

**PERANCANGAN *ACTIVE FAULT TOLERANT CONTROL*
PADA PENAMPUNG STEAM KONDENSAT DI PT
BADAK BONTANG NGL KALIMANTAN TIMUR
DENGAN KESALAHAN PADA SENSOR**

Nama Mahasiswa : Rhadityo Shakti Budiman
NRP : 2410 100 038
Jurusan : Teknik Fisika
Dosen Pembimbing : Dr. Bambang Lelono W, S.T, M.T

Abstrak

Active fault tolerant control adalah suatu algoritma kontrol yang bekerja ketika ada suatu kesalahan yang terjadi pada komponen sistem. Pada Tugas Akhir ini adalah berkaitan dengan kesalahan pada sensor level transmitter di penampung steam kondensat PT Badak Bontang NGL. Langkah awal yang dilakukan adalah pembuatan simulasi dengan MATLAB dari data proses yang sama seperti yang ada di real plant. Metode rekonfigurasi sinyal kontrol yang digunakan untuk merancang *active fault tolerant control* adalah dengan pemberian sinyal referensi tambahan. Sinyal referensi tambahan tidak lain merupakan besarnya kesalahan sensor yang diestimasi dengan menggunakan observer. Observer dibangun dengan menggunakan algoritma pole placement. Kesalahan yang diberikan berupa kesalahan bias dan sensitivitas yang merupakan karakteristik statik dari sensor. Hasil simulasi yang didapatkan menunjukkan bahwa *active fault tolerant control* yang dibangun dapat mengakomodasi kesalahan sensor dengan lebih baik dibandingkan sistem kontrol PID konvensional.

Kata kunci: aktif fault tolerant control, pole placement, penampung steam kondensat

**DESIGN ACTIVE FAULT TOLERANT CONTROL IN
STEAM CONDENSAT TANK AT PT BADAK BONTANG
NGL KALIMANTAN TIMUR WITH FAULT AT THE
SENSOR**

Name : Rhadityo Shakti Budiman
Student Number : 2410 100 038
Department : Engineering Physics
Supervisor : Dr. Bambang Lelono W, S.T, M.T

Abstract

Active fault tolerant control is a control algorithm that works when there is an error that occurs in a system. In this final project is related to errors in the level sensor transmitter in the steam condensate tank at PT Badak NGL Bontang. The first step in this final project is build simulation in MATLAB with the same data process as in the real plant. Control signal reconfiguration method is part of the active fault tolerant control for estimate the fault with additional references signal. Additional references no other signal is the residual of the sensor errors are estimated using the observer. Observer constructed by using pole placement algorithm. Errors are given like bias error and sensitivity error which is characteristic static of sensors. The simulation results obtained show that the active fault tolerant control is built to accommodate the sensor faults better than the conventional PID control system.

Keywords : Active Fault Tolerant Control, Pole Placement, Steam Condensate Tank

DAFTAR GAMBAR

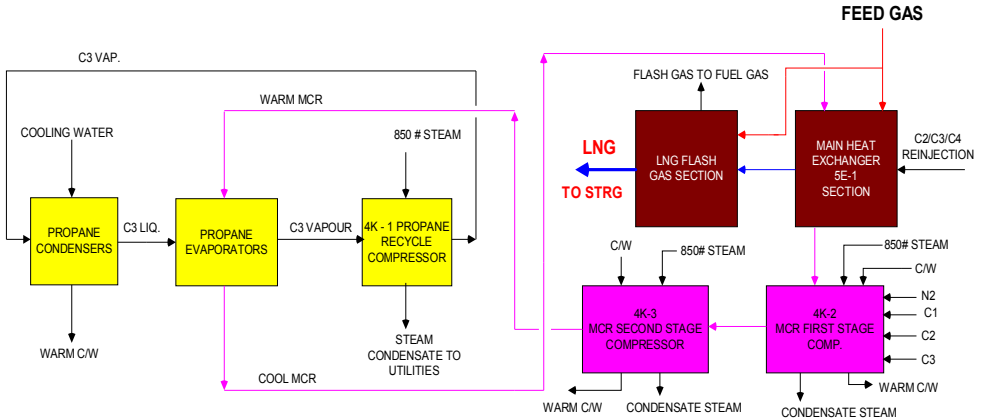
Gambar 2.1	<i>MCR Refrigerant System di PT Badak Bontang NGL</i>	5
Gambar 2.2	Surface Condensor di PT Badak Bontang NGL	7
Gambar 2.3	Diagram Blok Proses pada Surface Condensor	8
Gambar 2.4	Straight Tube Heat Exchanger	9
Gambar 2.5	Diagram Blok PID Kontroler	10
Gambar 2.6	<i>Split Range Control pada DCS</i>	11
Gambar 2.7	<i>Displacer dan Bagiannya</i>	12
Gambar 2.8	Displacer pada Surface Condensor	12
Gambar 2.9	General Active Fault Tolerant Control	13
Gambar 2.10	<i>Strategi Fault Tolerant Control</i>	14
Gambar 2.11	<i>Diagram Blok Fault Tolerant Control</i>	16
Gambar 2.12	Diagram Blok Estimasi	16
Gambar 2.13	Real System Proses dengan Observer	18
Gambar 3.1	<i>Flowchart Penelitian</i>	19
Gambar 3.2	<i>Diagram Blok Proses pada Surface Condensor</i>	23
Gambar 3.3	Grafik Open Loop	24
Gambar 3.4	<i>Respon Osilasi</i>	25
Gambar 3.5	Grafik Closed Loop	26
Gambar 3.6	Full Order State Observer	28
Gambar 3.7	<i>Skema FTC</i>	30
Gambar 4.1	Respon Open Loop	34
Gambar 4.2	Respon Closed Loop	35
Gambar 4.3	Hasil Observer dibandingkan Respon Closed Loop	36
Gambar 4.4	Respon PID tanpa Algoritma FTC dengan Kesalahan Bias 10%	37
Gambar 4.5	Respon PID dengan Algoritma FTC dengan Kesalahan Bias 10%	38
Gambar 4.6	Respon PID tanpa Algoritma FTC dengan Kesalahan Sensitivitas 50%	39

Gambar 4.7	Respon PID dengan Algoritma FTC dengan Kesalahan Sensitivitas 50%	40
Gambar 4.8	Respon Uji Noise maksimal 10^{-2}	42
Gambar 4.9	Respon PID dengan Perubahan Set Point Kesalahan Bias 10%	43
Gambar 4.10	Respon PID dengan Perubahan Set Point Kesalahan Sensitivitas 10%	44

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 MCR (Multi Component Refrigerant) System



Gambar 2. 1 MCR Refrigerant System di PT Badak Bontang NGL [1]

Multi Component Refrigerant berfungsi untuk mendinginkan dan mencairkan gas alam sehingga menjadi LNG di *Main Heat Exchanger*. Komponen dari MCR terdiri dari *nitrogen*, *methane*, *ethane* dan *propane*. Untuk komponen *nitrogen* didapat dari system distribusi *nitrogen* yang dipasok dari seksi utilitas. Sedang *methane* diambil dari gas keluaran sistem *srub coulumn condensate drum*. Untuk komponen *ethane* dan *propane* didapat dari produksi *deethanizer* dan *depropanizer*.

Sistem pendingin MCR ini menggunakan 2 buah kompresor dimana *discharge* dari kompresor pertama sebagai *suction* dari kompresor kedua. *Discharge* dari kompresor tingkat kedua bertekanan sekitar 47,5 kg/cm² yang kemudian didinginkan di *exchanger* dengan media pendingin air laut dan terkondensasi

ketika melewati *high level propane evaporator*, *medium level propane evaporator* dan *low level propane evaporator*.

Dari *evaporator* tersebut *MCR* dialirkan ke *MCR high separator* dimana *liquid* dan *vapour* dari *MCR* tersebut akan terpisah. Komposisi *liquid* dan *vapour* yang keluar dari separator ini berbeda. Phase *liquid*nya terdiri dari *ethane* dan *propane* sedang phase *vapour*nya terdiri dari komponent *nitrogen* dan *methane*. Phase *MCR* cair dan uap tersebut kemudian dialirkan ke *main heat exchanger* untuk mendinginkan *sweet gas* sehingga menjadi *LNG* di unit *Liquefaction Section*. [1]

2.2 Surface Condensor

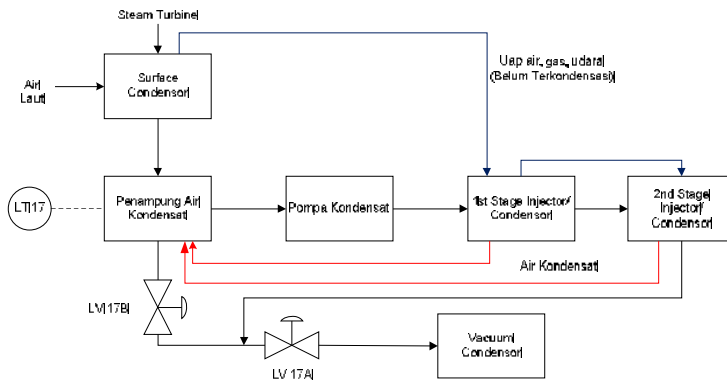
Surface condenser termasuk sebuah alat *heat exchanger* (penukar panas) yang bertugas untuk mengkondensasikan *steam* dengan bantuan air laut. *Heat exchanger* yang digunakan adalah tipe *shell and tube heat exchanger* dimana *steam* mengalir di sisi *shell* dan air laut mengalir di sisi *tube*. *Steam* berkontak secara tidak langsung dengan air laut sehingga panas yang ada di dalam *steam* diserap oleh air laut dan *steam* berubah menjadi kondensat.

Tekanan operasi yang ada di *surface condenser* adalah tekanan vakum. Hal ini dilakukan untuk menghasilkan kerja turbin semaksimal mungkin karena dengan *pressure drop* yang semakin besar maka perubahan entalpi yang dihasilkan semakin besar juga sehingga kerja turbin yang dihasilkan juga maksimal. [2]



Gambar 2. 2 *Surface Condensor di PT Badak Bontang*

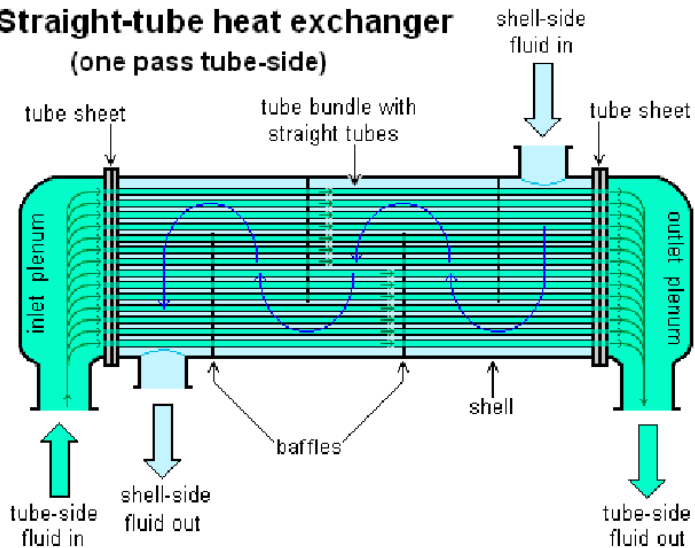
Pada proses *refrigerant* di *surface condensor*, input yang masuk berupa *steam* dari turbin kompresor dan air laut sebagai pendingin. Setelah terjadi proses pendinginan oleh air laut, hasil kondensasi ditampung pada penampung air kondensat. Sedangkan *steam* yang belum terkondensasi berupa uap air, gas dihisap oleh *1st injector* yang kemudian dikondensasikan. Hasil air kondensat dari *1st injector* dikembalikan ke penampung kondensat. Sedangkan sisa uap air pada *1st injector/condensor* dihisap oleh *2nd stage injector* dengan tekanan yang lebih tinggi. Hasil kondensat dari *2nd stage injector* dikembalikan ke penampung air kondensat. Air kondensat dari *2nd stage injector* dialirkan menuju ke *vacuum condensor* dengan bukaan *level control valve* 17A.



Gambar 2. 3 Diagram Blok Proses pada Surface Condensor

Heat exchanger adalah suatu alat penukar panas antara dua fluida yang berbeda temperatur satu sama lain dimana satu fluida memberikan panasnya kepada fluida yang lain sedangkan fluida dingin sebagai penerima panas. *Shell and tube heat exchanger* merupakan tipe yang paling umum dijumpai dikarenakan harga relatif murah, mudah pembersihannya, tersedia dalam beberapa ukuran, dapat didesain pada tekanan biasa maupun tekanan tinggi.

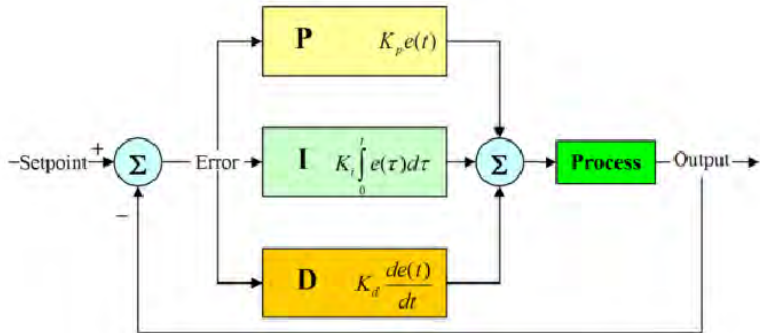
Straight-tube heat exchanger (one pass tube-side)



Gambar 2. 4 *Straight Tube Heat Exchanger [3]*

2.3 Sistem Kontrol pada *Surface Condensor*

Sistem kontrol pada *surface condensor* ini menggunakan *PID* kontroler sebagai pengendalinya. *PID* (*Proportional Integral Derivative*) kontroler merupakan kontroler untuk menentukan suatu kestabilan atau kepresisian sistem instrumentasi dengan adanya *feedback* atau umpan balik pada sistem tersebut. Komponen *PID* terdiri dari 3 jenis yaitu, *proportional*, *integral* dan *derivatif*, ketiga komponen tersebut bisa digunakan secara bersamaan ataupun dengan sendiri-sendiri, tergantung respon yang kita inginkan dari suatu *plant* tersebut.



