan 2 parameter yakni $\beta = 0,48297723$ dan $\eta = 10718,3595$. Hal ini dibuktikan dengan menghitung nilai dari MTTF dengan menggunakan persamaan seperti berikut:

$$\begin{aligned}
 MTTF &= \gamma + \eta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \\
 &= 10718,3595 \Gamma \left(1 + \frac{1}{0,48297723} \right) \\
 &= 10718,3595 \Gamma (2,0704) \\
 &= 10718,3595 \cdot 1,03164 \\
 &= 11057,48839458
 \end{aligned}$$

TIC-1162

Tabel 4.3 Data *Time To Failure* TIC-1162

Tag Name	Failure Date	Plan Start Date	TTF (hours)
TIC-1162	22/01/2004	21/08/2001	21216
	14/02/2004		552
	23/10/2007		32328
	01/01/2010		19224
	23/09/2010		6360
MTTF			15936

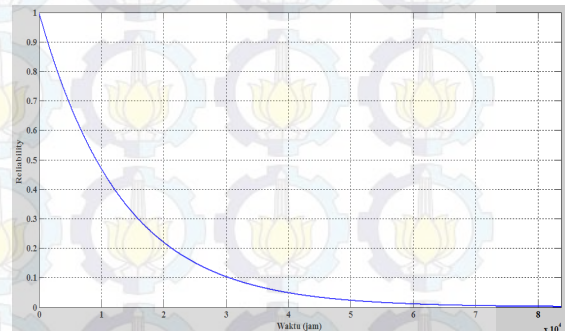
Dari data TTF pada tabel 4.3 tersebut, didapatkan distribusi eksponensial dengan 1 parameter yakni $\lambda = 0,000057894$. Hal ini dibuktikan dengan menghitung nilai dari MTTF dengan menggunakan persamaan seperti berikut:

$$\begin{aligned}
 MTTF &= \gamma + \frac{1}{\lambda} \\
 &= \frac{1}{0,000057894} \\
 &= 17272,947
 \end{aligned}$$

4.6 Hasil Perhitungan *Reliability* Instrumen

Heat Exchanger HT-3120 ini telah beroperasi sejak 21 Agustus 2001 sedangkan waktu pengambilan data pada tanggal 9 Maret 2011, maka apabila dihitung masa operasinya sampai dengan waktu pengambilan data dilakukan adalah sekitar 3488 hari operasi atau 83.712 jam operasi. Nilai tersebut kemudian digunakan sebagai input pada fungsi *reliability* $R(t)$ untuk setiap instrumen HT-3120 sehingga didapatkan nilai *reliability* instrumen pada saat sekarang.

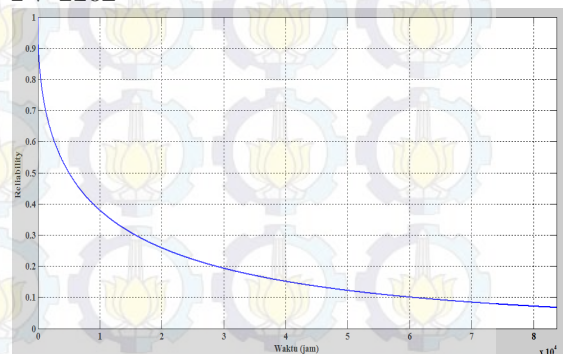
TE-1162



Gambar 4.8 Grafik *reliability* fungsi waktu untuk TE-1162.

Dengan memasukkan nilai t kedalam fungsi *reliability* $R(t)$, nampak pada grafik di atas komponen sensor thermocouple TE-1162 memiliki nilai keandalan awal sebesar 1, dimana seiring berjalannya waktu dan penggunaannya nilai keandalan tersebut akan terus menurun nampak pada saat $t = 83.712$ nilai keandalan komponen instrumen TE-1162 mendekati nilai 0,018.