Gambar 2. 5 Diagram Blok PID Controller [4]

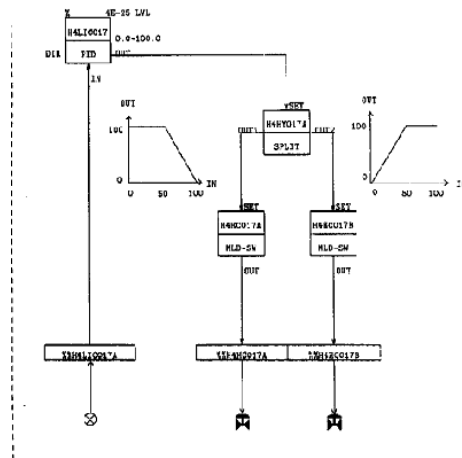
Kontroler *proportional* digunakan sebagai penguat sehingga mencapai *set point* atau hasil yang diinginkan. *Output proportional* adalah hasil perkalian antara konstanta *proportional* dengan nilai eror yang dihasilkan. Namun penggunaan kontrol *proportional* menghasilkan efek yaitu *maximum overshoot* yang cukup besar karena itu adanya kontroler *integral* untuk mengurangi adanya *maximum overshoot* namun *settling time* untuk mencapai nilai kestabilan dari suatu sistem lebih lama dibandingkan dengan *proportional*.

Beberapa parameter dalam kontroler yang juga harus diketahui dalam suatu *sistem closed loop* yaitu *rise time*, *overshoot*, *settling time* dan *error steady state*. *Rise time* adalah waktu yang dibutuhkan dari *output plant* melebihi 90% dari tingkat saat suatu sistem dijalankan. *Overshoot* adalah *peak level* lebih tinggi dari keadaan *steady state*. *Settling time* adalah waktu yang dibutuhkan sistem untuk sistem menjadi stabil. [5]

2.3.1 Split Range Control

Pada pengontrolan dengan sistem ini hanya ada satu sinyal kontrol dan satu sinyal pengukuran. Sinyal kontrol kemudian dipecah untuk menggerakkan bagian yang berbeda tetapi memiliki

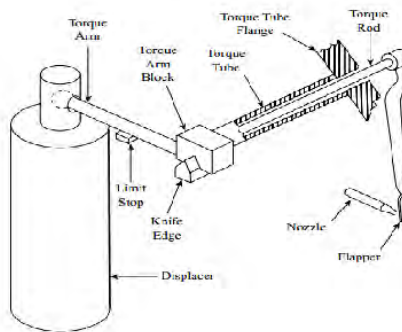
efek sama terhadap variabel yang dikontrol. Jadi pada *split range control* menggunakan dua buah *final control element* yang dioperasikan oleh sebuah kontroler. Dimana setting kalibrasi dari dua buah control valve diset pada harga yang berlainan. [6]



Gambar 2. 6 Split Range Control pada DCS [7]

2.4 Displacer Level Transmitter

Displacer level transmitter merupakan suatu alat ukur yang berasaskan dari prinsip hukum fisika yaitu Hukum Archimedes yaitu prinsip pengapungan benda diatas air. Secara real dalam pengukuran level pada *chamber* yaitu dengan cara mendeteksi level dengan terus mengukur permukaan batang *displacer* yang terendam dalam fluida. Proses kerja pada *displacer* yaitu seiring dengan peningkatan level yang terjadi, batang displacer mengalami gaya apung yang lebih besar, sehingga akan mengapung dan perubahan yang terjadi dari titik awal hingga terjadi pergerakan pada batang displacer adalah sebagai sinyal ouput yang akan diterima sebagai ketinggian level pada chamber tersebut. Dan juga kebalikannya ketika level pada suatu chamber menurun. [6]



Gambar 2. 7 *Displacer dan Bagiannya [8]*



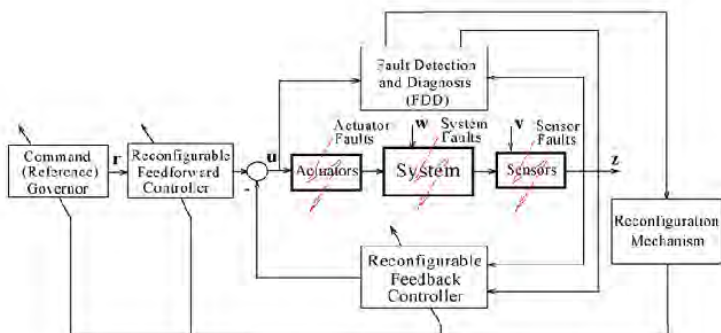
Gambar 2. 8 *Displacer pada Surface Condensor*

Kesalahan atau *fault* yang terjadi pada *displacer* adalah pada bagian *spring balance* atau pegas yang membatasi pergerakan untuk setiap adanya perbedaan level yang terjadi pada plant. Prinsip kerjanya yaitu magnet menarik bola yang melekat pada batang *displacer* secara kontinyu naik turun sebagai respon

pergerakan dari *displacer* yang menunjukkan sebagai indikasi adanya perubahan level yang kemudian dilanjutkan oleh sebuah pemancar yang disebut dengan *LVDT (Linier Variable Differential Transformer)* yang fungsinya adalah mendeteksi perubahan level yang terjadi.

2.5 Fault Tolerant Control

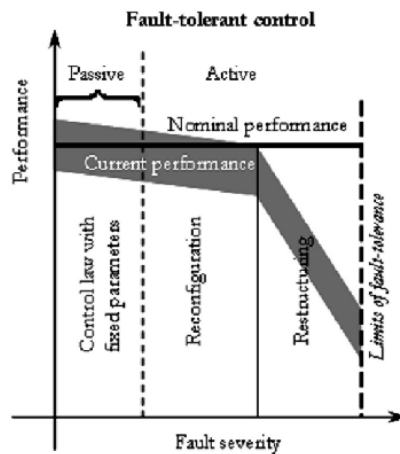
Dalam suatu sistem kontrol, dibutuhkan suatu peningkatan performa dan keamanan yang cukup tinggi. Dengan *design feedback* kontrol dapat mengakibatkan kinerja tidak memuaskan sehingga terkadang terjadi kerusakan pada aktuator, sensor ataupun komponen yang lainnya. Untuk mengatasi kerusakan tersebut, dilakukan design kontrol yang mentolerir kerusakan yang terjadi dengan tetap menjaga stabilitas sistem yang diinginkan. Secara umum *fault tolerant control* adalah suatu sistem kontrol yang mampu mengatasi terjadinya kegagalan secara otomatis dengan menjaga stabilitas sistem dan kinerja yang dapat diterima dalam suatu kegagalan. [9]



Gambar 2. 9 General Active Fault Tolerant Control [9]

Fault tolerant control systems (FTCS) dapat dibagi menjadi dua tipe yaitu *pasif fault tolerant control systems (PFTCS)* dan *active*

fault tolerant control systems (AFTCS). *pasif fault tolerant control system* merupakan suatu kontroler tetap yang dirancang untuk mempertahankan sistem dari kegagalan yang terjadi pada aktuator ataupun sensor yang biasa disebut dengan *robust control system*. Sedangkan *active fault tolerant control systems* bersifat reaksi terhadap suatu kegagalan komponen dengan mengkonfigurasi aksi kontrol sehingga kestabilan dan kinerja pada sistem dapat dijaga. *Active fault tolerant control* terdiri atas 2 sub system yaitu ; *fault detection and identification* dan mekanisme *reconfiguration controller*. Pada *reconfiguration controller* dan *fault detection and identification* pada keseluruhan sistem adalah kelebihan dari *active fault tolerant control* bila dibandingkan dengan *pasif fault tolerant control*. Yang utama dari *active fault tolerant control* adalah merancang kontroler yang mudah direkonfigurasi, kemudian dibuat skema *fault detection and identification* yang sensitif terhadap kegagalan pada sensor ataupun aktuator dan sensitif terhadap gangguan eksternal serta memiliki mekanisme rekonfigurasi kontrol yang mengarah pada kinerja kegagalan sistem.



Gambar 2. 10 Strategi Faul Tolerant Control [10]

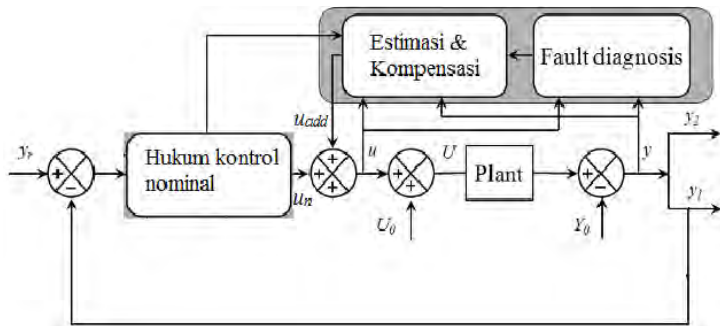
2.5.1 Klasifikasi Fault and Identification (FDI)

Fault Detection and Identification merupakan suatu tahapan dimana dalam *Fault Tolerant Control System* ini mendeteksi *fault* atau kesalahan yang terjadi pada komponen yang berupa aktuator maupun sensor, sehingga pada tahapan ini akan mengirimkan signal informasi yang dilanjutkan untuk dalam rangka toleransi yang diberikan terhadap kesalahan yang terjadi. Dalam *Fault Detection and Identification* ada 3 hal yang perlu dilakukan yaitu; mendeteksi kesalahan pada sistem serta waktu selang selama terjadinya kesalahan, mengisolasi kesalahan lokasi dan tipe terjadinya kesalahan dan yang terakhir adalah mengidentifikasi besarnya kesalahan yang terjadi. Untuk itu juga tahapan FDI juga biasa disebut dengan FDI yaitu *Fault Detection and Identification*. [9]

Pendekatan pada tahapan FDI ini dibagi 2 kategori yaitu model based dan data based kedua skema ini diklasifikasikan dengan pendekatan kuantitatif dan kualitatif. Klasifikasi pendekatan kuantitatif dengan model matematika dari skema *Fault Detection and Identification* biasanya secara *real time*, penggunaannya secara umum dengan 2 teknik yaitu berdasarkan *state estimation* dan *parameter estimation* [11]

2.5.2 Klasifikasi Reconfiguration Control

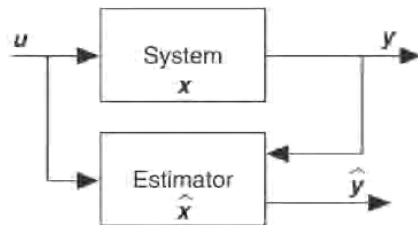
Reconfiguration control adalah suatu aksi yang diberikan oleh kontroler yang bertujuan memperbaiki kesalahan yang terjadi dengan berbagai cara. Pendekatan yang dilakukan dalam *reconfiguration control* salah satunya metodenya yaitu dengan *set point* referensi dan *u add*.



Gambar 2. 11 Diagram Blok Fault Tolerant Control [12]

2.5.3 Estimasi State dengan Observer

Observer adalah suatu algoritma yang bertujuan untuk mengestimasi *state* sistem berdasarkan model sistem yang utamanya.



Gambar 2. 12 Diagram Blok Estimasi [5]

Observer dihitung dari dinamika *error* estimasi yang telah ditentukan. Model matematis dari proses yang terjadi dilakukan simulasi dengan data proses yang sama seperti pada sistem atau *plant*. Jika model matematis telah sempurna, maka x estimate akan sama dengan state dari sistem yaitu x . Namun dalam pengaplikasiannya, banyak terjadi kesalahan model yang kurang tepat, sehingga akan ada perbedaan antara x dan x estimate yang kemudian diasumsikan bahwa setidaknya salah satu dari *state* yang terukur. Perbedaan antara x dan x estimate menyebabkan juga perbedaan y estimate dan y dari sistem, perbedaan ini menyebabkan

error dari estimasi pengukuran sehingga dapat dirumuskan sebagai berikut ;

$$e = Y - Y \text{ estimate} \quad (2.1)$$

Dengan menggunakan parameter yang pada pemodelan *state space* dari sistem atau *plant*, yang dirumuskan sebagai berikut ;

$$\dot{x} = Ax + Bu \quad (2.2)$$

$$y = Cx + Du \quad (2.3)$$

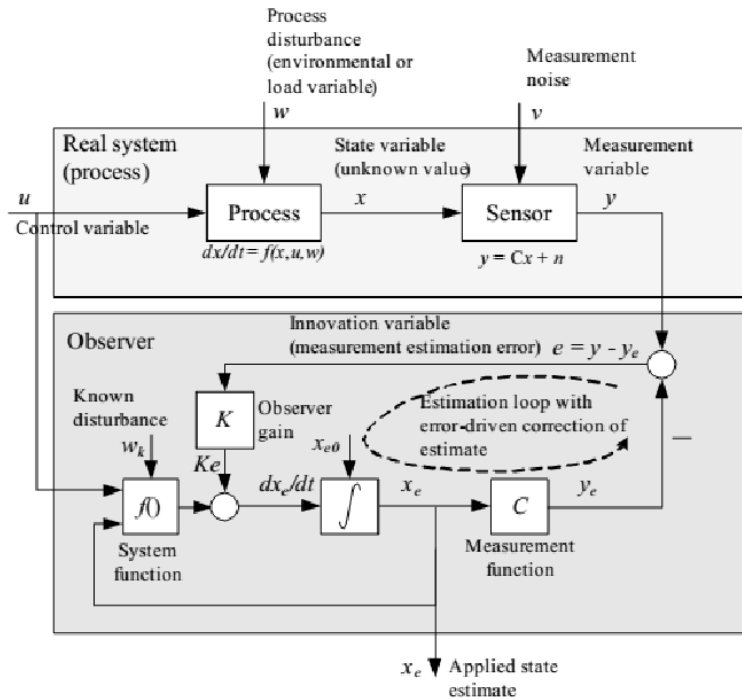
Sehingga untuk mendapatkan nilai state estimasi dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut ;

$$\dot{x} = Ax + Bu + Kobs (y - Cx) \quad (2.4)$$

$$= (A - Kobs C)x + Bu + Kobs y \quad (2.5)$$

Sehingga hasil estimasi pengukuran dapat digunakan untuk mendeteksi kesalahan dan kemudian bisa dilakukan prosedur selanjutnya dalam metode *fault tolerant control* ini. Berikut hasil estimasi yang didapatkan dengan perumusan sebagai berikut ;

$$y \text{ estimasi} = Cx \text{ estimasi} \quad (2.7)$$

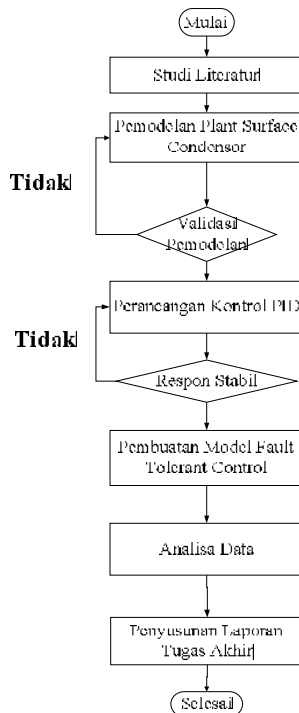


Gambar 2. 13 Real System Proses dengan Observer [5]

BAB III METODELOGI PENELITIAN

3.1. Prosedur Umum Peneletian

Pada penelitian ini dilakukan beberapa tahapan percobaan untuk merealisasikan metode *fault tolerant control* pada penampung steam kondensat dari *surface condensor* PT Badak Bontang NGL. Berikut flowchart penelitian yang ditunjukkan pada **Gambar 3.1** ;



Gambar 3. 1 Flowchart Penelitian

3.2. Studi Literatur

Pada awal penelitian ini dilakukan tinjauan *plant* pada *Surface Condensor* di PT Badak Bontang NGL, meliputi proses yang terjadi pada *loop plant* tersebut serta peralatan *instrument* yang dipasang pada *plant*. Selanjutnya dilakukan tinjauan pustaka mengenai penampung *steam* kondensat dari *surface condensor* dan metode kontrol yang digunakan pada *plant* tersebut yaitu dengan *split range control*.

Setelah dilakukan kajian pada setiap komponennya, dilanjutkan dengan tinjauan pustaka mengenai pengertian *fault tolerant control (FTC)* dari jenis *fault tolerant control* dan pendekatan yang digunakan pada *fault tolerant control* ini, serta implementasi yang telah dilakukan dengan metode *fault tolerant control*.

3.3. Fault pada Displacer Level Transmitter

Kesalahan pada *displacer level transmitter* cukup sering terjadi karena pada sensor level transmitter ini mempunyai bagian komponen mekanik antara satu dengan yang lainnya yang cukup banyak berhubungan. Komponen pada displacer yaitu terdiri dari batang displacer atau float, spring displacer, torque arm dan kopling magnet. Kerusakan yang sering terjadi yaitu pada spring displacer karena pada bagian ini selalu mengikuti pergerakan level terus – menerus sehingga bisa terjadinya keausan pada bagian ini sehingga akan mengurangi tingkat kesensitivitasan dari sensor itu sendiri. Selain itu kerusakan bisa diakibatkan oleh menyangkutnya batang displacer yang tidak mengikuti pergerakan dari level sehingga pembacaan sensor bisa tidak sesuai dengan keadaan sesungguhnya.

3.4. Pemodelan Plant Surface Condensor

Pada pemodelan *plant* di *surface condensor* ini, masukan utama berupa *steam* dan *cooling water* yang masuk menuju *surface condensor*. Pada *surface condensor* terjadi pertukaran panas sehingga dihasilkan air kondensat yang dipompa menuju ke ejektor. Pada ejektor pertama, air kondensat adalah sebagai pendingin dari

steam yang tidak sempurna yang berasal dari hasil pertukaran panas yang terjadi pada surface condensor.

Disini terjadi pertukaran panas kembali yang menghasilkan air kondensat yang menuju kembali ke penampung kondensat, sedangkan air kondensat diteruskan sebagai pendingin di ejektor kedua dengan proses yang sama dengan sebelumnya. Setelah itu pendingin kondensat ini akan menuju ke utilties dan ada juga yang kembali ke penampung kondensat dengan adanya kontrol valve yang mengatur aliran yang kembali. Secara hukum kesetimbangan energi, plant ini dapat dibuat persamaannya sebagai berikut;

$$\frac{dh}{dt} = \frac{min - mout}{A} \quad (3.1)$$

$$m_{in} = m_{con} + m_{cc} + m_{ejektor} \quad (3.2)$$

$$m_{out} = m_{pompa} \quad (3.3)$$

Hasil perhitungan dari pemodelan penampung steam kondensat adalah sebagai berikut dari perumusan diatas ;

- $m_{kondensat} = m_{steam} * x_{con}$
 $= 150910 * 0.9$
 $= 135819$
- $m_{in} = m_{con} + m_{cc} + m_{ejektor}$
 $= 135819 + \frac{4.33e3}{0.009s+1} + \frac{1}{s+1}$
 $= 135819 + \frac{4330,009(s+1)+0.009s+1}{(0.009s+1)(s+1)}$
 $= 135819 + \frac{4330s+4330+0.009s+1}{0.009s^2+0.009s+s+1}$
 $= 135819 + \frac{4330,009s+4331}{0.009s^2+1.009s+1}$
- $\frac{dh}{dt} = \frac{min - mout}{A}$
 $\frac{dh}{dt} = \frac{\left(135819 + \frac{4330,009s + 4331}{0.009s^2 + 1.009s + 1} - 147201\right)}{307.5}$

$$\begin{aligned}
\frac{dh}{dt} &= \left(\frac{135819 - 147201}{307.5} \right) + \frac{(4330.009s + 4331)}{0.009s^2 + 1.009s + 1(307.5)} \\
&= \left(\frac{-11382}{307.5} \right) + \frac{(4330.009s + 4331)}{2.7675s^2 + 310.2675s + 307.5} \\
&= -37.0146 + \frac{(4330.009s + 4331)}{2.7675s^2 + 310.2675s + 307.5} \\
&= \frac{-37.0146(2.7675s^2 + 310.2675s + 307.5) + 4330.009s + 4331}{2.7675s^2 + 310.2675s + 307.5} \\
&= \frac{-102.4416s^2 - 11484.4274s - 11381.9895 + 4330.009s + 4331}{2.7675s^2 + 310.2675s + 307.5} \\
&= \frac{-102.4416s^2 - 7154.4182s - 7050.9895}{2.7675s^2 + 310.2675s + 307.5} \\
&= \frac{-102.4416s^2 - 7154.4182s - 7050.9895}{2.7675s^2 + 310.2675s + 307.5} \cdot \frac{1}{s} \\
H(s) &= \frac{-102.4416s^2 - 7154.4182s - 7050.9895}{2.7675s^3 + 310.2675s^2 + 307.5s}
\end{aligned}$$

Keterangan :

msteam = aliran uap kompresor turbin

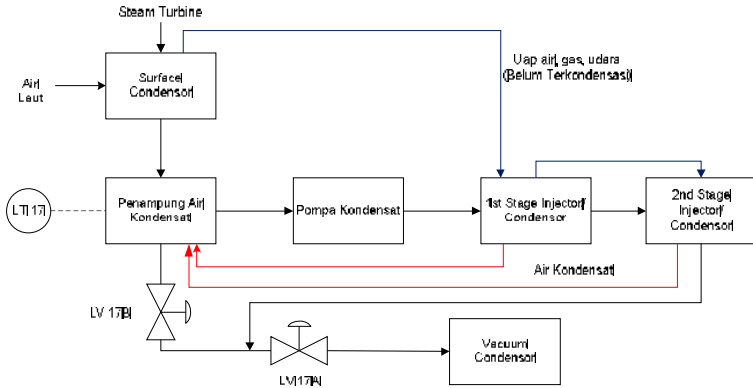
mcond = aliran kondesat

mcc = aliran cooling kondesat

mpompa = aliran keluaran dari pompa

xcon = fraksi kondesat

A = luas penampang surface condensor



Gambar 3. 2 Diagram Blok Proses pada Surface Condensor

- **Fungsi Transfer Transmitter**

Transmitter memiliki input dengan range 0 – 438 mm dan output arus 4 - 20 mA. Gain transmitter dapat diperoleh ;

$$G_t = \frac{\text{output}}{\text{input}} = \frac{\text{signal output}}{(\text{max-min perubahan level})} \quad (3.4)$$

$$= \frac{20-4 \text{ mA}}{438-0 \text{ mm}} = 0.03 \frac{\text{mA}}{\text{mm}}$$

$$\tau = \frac{63.2}{100} \times 0.03 = 0.018$$

$$\frac{G(S)}{U(S)} = \frac{G_t}{\tau s + 1} = \frac{0.03}{0.018s + 1}$$

- **Fungsi Transfer Valve**

$$G_v = \frac{\text{ouput}}{\text{Input}} = \frac{\text{Flowrate yang mengalir}}{\text{Bukaan valve (Psi)}} \quad (3.5)$$

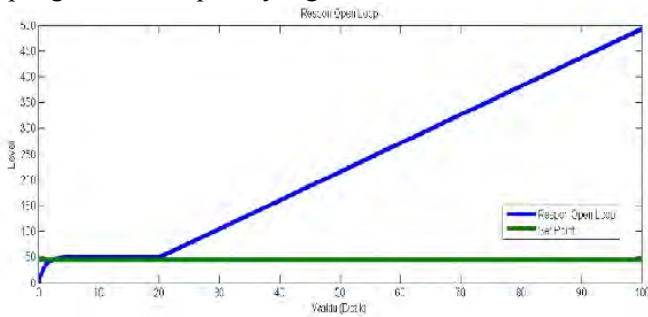
$$= \frac{(52-0)}{(15-3)} = 4.33$$

$$T_v = \frac{Y_c}{C_v} = \frac{0.676}{75} = 0.009$$

$$\frac{G(s)}{U(s)} = \frac{Gv}{Tv(s)+1} = \frac{4.33}{0.009s+1}$$

3.4 Perancangan Kontrol PID

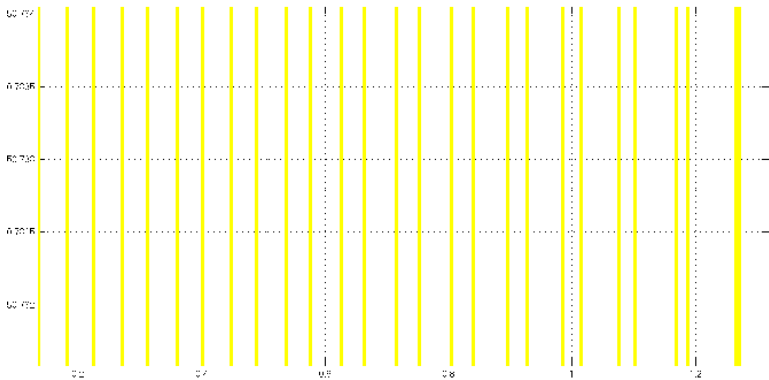
Pada penelitian ini juga dilihat dari respon open loop dan closed loop dari blok function yang telah dibuat di Simulink. Respon open loop dianalisa untuk memastikan sistem yang dibuat bisa dikontrol atau tidak. Berikut hasil grafik analisa open loop tanpa pengendali dari plant yang telah dibuat di Simulink ;



Gambar 3. 3 Grafik Open Loop

Untuk analisa closed disini menggunakan pengendalian dasar PID (*Proporsional Integral Derivative*) dengan cara menentukan nilai Kp, Ti dan Td yang paling stabil dengan maximum overshoot tidak besar namun settling time yang cukup cepat. Disini untuk mendapatkan nilai yang stabil menggunakan metode tuning Ziegler Nichols. Pada tuning Ziegler Nichols mempunyai dua metode yaitu metode osilasi dan metode kurva. Tuning yang dilakukan disini menggunakan metode osilasi. Langkah pertama yang dilakukan adalah mentuning sistem agar mencapai osilasi yang stabil dengan amplitudo yang sama tiap lembahnya, dari tuning yang dilakukan didapatkan nilai Kcr atau biasanya disebut dengan gain kritis. Dengan mendapatkan gain kritis kemudian dimasukkan ke

parameter tuning ziegler nichols. Hasil tuning yang didapatkan dengan nilai K_p sebesar 9.8 dan nilai T_i sebesar 3.8.