TV-1162

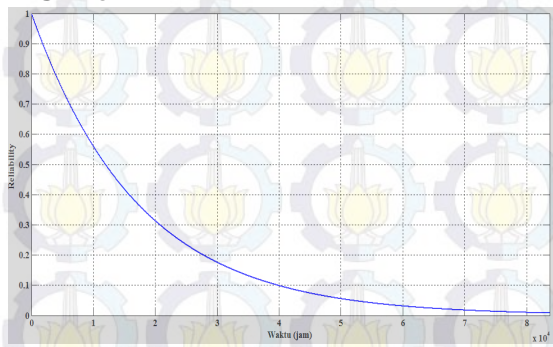


Gambar 4.9 Grafik *reliability* fungsi waktu untuk TV-1162

Dengan memasukkan nilai t kedalam fungsi *reliability* $R(t)$, nampak pada grafik di atas komponen sensor thermocouple TV-1162 memiliki nilai keandalan awal sebesar 1, dimana seiring berjalannya waktu dan penggunaannya nilai keandalan tersebut akan terus menurun nampak pada saat $t = 83.712$ nilai

keandalan komponen instrumen TV-1162 sebesar 0,0673.

TIC-1162



Gambar 4.10 Grafik *reliability* fungsi waktu untuk TIC-1162

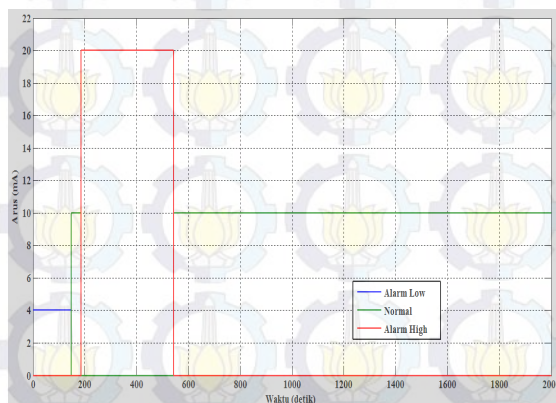
Dengan memasukkan nilai t kedalam fungsi *reliability* R(t), nampak pada grafik di atas komponen sensor thermocouple TIC-1162 memiliki nilai keandalan awal sebesar 0,87797, dimana seiring berjalannya waktu dan penggunaannya nilai keandalan tersebut akan terus menurun nampak pada saat t=83712 nilai keandalan komponen instrumen TIC-1162 mendekati 0.

4.7 Pengujian Sistem Proteksi Logic Solver (State Flow)

Setelah proses pengendalian berjalan sesuai dengan kondisi *plant* yang diinginkan, maka perlu dirancang sebuah sistem *proteksi* yang bekerja saat terjadi kondisi yang tidak diinginkan. Dalam kaitannya dengan kondisi yang tidak diinginkan di HT-3120 adalah kondisi *high temperature and low temperature*.

Tabel 4.4 Respon Sistem Proteksi untuk HT-3120

No.	Temperature	Kondisi
1	≤120°C	4 mA (alarm low)
2	120°C > Temp. <145°C	10 mA (normal)
3	≥ 145°C	20 mA (alarm high)



Gambar 4.11 Gambar respon sistem proteksi dalam proses

Berdasarkan pada gambar 4.11 terlihat bahwa pada saat proses pengendalian alarm *low* bernilai 4 mA pada detik ke-0 sampai dengan detik ke-148, alarm *high* bernilai 20 mA pada detik ke-187 sampai detik ke-543 sedangkan sistem berjalan normal pada detik ke-149 sampai detik ke-186 dan pada detik ke-544 keatas. Hal ini menunjukkan bahwa sistem proteksi sudah bekerja dengan baik dalam menjaga kondisi suatu pengendalian proses.

4.8 Penentuan Nilai Safety Integrity Level (SIL)

Nilai *Safety Integrity Level* (SIL) yang akan dihitung pada sub-bab ini adalah nilai SIL dari sistem proteksi yang ada pada *heat exchanger* HT-3120, meliputi komponen utama *transmitter*, *logic solver* dan *final element* untuk menyokong sistem keamanan berdasarkan *failure rate* /laju kegagalan (λ) masing-masing komponen dan penentuan *Probability Failure on Demand* (PFD).