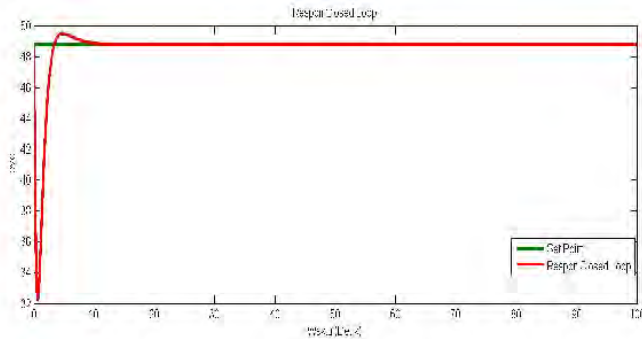
Gambar 3. 4 Respon Osilasi

Setelah mendapatkan nilai K_{cr} , kemudian dimasukkan ke parameter tuning Ziegler Nichols. Berikut parameter tuning tersebut ;

Tabel 3. 1 Parameter Tuning Ziegler Nichols

Parameter Kontrol	K_p	T_i	T_d
P	$0.5 K_{cr}$	$\sim$	0
PI	$0.45 K_{cr}$	$1/1.2 P_{cr}$	0
PID	$0.6 K_{cr}$	$0.5 P_{cr}$	$0.125 P_{cr}$

Berikut hasil dari tuning yang dilakukan dengan parameter tuning Ziegler Nichols ;



Gambar 3. 5 Grafik Closed Loop

3.5 Perancangan *Fault Tolerant Control*

3.5.1 Perancangan *Observer*

Perancangan observer didapatkan dengan cara mencari nilai pole dari persamaan matriks yang didapatkan fungsi transfer keseluruhan. Untuk nilai matriks didapatkan dengan cara merubah fungsi transfer total menjadi state space. Pada software MATLAB disini pada m file bisa dicari dengan *ft to ss (function transfer to state space)*. Berikut nilai matrik yang didapatkan dari fungsi transfer dari plant. Dengan perumusan sebagai berikut ;

$$x = Ax + Bu \quad (3.7)$$

$$y = Cx + Du \quad (3.8)$$

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -3 & 0 \\ 8.7 & 1-65.4 & 14.08 & \\ 0.15 & 0.01-1.15 & 0.25 & \\ 0.0005 & 0 & -0.04 & 0 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 \\ 8.72 \\ 0.15 \\ 0.005 \end{bmatrix}$$

$$C = [0 \ 1 \ 0 \ 0]$$

$$D = 0$$

Kemudian yang dilakukan untuk mencari *gain observer* yaitu mencari nilai pole, didapatkan dari *eigen value matrik a* dari hasil state space yang didapatkan dari persamaan. Berikut persamaan yang digunakan untuk mencari nilai pole dan observer beserta hasil yang didapatkan ;

$$eig(A - KC) = \{s_1, s_2, \dots, s_n\} \quad (3.9)$$

$$\det(sI - (A - KC)) = (s - s_1)(s - s_2) \dots (s - s_n) \quad (3.10)$$

$$P = \begin{bmatrix} -0.5 \\ -1 \\ -111.1 \\ -150 \end{bmatrix}$$

Dengan nilai $\{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ adalah nilai pole yang didapatkan dari persamaan fungsi transfer sehingga didapatkan nilai pole yang diinginkan yaitu berupa K sebesar

$$K = 1e4 [3.6 \ 0.02 \ 1.02 \ 2.5]$$

Keterangan;

K = Gain Observer

A = Matriks State space A

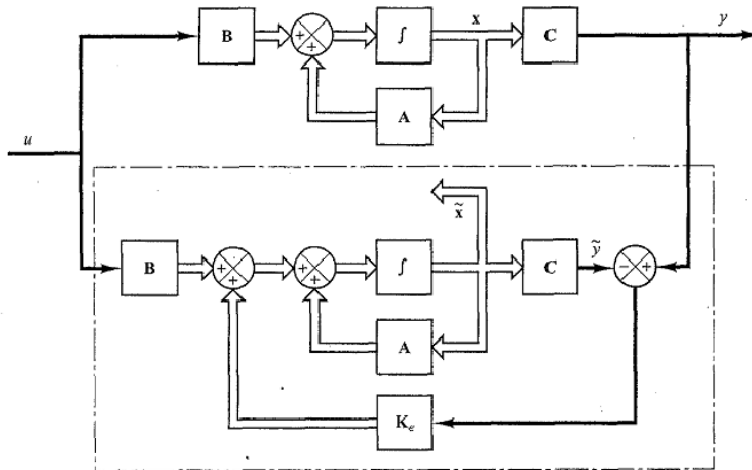
B = Matriks State space B

C = Matriks State space C

D = Matriks State space D

P = Nilai pole

Setelah didapatkan semua parameter untuk pembentukan *gain observer*, kemudian dilakukan validasi dari hasil *observer* dengan data *real plant*. Hasil yang didapatkan harus sesuai karena keluaran dari *observer* merupakan estimasi yang digunakan untuk mengidentifikasi suatu besarnya kesalahan yang diberikan. Berikut diagram blok *observer* yang digunakan.



Gambar 3. 6 Full Order State Observer [5]

3.5.2 Perancangan *Fault Detection Identification (FDI)*

Setelah didapatkan nilai *gain observer*, langkah selanjutnya yang dilakukan adalah merancang *Fault Detection Identification* yang bertujuan untuk mengetahui besarnya *fault* atau kesalahan yang terjadi pada suatu sistem yang diakibatkan sensor yang bermasalah. *Fault Detection Identification* juga berfungsi untuk membedakan adanya *noise* atau *disturbance* pada sistem dengan adanya kesalahan yang diakibatkan kesalahan selain sensor seperti kesalahan pada pemodelan. Berikut langkah – langkah untuk merancang sebuah *Fault Detection Identification* ;

- Menentukan besarnya residual yang didapat dari pengurangan data pengukuran sensor dengan hasil estimasi yang diperoleh dari observer. Atau bisa dirumuskan sebagai berikut ;

$$R = Y - Y_{estimation} \quad (3.11)$$

- Memberikan batasan kesalahan akibat sensor dengan membuat filter menggunakan rumus standart deviasi yang diperoleh dari hasil pengukuran. Berikut perumusan untuk UCL dan LCL untuk ;

$$UCL = +standard\ deviasi \quad (3.12)$$

$$LCL = -standard\ deviasi \quad (3.13)$$

- Jika $R > UCL$ dan $R < LCL$ maka signal alarm akan menyala kemudian FDI akan aktif dan menunjukkan bahwa adanya terjadi kesalahan sehingga rekonfigurasi kontrol bekerja.

3.5.3 Perancangan Rekonfigurasi Kontrol

Rekonfigurasi kontrol adalah merupakan suatu tahapan pada metode *Fault Tolerant Control* yang bertugas untuk menghilangkan atau mengembalikan stabilitas kontrol yang tidak stabil karena adanya fault atau kesalahan yang terjadi pada sensor. Rekonfigurasi kontrol ini dilakukan dengan merubah keluaran dari kontroller (u) dan dengan menambahkan *setpoint* (r) atau *radd*. Berikut perhitungan untuk mendapatkan nilai error dari aksi kontrol dengan menggunakan PID dan saat terjadinya fault pada sensor sehingga nilai error mengalami perubahan ;

$$e = r - Y \quad (3.14)$$

Ketika diberikan suatu kesalahan, nilai eror akan mengalami perubahan yang akan menjadi ;

$$e' = r - (Y + R) \quad (3.15)$$

Untuk mengembalikan nilai eror yang diberikan kesalahan pada kondisi normalnya, maka dari itu nilai r harus ditambahkan dari nilai R yaitu residual. Maka dari itu didapat nilai $radd$ atau set point penambahan saat diberikan kesalahan sama dengan nilai

residual atau nilai R. Sehingga didapatkan perumusan yang baru sebagai berikut ;

$$r - Y = (r + radd) - (Y + R) \quad (3.16)$$

Keterangan ;

e = error

e' = error ketika terjadinya fault

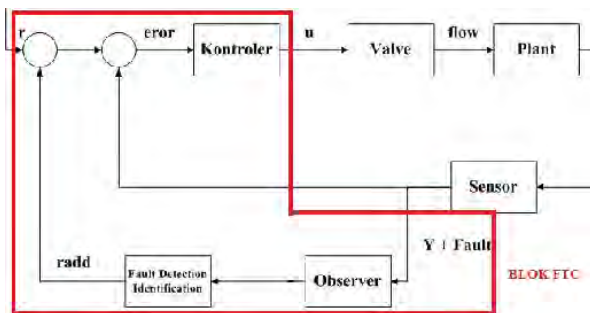
r = set point

$radd$ = penambahan set point ketika terjadinya fault

y = proses variable

R = residul (Kesalahan pada Sensor)

3.6 Skema Fault Tolerant Control



Gambar 3. 7 Skema FTC

Perancangan skema *fault tolerant control* dibentuk dari beberapa blok diagram yang berujuk dari proses yang terjadi pada plant tersebut. Disini dirujuk dari proses yang terjadi di *surface condensor plant* yang lebih tepatnya di penampung *steam kondensat*. Proses yang terjadi terdiri dari beberapa input yaitu berupa *steam turbin* dari kompresor turbin, *cooling water* dari *subsea* dan juga ada pengaruh pompa yang memompa hasil kondensat dari penampung menuju ke *ejector* namun dengan flow

yang dipompa konstan. Selanjutnya setelah terbentuk diagram blok proses secara general, dilakukan pembentukan diagram pengendalian *closed loop*. Pengendalian disini digunakan untuk mengatur flow pendingin kondensat yang kembali menuju penampung steam kondensat.

Langkah pembentukan *fault tolerant control* dilakukan pendekatan dengan *observer* yang bertujuan untuk mengetahui estimasi kesalahan yang diberikan yang berupa kesalahan bias dan sensitivitas. Nilai observer yang terdiri dari *gain a*, *b*, dan *c* yang mengeluarkan *gain k* atau gain pengamat disini harus sama seperti hasil respon plant utama. Dari kesalahan yang diberikan akan mendapatkan nilai residual dan diberi tambahan gangguan berupa *distribusi gaussian* dengan nilai *range* tertentu yang didapatkan dari hasil pengukuran *real plant*.

Setelah diberikan kesalahan bias dan sensitivitas serta tambahan gangguan berupa *distribusi gaussian*. Selanjutnya membentuk suatu blok *fault detection identification* yang bertujuan untuk mengenali suatu sistem tersebut sedang mengalami suatu kesalahan, *fault detection* dapat dianalogikan seperti *on/off* yang ketika terjadi kesalahan akan *on* dan dilanjutkan menuju blok rekonfigurasi kontrol. Rekonfigurasi kontrol adalah tahapan akhir dari *fault tolerant control* yang bertujuan untuk mengembalikan sistem menuju kontrol nominalnya saat terjadi kesalahan yang diberikan.

3.7 Uji Performansi

Uji performansi dilakukan untuk menguji algoritma *fault tolerant control* yang telah dibuat berjalan dengan baik atau tidak. Uji ini dilakukan ketika algoritma *fault tolerant control* sedang berjalan dan diberikan suatu kesalahan pada sensor. Kesalahan yang diberikan berupa kesalahan bias dan sensitivitas. Pada uji performansi ini juga dilakukan uji noise untuk mengetahui noise seberapa besar yang dapat diakomodasi oleh *fault tolerant control* serta dilakukan uji tracking set point ketika sudah mencapai kondisi mantapnya.

Halaman ini Sengaja dikosongkan

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Validasi Pemodelan

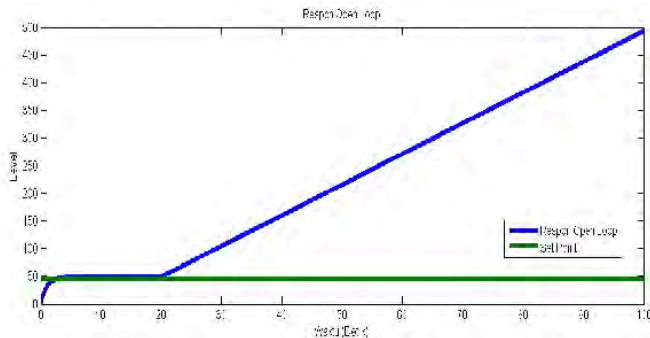
Dari rumus kesetimbangan massa menerangkan pemodelan *plant* yang sesuai dengan yang ada di lapangan, maka didapatkan fungsi transfer keseluruhan dari hasil perhitungan seperti pada sebelumnya. Setelah didapatkan hasil perhitungan model dan observer, dilakukan validasi untuk mengetahui eror yang didapat seberapa besar dibandingkan dengan kondisi mantapnya yaitu ketika 63% untuk pengukuran dari design awal pembuatan plant. Dari hasil perhitungan didapatkan nilai eror antara design plant awal dengan hasil pemodelan *plant* 0.44%. Untuk hasil *observer* yang didapatkan dari parameter *state space* juga dilakukan validasi dari hasil pengukuran lapangan saat kondisi mantapnya. Hasil yang didapatkan nilai eror antara *observer* dengan data pengukuran sebesar 0.71%.

Untuk validasi yang kedua yaitu antara perhitungan model dan observer dengan pengukuran yang langsung di lapangan yaitu dari tanggal 1 Januari hingga 7 Juli 2013. Hasil eror yang didapatkan antara hasil pemodelan dan pengukuran di lapangan yaitu sebesar 4.21%. Untuk eror yang didapatkan antara hasil observer dan pengukuran di lapangan sebesar 3.94%. Nilai eror yang didapatkan pada validasi kedua ini lebih besar dikarenakan data pengukuran yang didapat hanya merupakan keluaran dari proses variable namun input yang diberikan tidak diketahui karena di lapangan tidak ada perekaman input yang berupa nilai steam dan cooling water.

Tabel 4. 1 Validasi Pemodelan

	Design	Lapangan	Model	Observer
Nilai Rata-Rata Pengukuran	63%	60,06%	62,71%	62.54%

Setelah mendapatkan validasi dengan mengetahui eror antara pemodelan plant dan observer dengan pengukuran saat kondisi mantap, dilanjutkan dengan melakukan respon *open loop* yang dibandingkan dengan *set point* yang sebenarnya yang ada di lapangan. *Set point real plant* dilapangan yaitu sebesar 63% dengan ketinggian *chamber* sebesar 75cm. Jadi *set point* yang seharusnya didapatkan yaitu sebesar 48.75cm. Berikut hasil respon open loop yang diperoleh dari hasil simulasi ;

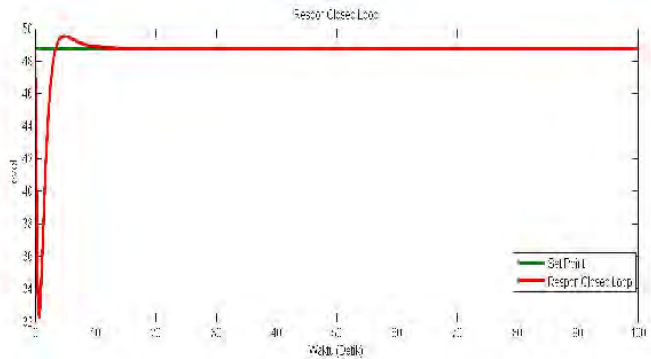


Gambar 4. 1Respon Open Loop

Dari hasil respon open loop diperoleh bawah sistem mencapai nilai set point yang sebesar 48.75 cm kemudian pada detik ke 20 respon menjadi linier naik terus – menerus.

4.2 Respon PID Kontroler

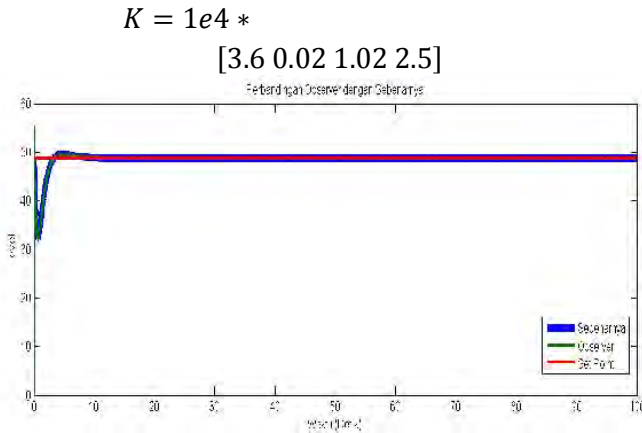
Pada respon kontroler yang menggunakan metode tuning Ziegler Nichols dengan parameter perhitungan yang ada pada bab sebelumnya, maka didapatkan nilai gain proportional sebesar 9.8 dan gain integral sebesar 3.8. Berikut hasil respon yang diperoleh saat menggunakan metode tuning Ziegler Nichols. Disini respon menggambarkan bahwa saat ditambahkannya suatu kontroler bisa mencapai set point yang diinginkan.



Gambar 4. 2 *Respon Closed Loop*

4.3 Observer

Perumusan hasil observer didapatkan dari hasil pencarian pole dari persamaan state space yang didapatkan pada bab sebelumnya. Berikut hasil gain observer yang didapatkan dari persamaan di bab 3 dan respon yang diperoleh dari hasil observer yang dibandingkan dengan keluaran respon closed loop. Dari hasil yang didapatkan bahwa hasil observer sudah sesuai dengan respon yang terukur. Berikut hasil nilai gain observer yang didapatkan dan hasil antara respon observer dibandingkan dengan respon yang terukur ;



Gambar 4. 3 Hasil Observer dibandingkan Respon Closed Loop

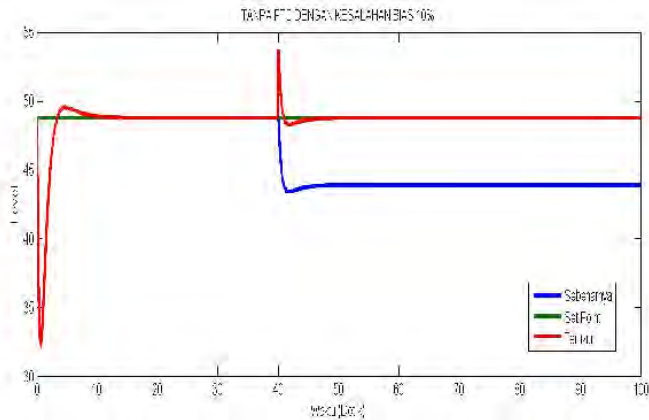
4.4 Uji Performansi

4.4.1 Uji Kesalahan Bias dan Sensitivitas

Uji performansi disini bertujuan untuk mengetahui algoritma *Fault Tolerant Control* yang telah dibuat bisa berjalan dengan benar atau tidak jika ada kesalahan yang diberikan. Kesalahan disini berupa kesalahan bias dan sensitivitas serta variasinya.

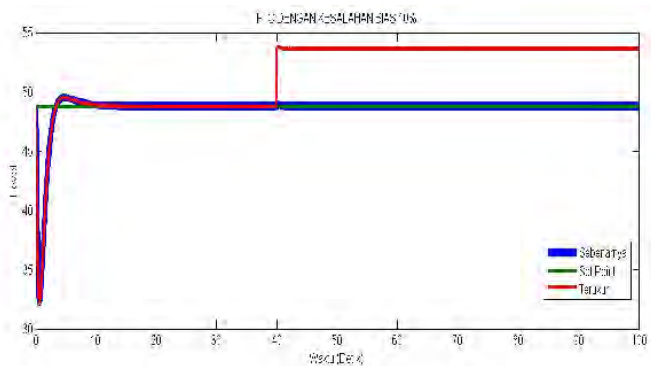
- **Uji Kesalahan Bias +10%**

Untuk menguji performansi dari sistem maka diberikan kesalahan pada proses *variable* berupa kesalahan bias sebesar 10% dari hasil set point yang telah ditentukan yaitu sebesar 48.75cm.



Gambar 4. 4 Respon PID tanpa algoritma FTC dengan kesalahan Bias 10%

Pada **Gambar 4.4** adalah respon dari PID tanpa adanya algoritma *fault tolerant control* dan saat diberikan kesalahan bias sebesar 10% terhadap sensor. Respon yang didapat pada detik 40 grafik sebenarnya mengalami penurunan yang tidak sesuai dengan set point. Namun hasil dari respon yang terukur tetap di pada set point. Hal ini disebabkan oleh aksi kontrol yang bekerja berdasarkan pembacaan yang terukur sehingga menurunkan level yang sebenarnya menjadi tidak mencapai set point.



Gambar 4. 5 Respon PID dengan algoritma FTC dengan pemberian kesalahan Bias 10%

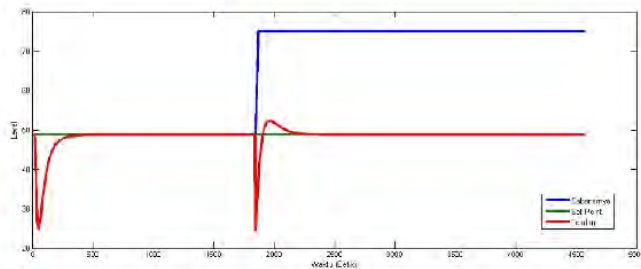
Untuk **Gambar 4.5** menerangkan respon kontroler dengan *fault tolerant control* pada keadaan diberikan kesalahan bias sebesar 10%. Dari respon yang didapatkan, kondisi sebenarnya mencapai set point yang telah ditentukan, sedangkan untuk kondisi yang terukur melebihi dari set point dikarenakan rekonfigurasi kontrol dari algoritma *fault tolerant control* yang menambahkan set point referensi sebesar 10% untuk mengembalikan respon yang sebenarnya menuju ke set point yang ditentukan.

Tabel 4. 2 Pemberian Kesalahan Sensitivitas sebesar +10%

No	Parameter	PID tanpa Algoritma FTC	PID dengan Algoritma FTC
1	Maksimum Overshoot	49.5 cm	49.5 cm
2	Error Steady State	4.8 cm	0 cm
3	Setling Time	40 detik	40 detik

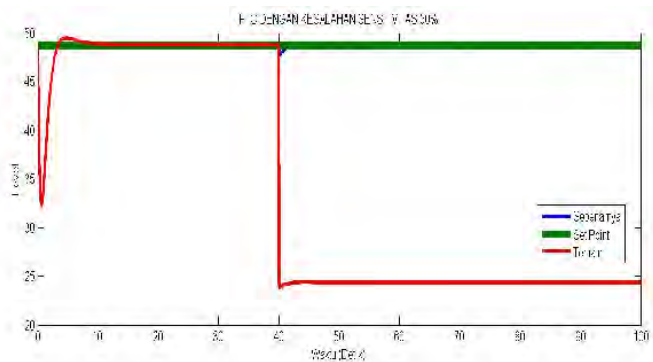
- **Uji Kesalahan Sensitifitas 50%**

Pemberian uji kesalahan selain kesalahan bias yaitu dengan uji kesalahan sensitivitas. Disini dilakukan pemberian kesalahan sensitivitas sebesar 50%. Berikut hasil respon yang didapatkan saat dilakukan pemberian kesalahan sensitivitas tanpa adanya algoritma fault tolerant control ;



Gambar 4. 6 Respon PID tanpa algoritma FTC dengan kesalahan Sensitivitas sebesar 50%

Hasil respon yang didapatkan pada **Gambar 4.6** saat diberikan kesalahan sensitivitas, untuk respon nilai sebenarnya terjadi kenaikan karena adanya kesalahan aksi kontrol yang dibaca oleh sensor atau dari nilai yang terukur. Sehingga respon sebenarnya mengalami penurunan menjauhi set point. Sedangkan untuk respon yang terukur tetap pada range set point karena belum ada rekonfigurasi kontrol baru yang diberikan.



Gambar 4. 7 Respon PID dengan algoritma FTC dengan pemberian kesalahan Sensitivitas 50%

Pada **Gambar 4.7** menunjukkan respon PID dengan algoritma *fault tolerant control* pada kesalahan sensitivitas yang diberikan sebesar 50%. Dari grafik respon yang didapat bahwa level yang sebenarnya tetap pada kondisi nominalnya yaitu di rentan set point. Hal ini dikarenakan karena adanya rekonfigurasi kontrol yang diberikan oleh algoritma *fault tolerant control* yang menambahkan dari set point referensi saat terjadinya kesalahan yang diberikan. Efek yang lain, untuk level yang terukur mengalami penurunan menjauhi set point karena adanya efek rekonfigurasi kontrol yang diberikan oleh algoritma *fault tolerant control*.

Tabel 4. 3 Pemberian Kesalahan Sensitivitas sebesar 50%

No	Parameter	PID tanpa Algoritma FTC	PID dengan Algoritma FTC
1	Maksimum Overshoot	49.5 cm	49.5 cm
2	Error Steady State	26.25 cm	0 cm
3	Setling Time	40 detik	40 detik

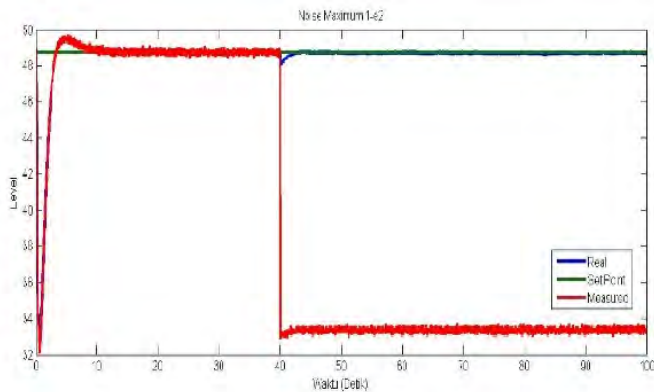
Untuk hasil uji pada **Tabel 4.4** menerangkan bahwa ketika pemberian kesalahan bias yang semakin besar dengan nilai kesalahan sensitivitas sebesar 0% hasil nilai eror steady state yang didapatkan semakin besar pula. Untuk kesalahan sensitivitas yang semakin besar dengan nilai bias tetap 0% hasil nilai steady state yang diperoleh juga semakin besar sama seperti dengan kesalahan bias. Untuk pemberian kesalahan yang bisa ditolerir oleh algoritma fault tolerant control adalah sebesar 100% untuk sensitivitas dan ketika melebihi itu algoritma fault tolerant control tidak bisa mengakomodasi kembali menuju ke set point. Untuk maksimal error steady state didapatkan nilai sebesar 54% dari set point karena nilai itu merupakan batas maksimum dari penampung steam kondensat di plant ini. Pemberian kesalahan bias dan sensitivitas pada keadaan realnya merupakan kesalahan pada sensor secara nyata. Untuk kesalahan bias pada kondisi nyatanya adanya perubahan nilai zero level pada penampung steam kondensatnya sehingga terjadinya eror bias. Untuk kesalahan sensitivitas dikarenakan pada sensor displacer level transmitter memiliki beberapa bagian komponen mekanik yang saling berhubungan antara satu dengan yang lainnya. Contoh komponen yang sering terjadi kesalahan yaitu pada bagian spring atau pegas displacer yang selalu mengikuti perubahan level sehingga komponen ini sering mengalami keausan yang mengakibatkan sensitivitas dari sensor berkurang.

Tabel 4. 4 Nilai Error Steady State untuk Berbagai Fault

No	Kesalahan Bias	Kesalahan Sensitivitas	Error Steady State
1	$\pm 10\%$	0%	10%
2	$\pm 20\%$	0%	20%
3	$\pm 30\%$	0%	30%
4	$\pm 40\%$	0%	40%
5	0%	50%	54%
6	0%	100%	~
7	$\pm 20\%$	50%	54%

4.4.2 Uji Noise

Uji noise ini dilakukan untuk bisa mengetahui seberapa besar nilai noise yang dapat diberikan terhadap algoritma fault tolerant control saat terjadinya kesalahan. Berikut hasil respon uji noise maksimal yang didapatkan saat terjadinya kesalahan.



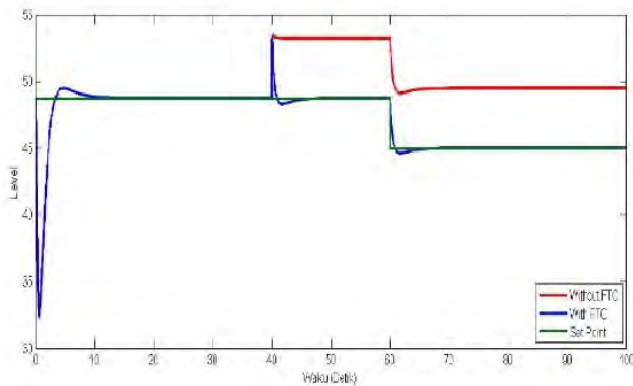
Gambar 4. 8 Respon Uji Noise Maksimum sebesar 10^{-2}

Pada **Gambar 4.8** menunjukkan respon sistem level dengan algoritma *fault tolerant control* dengan noise maksimum yang diberikan terhadap sistem. Pada respon terlihat bahwa saat diberikan uji noise maksimum sebesar 10^{-2} Watt algoritma fault tolerant control tetap bisa mengakomodasi untuk kembali menuju ke titik nominalnya atau set pointnya. Dari data pengukuran di lapangan didapatkan nilai standart deviasi sebesar 10^{-6} , nilai ini digunakan pada simulasi sebagai noise power. Algoritma fault tolerant control pada sistem level ini tidak bisa bekerja ketika noise power yang diberikan nilainya lebih besar dari 10^{-2} Watt. Hal ini dikarenakan algoritma fault tolerant control tidak bisa membedakan antara noise dan kesalahan yang diberikan saat

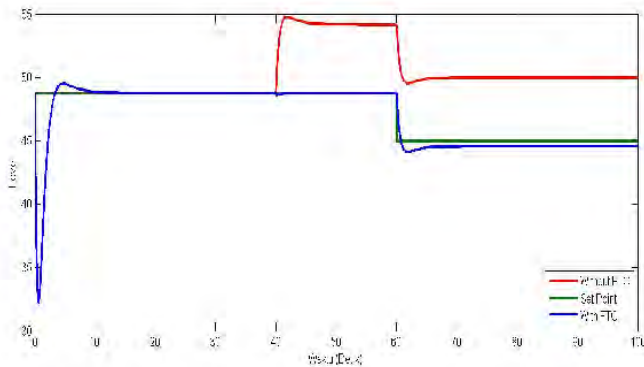
kondisi noise maksimum, karena itu respon yang didapat tidak bisa kembali menuju ke nominalnya.