Misalnya untuk perhitungan *Probability Failure on Demand* (PFD) untuk komponen sensor thermocouple TE-1162, *control valve* TV-1162 dan *Temperature Indicator Controller* (TIC) pada saat waktu operasi (T_i) selama 8760 jam atau 1 tahun.

$$PFD_{TE-1162} = \frac{\lambda(t) \cdot T_i}{2} = \frac{0,000075638 \cdot 8760}{2}$$

$$= 0,34108$$

$$PFD_{TV-1162} = \frac{\lambda(t) \cdot T_i}{2} = \frac{0,00005 \cdot 8760}{2}$$

$$= 0,21907$$

$$PFD_{TIC-1162} = \frac{\lambda(t) \cdot T_i}{2} = \frac{0,000057894 \cdot 8760}{2}$$

$$= 0,25358$$

$$PFD_{Total} = PFD_{TE-1162} + PFD_{TV-1162} + PFD_{TIC-1162}$$

$$= 0,34108 + 0,21907 + 0,25358 = 0,81373$$

Berikut ini hasil perhitungan *Probability Failure on Demand* (PFD), *Failure Rate* (λ) selama 83712 jam (mulai HT-3120 beroperasi tanggal 21 Agustus 2001 sampai terakhir pengambilan data tanggal 10 Maret 2011):

$$PFD_{TE-1162} = \frac{\lambda(t) \cdot T_i}{2} = \frac{0,000075638 \cdot 83712}{2}$$

$$= 3,25941$$

$$PFD_{TV-1162} = \frac{\lambda(t) \cdot T_i}{2} = \frac{0,0000156 \cdot 83712}{2}$$

$$= 0,65167$$

$$PFD_{TIC-1162} = \frac{\lambda(t) \cdot T_i}{2} = \frac{0,000057894 \cdot 83712}{2}$$

$$= 2,42321$$

$$PFD_{Total} = PFD_{TE-1162} + PFD_{TV-1162} + PFD_{TIC-1162}$$

$$= 3,25941 + 0,65167 + 2,42321$$

$$= 6,33429$$

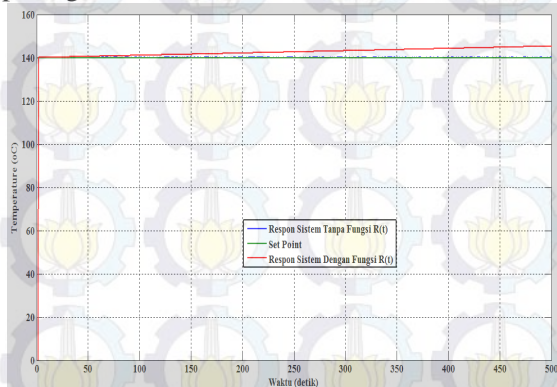
Perhitungan PFD total dari sistem pada saat $T_i=8760$ jam atau 1 tahun adalah 0,81373 sedangkan pada saat $T_i=83712$ jam adalah 6,33429 sehingga menurut standard IEC

61508, sistem yang saat ini tersedia di *heat exchanger* HT-3120 dikategorikan sebagai sistem yang mempunyai SIL 1.

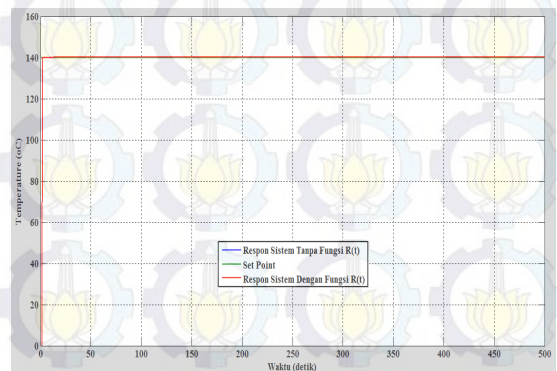
4.9 Pengujian Pengaruh Fungsi *Reliability*

Dalam hal ini akan dicari hubungan fungsi *reliability* dari setiap komponen instrumen terhadap respon sistem kontrol. Dimana fungsi *reliability* berbeda-beda dalam hal persamaannya tergantung pada laju kegagalan tiap komponen instrumen.