4.4.3 Uji *Tracking Set Point*

Uji tracking set point ini dilakukan untuk mengetahui kinerja atau performa dari algoritma fault tolerant control saat terjadinya perubahan nilai set point. Uji kesalahan yang diberikan juga sama yaitu kesalahan bias dan sensitivitas. Berikut hasil respon uji tracking set point yang telah dilakukan.



Gambar 4. 9 *Respon PID dengan Perubahan Set Point
Kesalahan Bias 10%*



Gambar 4. 10 Respon PID dengan Perubahan Set Point
Kesalahan Sensitivitas 10%

Hasil respon yang didapatkan pada **Gambar 4.9** dan **Gambar 4.10** merupakan respon saat adanya perubahan set point dan saat diberikan kesalahan berupa bias dan sensitivitas. Kesalahan yang diberikan pada detik 40 kemudian pada detik 60 terjadi perubahan set point menjadi 45 cm. Untuk kesalahan bias yang didapatkan pada **Gambar 4.9** menerangkan bahwa ketika terjadi perubahan set point algoritma fault tolerat control bisa mengakomodasi kesalahan dan menuju kembali ke set point yang telah ditentukan. Sedangkan pada **Gambar 4.10** merupakan respon ketika pemberian kesalahan sensitivitas, disini algoritma fault tolerant tetap bisa mengakomodasi kesalahan tetapi tidak tepat menuju set point. Namun lebih baik dari pada hanya menggunakan PID konvensional yang tidak mendekati dari set point yang ditentukan

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian tugas akhir ini mengenai perancangan *active fault tolerant control* pada penampung *steam* kondensat dari *surface* kondensor di PT Badak Bontang NGL dengan kesalahan pada sensor adalah sebagai berikut :

- Berdasarkan data pengukuran dilapangan didapatkan nilai stardard deviasi pengukuran level kondensat sebesar 1×10^{-6} .
- Hasil estimasi observer yang dirancang memiliki nilai eror terhadap hasil design plant sebesar 0.71% berdasarkan nilai sebenarnya.
- Hasil validasi pemodelan yang dirancang memiliki nilai eror terhadap hasil design plant sebesar 0.44% berdasarkan nilai sebenarnya.
- Berdasarkan uji performansi yang telah dilakukan, algoritma *active fault tolerant control* bisa mengkompensasi kesalahan sensor yang berupa bias dan sensitivitas gangguan maksimal sebesar 1×10^{-2} .
- Dengan adanya algoritma *active fault tolerant control* hanya mempengaruhi eror *steady state*, sedangkan performansi tetap dalam artian tergantung pada algoritma kontrol nominalnya.

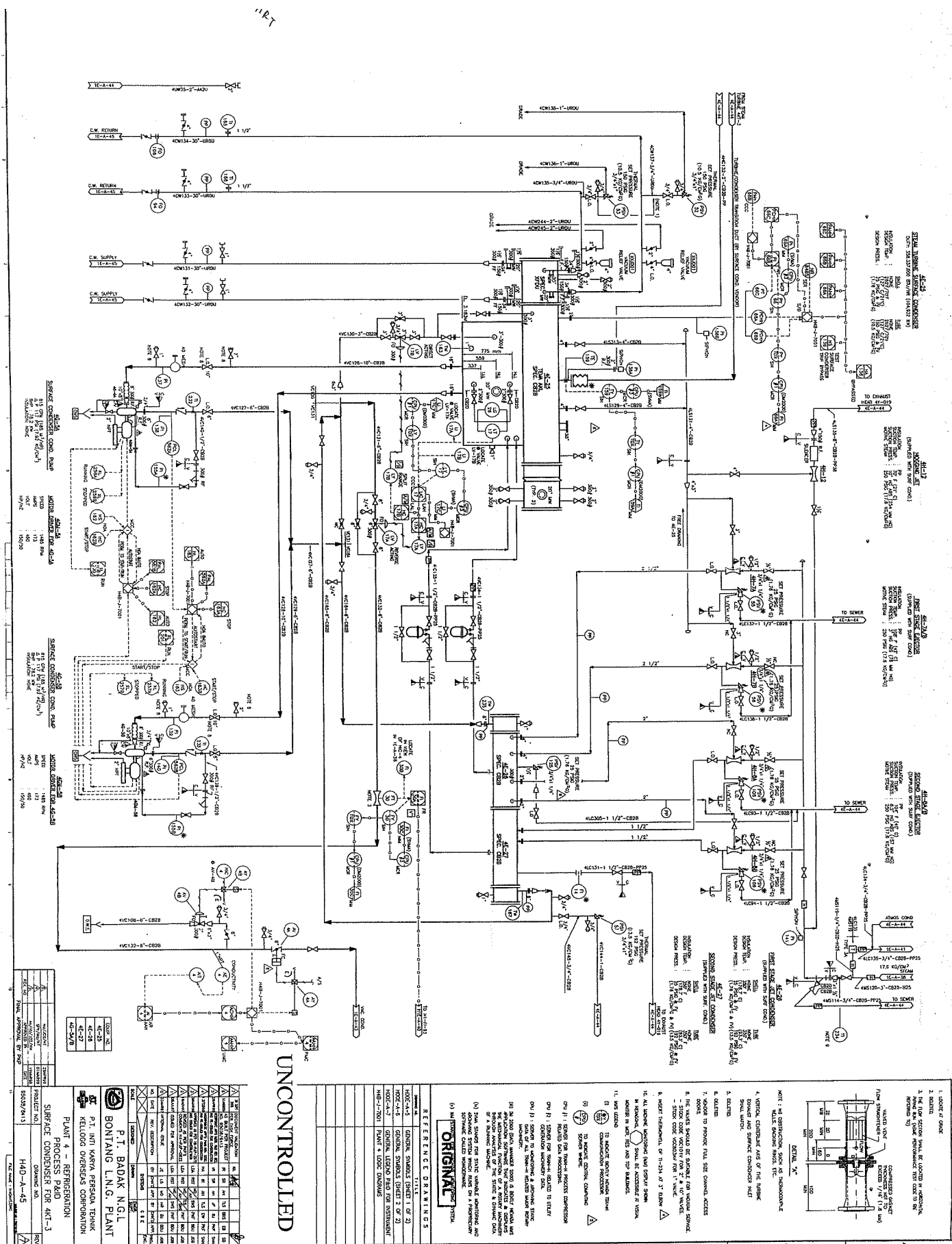
5.2. Saran

Dalam proses penelitian tugas akhir terhadap beberapa saran penelitian untuk kedepannya. Berikut saran yang dapat diberikan, diantaranya :

- Untuk kondisi *noise* yang berubah, algoritma Fault Detection and Identification (FDI) dapat menggunakan *tracehold* yang adaptif.

- Dalam pengembangan kedepannya bisa diaplikasikan terhadap real plant skala laboratorium dengan secara real time agar bisa diketahui fault tolerant bisa bekerja dengan baik atau tidak.
- Dalam skala industri kedepanya *fault tolerant control* bisa digunakan sebagai suatu sistem keamanan sehingga dibutuhkan terhadap perhitungan *realibility* dari suatu sistem.

LAMPIRAN A



LAMPIRAN B

DATA SHEET SURFACE CONDENSOR H4-E25 PT BADAK BONTANG NGL KALIMANTAN TIMUR



PT. INTI KARYA PERSADA TEHNIK
ENGINEERING & CONSTRUCTION



SURFACE CONDENSER SPECIFICATION SHEET

Client : Pertamina
Project : Bontang LNG Expansion Project Train-H
Job No. : 95038 / 6413
Doc. No : DS-H04-015/020/025 Page 4 Of 11

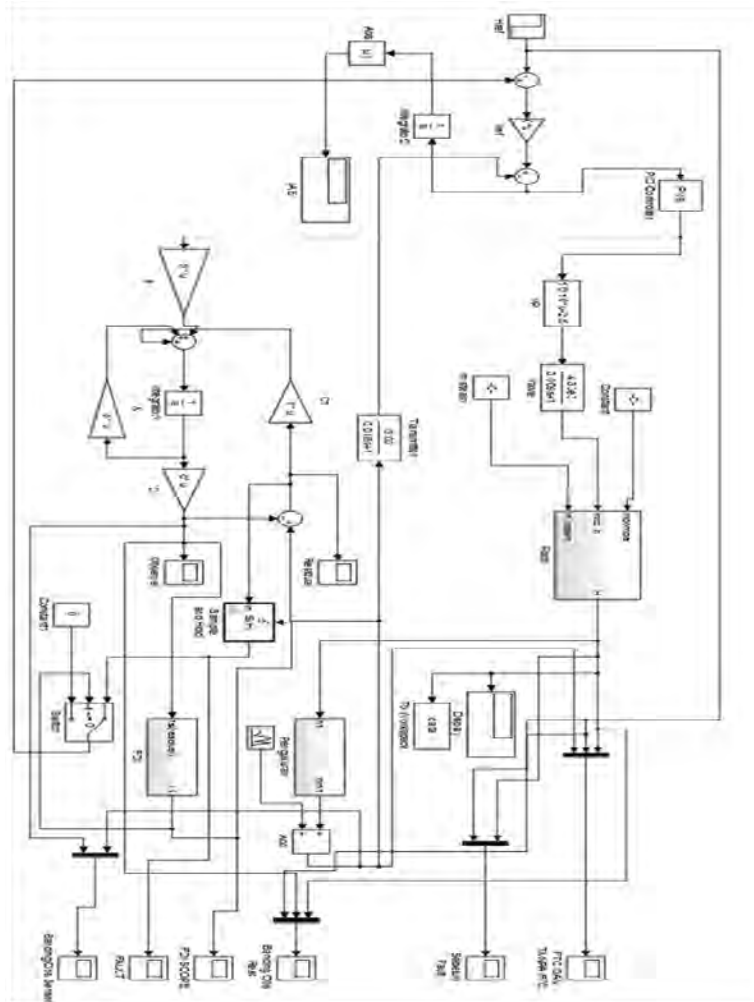
97-30715M

Service of unit : STEAM SURFACE CONDENSER		Item No. : H 4E-25	
Size : Model 94 113/ 25	mm : Type : AX LARK	(Hor) : Connected in : Parallel	Series
Surf/Unit (Eff) : 3075.3	m ² : Shells/Unit : 1	Surf/Shell (Eff) : 3,075.3	m ²
Fluid Allocation		SHELL SIDE	
		TUBE SIDE	
Fluid Name		INLET	OUTLET
Fluid Quantity, Total		WET STEAM	SEA WATER
Vapor (In/Out)		166,590.4 Kg/hr	9,224 m ³ /hr
Liquid			
Steam		154,910	
Water		11,660	166,570
Noncondensable		20.4	
Temperature (In/Out)		°C	°C
		51.9	41.97
Specific Gravity			34
			43.74
Viscosity, Liquid			1.03
			0.85
Molecular Weight, Vapor			
Molecular Weight, Noncondensable			
Specific Heat		W.h/kg°C	
Thermal Conductivity		W/m°C	AVG
Latent Heat		W.h/kg	AVG
Inlet Pressure		101.6 mmHg (ABS)	2.1 Kg/cm ² G
Velocity		m/s	93.66
Pressure Drop, Allow./Calc.		kg/cm ²	3.06
Fouling Resistance (Min.)			1.0
Heat Exchanged :		87,125,456	57.1 % Clean
Transfer Rate, Service :		2286.6	kcal/hr: LMTD (Corrected) 12.39
		Clean:	4004.5 W/m ² °C
CONSTRUCTION OF ONE SHELL			
Design/Test Pressure		kg/cm ² G	Sketch (Bundle/Nozzle Orientation)
Design Temperature		°C	
No. Passes per Shell			
Corrosion Allowance		mm	
Connection		In	
Size & Rating		Out	
Tube No. 6,858		OD 19.05	mm; Thk (Min) 0.711
Tube Type		Plain-Seal Welded to Tube Sheet for TI Tubes	Material TITANIUM
Shell		SA-516-70	ID 2,845
Channel or Bonnet		SA-516-70 (Note 5 Page 7 of 11)	Channel Cover K.C.S W/Hinge (see note 5 page 7 of 11)
Tubesheet-Stationary		K.C.S Clad with Titanium	Tubesheet-Floating
Baffles-Cross		Type	% Cut (Diam/Area)
Baffles-Long		SA-516-70	Spacing:c/c
Supports-Tube		SA-516-70	U-Bend
Bypass Seal Arrangement			Type Plate
Expansion Joint		Expansion Provision Included	Tube-Tubesheet Joint ROLLED & SEAL WELDED
Inlet Nozzle			Type Flexible End Type
Gaskets - Shell Side		Bundle Entrance	Bundle Exit
- Floating Head		Tube Side	Peroxide Cured EPDM
Code Requirements		HEI (SHELL SIDE) : ASME VIII DIV.1 (TUBE SIDE)	TEMA Class R
Weight/Shell		60,800	Bundle N.A
Remarks:		Kg	
1.) Surface Condenser Design shall include Fixed Center Key Support Design.			
2.) Steam Flow at Case 1 Power (36681 kW) x 1.1			
3.) Inlet Enthalpy = 574.9 kcal/kg			

LAMPIRAN C
DATA SHEET VALVE

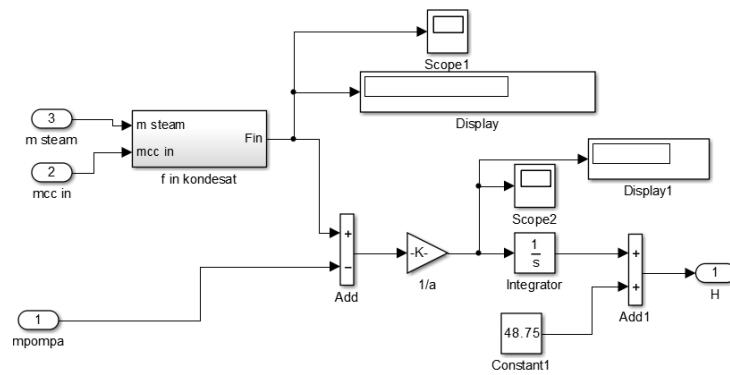
DATA SHEET NO. : H4J028-34 MR NO. : PGH-MR-J-028 PROJECT NO. : 95038/6413			CONTROL VALVE														
			REV	DATE	DESCRIPTION	BY	CHK	APP									
			1	01-01-2004	Issued For Record	knl	DJR	DJR									
G E N	1	Service Description		4E-25 STEAM TURBINE SURFACE CONDENSER													
	2	P & ID / Ref Dwg. No.		H4E-A-45													
	3	Line / Equipment No.		4VC130-3"-CB2B / 4E-25													
	4	Pipe Line Size	3 inches	Schedule STD													
	5	Hazardous Area Class	Class 1	Group C,D	Division II												
P R O C E S S & S E R V I C E			Units	Minimum	Normal	Maximum	Sizing										
	6	Flow Rate	m³/hr	---	---	52	---										
	7	Inlet Pressure	kg/cm² A	---	NO	8.54	---										
	8	Outlet Pressure	kg/cm² A	---	NOR	0.14	---										
	9	Inlet Temperature	°C	---	---	52	---										
	10	Diff. Pressure	kg/cm²	---	FLOW	8.4	---										
	11	Calc. Flow Coef.	Cv	---	---	25.25	---										
	12	Calc. Sound Level	dB (A)	---	---	57.1	---										
	13	Fluid Name	LIQUID		22	Sp. Heats Ratio	---										
	14	Fluid	LIQUID		23	Critical Pressure	225 kg/cm² A										
	15	Opr. Density	---		24	Critical Temperature	---										
	16	Opr. Sp. Gravity	0.99 SG		25	Base Sp. Gravity	---										
	17	Opr. Mol. Weight	---		26	Base Pressure	---										
	18	Opr. Viscosity	1 cP		27	Base Temperature	---										
	19	Opr. Vapor Pressure	0.13 kg/cm² A		28	Max. Shutoff Diff.	13.5 kg/cm²										
	20	Opr. Compress Fact.	---		29	Max. Allowable SPL	---										
	21	Design.Temp	80 °C		30	Design.Press	13.5 kg/cm² G										
	V A L V E B O D Y	31	Body Type	GLOBE		42	Trim Size No. Port	(*1) (*1)									
		32	Bonnet Type	STD		43	Characteristic	LINEAR									
		33	Conn. Size - Type	3" - RF		44	Plug Type	ANTI CAV. TRIM / BALANCED									
		34	Nom Press Rating	300#		45	Guide Type	CAGE									
35		Packing Type	V-RING		46	Trim Spec (Letter)	---										
36		Flow Direction	---		47	Act. Push To Flow	---										
37		Body-Bonnet Material	A 216-WCC		48	Leak. SCCM Test Sp.	---										
38		Packing Material	TFE		49	Class No.	IV										
39		Plug/Seat Material	(316/ALLOY6) / (ALLOY6)		50	Shaft Size Material	---										
40		Trim Material	SS		51	Flow Coef.	75 (Cv)										
41		Disc Material	---		52	Bearing Type	---										
A C T U A T O R		53	Actuator Type	DIAPHRAGM		70	Positioner Type	PNEUMATIC									
	54	Model No.	16 SPRING DIAPHRAGM		71	Positioner Supply	---										
	55	Actuator Size	16		72	Positioner Input	0.2-1.0 kg/cm²										
	56	On Decr. Air Stem	---		73	Positioner Output	---										
	57	Max. Thrust B. Away	---		74	Positioner Action	DIRECT										
	58	Max. Thrust Opr.	---		75	Pos ByPass Gauges	(*1) YES										
	59	Max. Thrust Supply	---		76	Airset-Mntd. & Tube	YES										
	60	Spring Range Nom.	---		77	Model No.	4610B										
	61	Air Supply	---		78	Manufacturer	MASONEILAN										
	62	Bench Set	---		79	I/P Tag no.	H4-LY-17B										
	63	Input Signal	1.5-3.2 kg/cm²		80	Solenoid Type/Nema	---										
	64	Input Maximum	---		81	Energized	---										
	65	Ovride. Type & Mnt.	NO		82	Solenoid Mfg./Model	---										
	66	Closing Time (Min.)	---		83	Solenoid Tag	---										
	67	Adj. Travel Stop	---		84	LS Type/Nema	---										
	68	Fail-Safe Action	OPEN		85	LS Mfg./Model	---										
	69				86	LS Tag	---										
	Notes : *1. Vendor To Advise 2. Act. Lmt Dp : 18 kg/cm²																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Instrument Type</th> <th>Tag No.</th> <th>Manufacturer</th> <th>Model Number</th> <th>S/N</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>---</td> <td>H4-LV-0017B</td> <td>MASONEILAN</td> <td>87-21211</td> <td>---</td> </tr> </tbody> </table>								Instrument Type	Tag No.	Manufacturer	Model Number	S/N	---	H4-LV-0017B	MASONEILAN	87-21211	---
Instrument Type	Tag No.	Manufacturer	Model Number	S/N													
---	H4-LV-0017B	MASONEILAN	87-21211	---													

LAMPIRAN D-1 **SIMULINK MATLAB GENERAL**

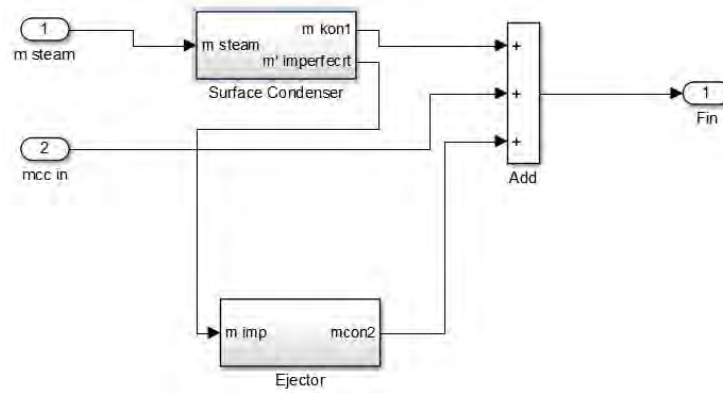


LAMPIRAN D-2

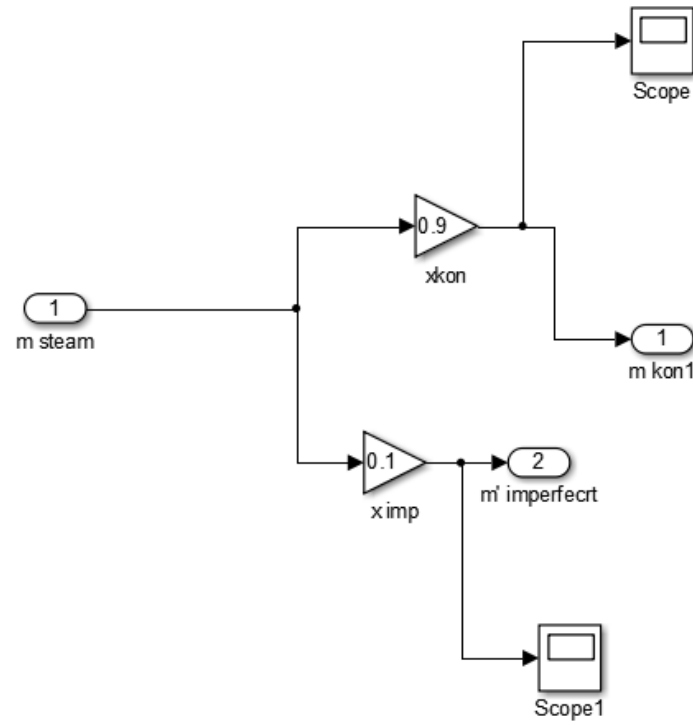
SIMULINK MATLAB PLANT



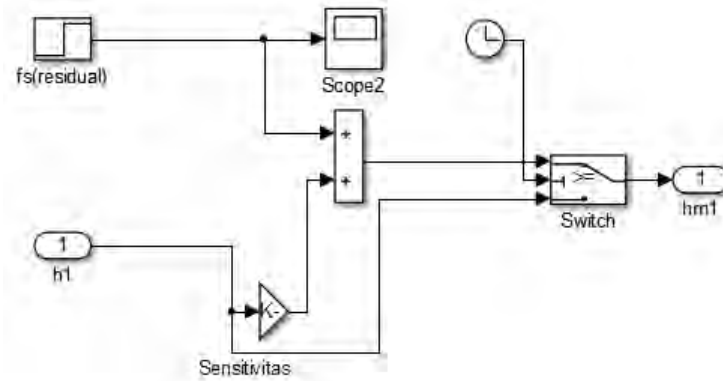
LAMPIRAN D-3
SIMULINK MATLAB FLOWRATE YANG MASUK



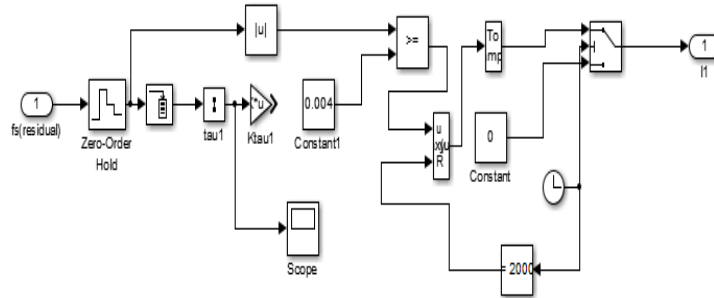
LAMPIRAN D-4
SIMULINK MATLAB PEMBENTUKAN FRAKSI
KONDENSAT



LAMPIRAN D-5
SIMULINK MATLAB BLOK PEMBERIAN KESALAHAN
BERUPA BIAS DAN SENSITIVITAS



LAMPIRAN D-6
SIMULINK MATLAB BLOK FAULT DETECTION
IDENTIFICATION (FDI)



LAMPIRAN E
PERHITUNGAN STANDARD DEVIASI KEADAAN
OPERASI DI TANGKI STEAM KONDENSAT DARI BULAN
1 JANUARI – 7 JULI 2013 DI PT BADAK BONTANG NGL
KALIMANTAN TIMUR

	Jam	Level(%)	Level (cm)	(X-Xbar) ²
1	2013-01-01 14:00:00	0,556952059	0,4309748	1283,983406
2	2013-01-02 13:00:00	2,939599752	2,2746903	1155,252033
3	2013-01-03 12:00:00	3,130906582	2	1174,000384
4	2013-01-04 11:00:00	2,849164009	2,2047102	1160,014034
5	2013-01-05 10:00:00	2,592731953	2,0062807	1173,570025
6	2013-01-06 09:00:00	5,238515854	4,0536135	1037,488966
7	2013-01-07 08:00:00	3,686161995	2,8523873	1116,315084
8	2013-01-08 07:00:00	2,568214417	1,9873088	1174,870241
9	2013-01-09 06:00:00	2,746197701	2,1250339	1165,447769
10	2013-01-10 05:00:00	2,47350359	1,9140206	1179,899716
11	2013-01-11 04:00:00	42,75567627	33,084749	10,10565635
12	2013-01-12 03:00:00	43,02937698	33,296542	8,803962992
13	2013-01-13 02:00:00	46,01819611	35,609318	0,428200856
14	2013-01-14 01:00:00	45,84507751	35,475358	0,621466388
15	2013-01-15 00:00:00	44,80821228	34,673021	2,530223375
16	2013-01-15 23:00:00	45,39572525	35,127645	1,290597007
17	2013-01-16 22:00:00	45,57549286	35,26675	0,99388651
18	2013-01-17 21:00:00	44,37643814	34,33891	3,704772386

19	2013-01-18 20:00:00	44,57665253	34,493838	3,132371608
20	2013-01-19 19:00:00	45,20514297	34,98017	1,647420603
21	2013-01-20 18:00:00	44,17463303	34,182752	4,330299834
22	2013-01-21 17:00:00	47,30381775	36,604145	0,115910078
23	2013-01-22 16:00:00	44,70671082	34,594479	2,78626332
24	2013-01-23 15:00:00	44,03378296	34,073761	4,795786276
25	2013-01-24 14:00:00	45,17970276	34,960484	1,698342536
26	2013-01-25 13:00:00	44,89890671	34,743202	2,311881861
27	2013-01-26 12:00:00	43,78242493	33,879257	5,68551411
28	2013-01-27 11:00:00	43,26030731	33,475238	7,775460063
29	2013-01-28 10:00:00	43,6556015	33,78112	6,163147776
30	2013-01-29 09:00:00	46,52297592	35,999922	0,06957311
31	2013-01-30 08:00:00	43,52693176	33,681554	6,667419377
32	2013-01-31 07:00:00	42,86371231	33,168349	9,581130851
33	2013-02-01 06:00:00	44,02028275	34,063314	4,841649992
34	2013-02-02 05:00:00	42,39872742	32,808539	11,93806099
35	2013-02-03 04:00:00	46,05846024	35,640475	0,388395457
36	2013-02-04 03:00:00	49,02272415	37,934251	2,790776849
37	2013-02-05 02:00:00	49,61690903	38,394037	4,538381544
38	2013-02-06 01:00:00	50,70750046	39,237947	8,846209387
39	2013-02-07 00:00:00	52,78594208	40,846265	21,00000012
40	2013-02-07 23:00:00	51,15843964	39,586888	11,04365039
41	2013-02-08 22:00:00	50,14955521	38,806203	6,464379668