. Respon penanaman fungsi *reliability* terhadap sistem pengendalian dapat dilihat pada grafik di bawah ini :



Gambar 4.12 Respon sistem pengendalian dengan kondisi SIL 1.



Gambar 4.13 Respon sistem pengendalian dengan kondisi SIL 2.

Pada gambar 4.12 nampak terlihat jelas bahwa sistem pengendalian sulit untuk mencapai *set point*. Hal ini dikarenakan dengan seiring bertambahnya waktu maka tingkat keandalan dalam setiap komponen akan semakin menurun. Dan dengan meningkatnya nilai *failure rate* (λ) yang semakin besar, menyebabkan pula keandalan yang semakin menurun dari masing-masing instrumen. Sedangkan pada gambar 4.13 terlihat respon sistem pengendalian dengan memparalel komponen pada *transmitter* dan *control valve*, nampak sistem lebih baik dalam menjaga proses agar selalu dapat mencapai *set point*. Dengan program *maintenance* yang berkala

juga akan meningkatkan nilai *reliability* dan mengurangi laju kegagalan serta akan meningkatkan nilai dari SIL itu sendiri.

V. PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Dari serangkaian metodologi, pengujian, analisa serta pembahasan yang telah dilakukan didapatkan beberapa kesimpulan diantaranya :

- Berdasarkan simulasi hasil riil plan didapatkan :
 $K_p = 2.2$ $T_i = 66 \text{ s}$ $T_d = 30 \text{ s}$
 $t_s = 1165 \text{ s}$, $M_p = 31,01 \%$, $Ess = 0,1 \%$.
- Berdasarkan data kegagalan tiap komponen diperoleh jenis distribusi kegagalannya untuk TE-1162 termasuk distribusi *eksponensial* dengan 1 parameter, TV-1162 termasuk distribusi *weibull* dengan 2 parameter, dan TIC-1162 termasuk distribusi *eksponensial* dengan 2 parameter.
- Perhitungan PFD total dari sistem pada saat $T_i = 8760$ jam atau 1 tahun yakni 0,81373 sedangkan pada saat $T_i = 83712$ jam yakni 6,33429, sistem yang saat ini tersedia di *heat exchanger* HT-3120 dikategorikan sebagai sistem yang mempunyai SIL 1.
- Fungsi *reliability* yang semakin menurun menyebabkan sistem control tidak mampu mengejar *set point* yang telah diberikan. Dengan meredundant komponen instrumen akan meningkatkan nilai *reliability* dan menyebabkan sistem control mampu mengejar *set point* seiring berjalannya waktu.

5.2. Saran

Saran yang dapat diberikan setelah kerja praktek dilaksanakan adalah untuk memperkecil nilai *failure rate* perlu dilakukan *preventive maintenance* secara berkala sedangkan untuk meningkatkan keandalan terdapat 2 cara yakni *preventive maintenance* dan *meredundant* pada komponen-komponen HT-3120.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Gunterus, Frans. 1994. *Falsafah Dasar Sistem Pengendalian Proses*. Jakarta : PT Elex Media Komputindo.
- [2]. Ogata, Katsuhiko. 1995. *Teknik Kontrol Automatik* . Jakarta; Erlangga.
- [3]. Stephanopoulos, George. 1984, *Chemical Process Control An*

Introduction To Theory And Practice,
Prentice Hall International, London.

- [4]. <http://che.ft-untirta.ac.id/download-center/category/1-operasi-teknik-kimia?download=7%3Aapenukar-panas>
- [5]. Shaw, John A. 2001 *Process Control Solutions*
- [6]. Ebeling, Charles E. 1997. *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*, The McGraw-Hill Companies, Singapore.

- [7]. Candrawati, Galih.2009, “Studi Performansi Sistem Pengendalian Dan Safety Pada Unit *Thermal Ventilation Thema Dry Tunnel* TH 009 PT. Ecco Tannery Indonesia”. Tugas Akhir, jurusan Teknik Fisika – ITS.
- [8]. Bagus, Andhika P.2010, “Study *Reliability, Safety and Quality* Pada Instrumen *Waste Heat Boiler* di Petrokimia”. Tugas Akhir, jurusan Teknik Fisika – ITS.