42	2013-02-09 21:00:00	48,52967072	37,552721	1,661604507
43	2013-02-10 20:00:00	49,0500946	37,95543	2,861988807
44	2013-02-11 19:00:00	48,76541901	37,735146	2,165184715
45	2013-02-12 18:00:00	48,2390976	37,327873	1,132487892
46	2013-02-13 17:00:00	49,22694016	38,092275	3,343727215
47	2013-02-14 16:00:00	48,65402985	37,648952	1,918952669
48	2013-02-15 15:00:00	49,40444183	38,229628	3,864914634
49	2013-02-16 14:00:00	46,76903915	36,190328	0,005381848
50	2013-02-17 13:00:00	47,52477264	36,775122	0,2615634
51	2013-02-18 12:00:00	47,61063004	36,841559	0,333933691
52	2013-02-19 11:00:00	49,21903229	38,086156	3,321385753
53	2013-02-20 10:00:00	39,32820892	30,432543	34,00226806
54	2013-02-21 09:00:00	39,80483627	30,801361	29,83702274
55	2013-02-22 08:00:00	37,20680237	28,790978	55,84140928
56	2013-02-23 07:00:00	48,38132858	37,437933	1,378848588
57	2013-02-24 06:00:00	45,58060455	35,270706	0,986015419
58	2013-02-25 05:00:00	46,04686737	35,631505	0,39965722
59	2013-02-26 04:00:00	45,35310364	35,094664	1,36662054
60	2013-02-27 03:00:00	45,95439148	35,559946	0,495254502
61	2013-02-28 02:00:00	43,75314331	33,856599	5,794082292
62	2013-03-01 01:00:00	44,04715729	34,08411	4,750565443
63	2013-03-02 00:00:00	44,20478821	34,206086	4,23372962
64	2013-03-02 23:00:00	43,48844147	33,65177	6,822119882

65	2013-03-03 22:00:00	47,17295074	36,502879	0,057211644
66	2013-03-04 21:00:00	44,0279808	34,069271	4,81547095
67	2013-03-05 20:00:00	43,30323029	33,508452	7,591330863
68	2013-03-06 19:00:00	24,77239418	19,169115	292,2244757
69	2013-03-07 18:00:00	43,52642059	33,681159	6,669462249
70	2013-03-08 17:00:00	58,81816483	45,514056	85,56929185
71	2013-03-09 16:00:00	58,70018005	45,422758	83,8885519
72	2013-03-10 15:00:00	57,42731476	44,437803	66,81614118
73	2013-03-11 14:00:00	54,74808502	42,36459	37,22098819
74	2013-03-12 13:00:00	51,75990295	40,052306	14,35361773
75	2013-03-13 12:00:00	51,86623383	40,134586	14,98384129
76	2013-03-14 11:00:00	49,42674255	38,246884	3,933062898
77	2013-03-15 10:00:00	51,7456665	40,04129	14,270266
78	2013-03-16 09:00:00	49,25002289	38,110137	3,409369343
79	2013-03-17 08:00:00	47,1751976	36,504617	0,058046396
80	2013-03-18 07:00:00	42,7299614	33,064851	10,23256401
81	2013-03-19 06:00:00	43,8523407	33,933359	5,430438476
82	2013-03-20 05:00:00	44,42163086	34,373881	3,571374175
83	2013-03-21 04:00:00	45,22138596	34,992739	1,615313554
84	2013-03-22 03:00:00	38,32536316	29,656531	43,65453656
85	2013-03-23 02:00:00	-2,68724966	-2,079419	1470,19396
86	2013-03-24 01:00:00	47,39151382	36,672005	0,166721752
87	2013-03-25 00:00:00	50,49008179	39,069706	7,873732243

88	2013-03-25 23:00:00	50,12116241	38,784233	6,353141176
89	2013-03-26 22:00:00	49,58293915	38,367751	4,427074947
90	2013-03-27 21:00:00	34,45479202	26,661446	92,20306655
91	2013-03-28 20:00:00	35,1792984	27,222076	81,75076296
92	2013-03-29 19:00:00	34,99606323	27,080287	84,33487175
93	2013-03-30 18:00:00	34,71716309	26,864471	88,34529074
94	2013-03-31 17:00:00	34,77229309	26,907132	87,54516707
95	2013-04-01 16:00:00	34,83827972	26,958193	86,59226235
96	2013-04-02 15:00:00	35,01452255	27,094571	84,07272439
97	2013-04-03 14:00:00	34,427845	26,640594	92,60395063
98	2013-04-04 13:00:00	35,34751892	27,352247	79,41380228
99	2013-04-05 12:00:00	34,91344452	27,016356	85,51316979
100	2013-04-06 11:00:00	34,84373856	26,962417	86,51366557
101	2013-04-07 10:00:00	35,1530304	27,20175	82,1187436
102	2013-04-08 09:00:00	35,45161438	27,432797	77,98465623
103	2013-04-09 08:00:00	34,81811523	26,942589	86,88290196
104	2013-04-10 07:00:00	34,54049683	26,727765	90,93383879
105	2013-04-11 06:00:00	35,10687637	27,166035	82,76730296
106	2013-04-12 05:00:00	50,54684448	39,11363	8,122161787
107	2013-04-13 04:00:00	50,76330566	39,281129	9,104946493
108	2013-04-14 03:00:00	50,08197021	38,753906	6,201178357
109	2013-04-15 02:00:00	44,90609741	34,748766	2,294992122
110	2013-04-16 01:00:00	29,39718246	22,74782	182,6787211

111	2013-04-17 00:00:00	59,24550247	45,844734	91,79642445
112	2013-04-17 23:00:00	60,18296814	46,570154	106,2232192
113	2013-04-18 22:00:00	59,47568893	46,022855	95,24131198
114	2013-04-19 21:00:00	59,97852325	46,411953	102,9872525
115	2013-04-20 20:00:00	60,06588745	46,479556	104,3639339
116	2013-04-21 19:00:00	59,88729858	46,341362	101,5594932
117	2013-04-22 18:00:00	60,99077606	47,195243	119,4988813
118	2013-04-23 17:00:00	59,16744995	45,784336	90,64272456
119	2013-04-24 16:00:00	60,45563507	46,781146	110,6169058
120	2013-04-25 15:00:00	60,32020569	46,67635	108,4235017
121	2013-04-26 14:00:00	59,15452576	45,774335	90,45239517
122	2013-04-27 13:00:00	60,21077728	46,591673	106,6672515
123	2013-04-28 12:00:00	60,61161804	46,901847	113,170412
124	2013-04-29 11:00:00	60,39376831	46,733273	109,6121913
125	2013-04-30 10:00:00	60,09837341	46,504694	104,8781776
126	2013-05-01 09:00:00	59,71927643	46,211345	98,95585711
127	2013-05-02 08:00:00	60,36700439	46,712563	109,1789664
128	2013-05-03 07:00:00	59,86024475	46,320427	101,1379891
129	2013-05-04 06:00:00	60,23669434	46,611728	107,0819063
130	2013-05-05 05:00:00	60,24211502	46,615922	107,1687352
131	2013-05-06 04:00:00	60,0834465	46,493143	104,6417318
132	2013-05-07 03:00:00	59,16008759	45,778639	90,53427746
133	2013-05-08 02:00:00	60,33306122	46,686297	108,6307654

134	2013-05-09 01:00:00	60,2851181	46,649199	107,8588083
135	2013-05-10 00:00:00	60,37423325	46,718157	109,2958945
136	2013-05-10 23:00:00	60,19685364	46,580899	106,444815
137	2013-05-11 22:00:00	60,42240906	46,755436	110,0767464
138	2013-05-12 21:00:00	59,02975464	45,677786	88,62522858
139	2013-05-13 20:00:00	59,27161789	45,864942	92,18406722
140	2013-05-14 19:00:00	59,36013794	45,93344	93,50408589
141	2013-05-15 18:00:00	60,53506088	46,842607	111,9134984
142	2013-05-16 17:00:00	59,76226425	46,244609	99,61876898
143	2013-05-17 16:00:00	60,17179871	46,561511	106,0451361
144	2013-05-18 15:00:00	59,87765884	46,333903	101,4092036
145	2013-05-19 14:00:00	59,81503677	46,285445	100,4355959
146	2013-05-20 13:00:00	59,35707092	45,931067	93,45819334
147	2013-05-21 12:00:00	59,31871033	45,901383	92,88514556
148	2013-05-22 11:00:00	60,62882233	46,91516	113,4538374
149	2013-05-23 10:00:00	60,22295761	46,601098	106,8620281
150	2013-05-24 09:00:00	60,27839279	46,643994	107,7507408
151	2013-05-25 08:00:00	59,57747269	46,101616	96,78480322
152	2013-05-26 07:00:00	59,94897461	46,389087	102,5236948
153	2013-05-27 06:00:00	60,67543411	46,951229	114,2235066
154	2013-05-28 05:00:00	60,92254257	47,142444	118,347303
155	2013-05-29 04:00:00	60,23085022	46,607206	106,9883342
156	2013-05-30 03:00:00	60,61933899	46,907822	113,297564

157	2013-05-31 02:00:00	59,71153259	46,205353	98,83667526
158	2013-06-01 01:00:00	60,86296082	47,096339	117,3463002
159	2013-06-02 00:00:00	59,81028748	46,28177	100,3619484
160	2013-06-02 23:00:00	61,43076324	47,53571	127,0584497
161	2013-06-03 22:00:00	60,33602142	46,688588	108,6785194
162	2013-06-04 21:00:00	-0,597784281	-0,462571	1348,818186
163	2013-06-05 20:00:00	50,96455002	39,436854	10,06897729
164	2013-06-06 19:00:00	49,28166962	38,134625	3,500402651
165	2013-06-07 18:00:00	50,27144241	38,900521	6,952882573
166	2013-06-08 17:00:00	50,60595703	39,159372	8,384977239
167	2013-06-09 16:00:00	49,19387817	38,066691	3,25081783
168	2013-06-10 15:00:00	49,9742775	38,670572	5,793085183
169	2013-06-11 14:00:00	50,43508148	39,027146	7,636696744
170	2013-06-12 13:00:00	48,92074585	37,855339	2,533349898
171	2013-06-13 12:00:00	50,16694641	38,819661	6,532992446
172	2013-06-14 11:00:00	49,34410858	38,182941	3,683528888
173	2013-06-15 10:00:00	49,16806412	38,046716	3,179186303
174	2013-06-16 09:00:00	49,40646362	38,231192	3,871068425
175	2013-06-17 08:00:00	50,29715347	38,920416	7,058200385
176	2013-06-18 07:00:00	49,67259979	38,437131	4,723849243
177	2013-06-19 06:00:00	49,96066284	38,660037	5,742482431
178	2013-06-20 05:00:00	49,23609543	38,09936	3,369686414
179	2013-06-21 04:00:00	50,35417938	38,964544	7,294615432

180	2013-06-22 03:00:00	50,47090912	39,05487	7,790692246
181	2013-06-23 02:00:00	49,57217026	38,359417	4,392077803
182	2013-06-24 01:00:00	49,5463562	38,339442	4,308751776
183	2013-06-25 00:00:00	49,94112015	38,644914	5,670234428
184	2013-06-25 23:00:00	50,0583725	38,735645	6,110568393
185	2013-06-26 22:00:00	50,34817886	38,9599	7,269555459
186	2013-06-27 21:00:00	49,88361359	38,600415	5,460289707
187	2013-06-28 20:00:00	49,55097961	38,34302	4,323617176
188	2013-06-29 19:00:00	49,79080582	38,5286	5,129820677
189	2013-06-30 18:00:00	49,17671585	38,053411	3,203105123
190	2013-07-01 17:00:00	49,52833557	38,325498	4,251055397
191	2013-07-02 16:00:00	49,78594208	38,524836	5,112786372
192	2013-07-03 15:00:00	49,70611572	38,463066	4,837258055
193	2013-07-04 14:00:00	49,15570831	38,037155	3,145182529
194	2013-07-05 13:00:00	50,13192368	38,79256	6,395188493
195	2013-07-06 12:00:00	49,07482147	37,974564	2,927094084
196	2013-07-07 11:00:00	50,42765808	39,021402	7,604981494

- $S = \sqrt{\sum \frac{(x-\bar{x})^2}{n-1}}$
- $\bar{x} = 46.4780$

$$S = 0.00412$$

BIODATA PENULIS



Penulis lahir di kota Bontang, Kalimantan Timur pada 22 Nopember 1991 dengan nama Rhadityo Shakti Budiman sebagai anak kedua dari dua bersaudara dari Ayahanda Muchid dan Ibunda Lies Wahyuningsih. Riwayat pendidikan penulis adalah SD YPVDP Bontang tahun (1998 – 2004), SMPN 39 Surabaya tahun (2004 – 2007), SMAN 16 Surabaya tahun (2007 – 2010). Penulis diterima sebagai mahasiswa S1 Teknik Fisika ITS pada tahun 2010 hingga saat ini dan mengambil bidang minat rekayasa instrumentasi dan kontrol. Untuk menghubungi penulis, dapat melalui email dan no telepon : srhadityo@yahoo.com atau didid.jeleg.banget@gmail.com +62 856 4535 6300 atau +62 813 3058 1790

“Terus belajar menggapai cita-cita, bahagiakan kedua orangtua serta keluarga yang dicinta dan jangan lupa berdoa kepada Allah SWT untuk sukses kita semua”