

#### TUGAS AKHIR - TF 141581

# MONITORING KEANDALAN REAL-TIME PADASISTEM PENGENDALIAN LEVEL SEPARATOR BERDASARKAN ESTIMASI KESALAHAN

ANNISA MARLIANA FITRIA NRP. 02311440000003

Dosen Pembimbing:

Ir. Ya'umar, M.T.

Dr. Katherin Indriawati, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA

Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2018



#### FINAL PROJECT - TF 141581

# REAL-TIME REALIBILITY MONITORING FOR SEPARATOR LEVEL CONTROL SYSTEMS BASED ON FAULT ESTIMATION

ANNISA MARLIANA FITRIA NRP. 02311440000003

## Supervisor:

Ir. Ya'umar, M.T. Dr. Katherin Indriawati, S.T., M.T.

# ENGINEERING PHYSICS DEPARTMENT

Faculty of Industrial Technology Sepuluh Nopember Institute of Technology Surabaya 2018

## PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Annisa Marliana Fitria

NRP : 023114410000003

Departemen/Prodi : Teknik Fisika/S1 Teknik Fisika
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri

Perguruan Tinggi : Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul "Monitoring Keandalan Real-Time Pada Sistem Pengendalian Level Separator Berdasarkan Estimasi Kesalahan" adalah benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari karya orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat pada Tugas Akhir ini maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 20 Juli 2018 Yang membuat pernyataan,

Annisa Marliana Fitria NRP. 02311440000003

## LEMBAR PENGESAHAN I TUGAS AKHIR

# MONITORING KEANDALAN REAL-TIME PADA SISTEM PENGENDALIAN LEVEL SEPARATOR BERDASARKAN ESTIMASI KESALAHAN

Oleh:

Annisa Marliana Fitria NRP.02311440000003

Surabaya, 25 Juli 2018

Menyetujui,

Pembimbing I,

Pembimbing II,

<u>Ir. Ya'umar, M.T.</u> NIP.19540406 198103 1 003 <u>Dr. Katherin Indriawati, S.T., M.T.</u> NIPN. 19760523200012 2 001

Mengetahui,

Mengetahui, Kepala Departemen Cogi SEPDERAL Fisika FTI-ITS

Agus Muhamad Matta, S.T., M.Si., Ph.D.

# MONITORING KEANDALAN *REAL-TIME* PADA SISTEM PENGENDALIAN *LEVEL* SEPARATOR BERDASARKAN ESTIMASI KESALAHAN

## TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik pada

Bidang Studi Rekayasa Instrumentasi Progam Studi S-1 Departemen Teknik Fisika Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember

## Oleh:

# ANNISA MARLIANA FITRIA NRP.02311440000003

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Ir. Ya'umar,M.T.

2. Dr. Katherin Indriawati, S.T., M.T.

3. Dr. Suyanto,S.T.,M.T.

4. Dr. Bambang L. Widjiantoro,S.T.,M.T.

(Pembimbing II)

(Ketua Penguji I)

5. Ir. Zulkifli, MSc

SURABAYA Juli, 2018

## MONITORING KEANDALAN REAL-TIME PADA SISTEM PENGENDALIAN LEVEL SEPARATOR BERDASARKAN ESTIMASI KESALAHAN

Nama : Annisa Marliana Fitria

NRP : 02311440000003

Departemen : Teknik Fisika FTI-ITS

Dosen Pembimbing I: Ir. Ya'umar, M.T.

Dosen Pembimbing II: Dr. Katherin Indriawati, S.T., M.T.

#### **ABSTRAK**

Kegagalan pada separator dapat menimbulkan permasalahan dan mengakibatkan sistem tidak bekerja secara optimal sehingga performansi sistem kurang baik. Salah satu hal mempengaruhi kinerja dari separator adalah level untuk menjaga kemurnian fluida. Nilai keandalan merupakan salah satu parameter untuk mengindikasi performa dari separator.Pada makalah ini dilakukan monitoring keandalan real-time pada sistem pengendalian level separator. Langkah pertama yang dilakukan adalah studi mengenai sistem pengendalian level. Langkah kedua adalah dilakukan pemodelan separator. Langkah ketiga melakukan perancangan observer. Langkah keempat yaitu melakukan monitoring keandalan. Untuk mengetahui uji dari observer dilakukan uji observer dengan memberikan kesalahan berupa uji sinyal ramp. Berdasarkan uji observer yang telah dilakukan didapatkan estimasi state level yang benar pada detik ke-350. Setelah uji observer, maka dilakukan uji monitoring keandalan secara *real-time*. Berdasarkan hasil uji monitoring keandalan realtime yang telah dilakukan,didapatkan bahwa pada kesalahan sensitivitas sensor sebesar 7,8%; 6,1%; 5,2%; 4,3% dan 3,3%, masing-masing nilai keandalan mulai mengalami penurunan pada detik ke-392; 394; 394; 396 dan 396. Ini berarti semakin besar nilai kesalahan maka waktu terjadinya kesalahan akan semakin cepat.

kata kunci: separator, sensor, keandalan real-time

## REAL-TIME REALIBILITY MONITORING FOR SEPARATOR LEVEL CONTROL SYSTEMS BASED ON FAULT ESTIMATION

Name : Annisa Marliana Fitria

NRP : 02311440000003

Departement : Teknik Fisika FTI-ITS
Supervisors I : Ir. Ya'umar, M.T.

Supervisors II : Dr. Katherin Indriawati, S.T., M.T.

#### **ABSTRACT**

Failure on the separator can cause problems and cause the system does not work optimally so that the system performance is not good. One of the things that affect the performance of the separator is the level to maintain the purity of the fluid. Reliability value is one of the parameters to indicate the performance of the separator. In this paper, real-time reliability monitoring on the separator level control system is performed. The first step is to study the level control system. The second step is to do separator modeling. The third step is to design the observer. The fourth step is to monitor reliability. To know the test of the observer is done by observer test by giving error in the form of ramp signal test. Based on observer test that has been done got the correct state level estimation at 350 secon. After the observer test, the real-time reliability test is performed. Based on realtime reliability test result which has been done, it is found that on sensitivity error of sensor is 7,8%; 6.1%; 5.2%; 4.3% and 3.3%, respectively, reliability values began to decline at 392 seconds; 394; 394; 396 and 396. This means that the greater the value of error then the time of the error will be faster.

keywords: separator, sensor, real-time reliability

#### KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang senantiasa melimpahkan rahmat serta hidayah-Nya, serta shalawat serta salam kepada Nabi Muhammad SAW, hingga terselesaikannya tugas akhir beserta laporan yang berjudul.

## MONITORING KEANDALAN REAL-TIME PADA SISTEM PENGENDALIAN LEVEL SEPARATOR BERDASARKAN ESTIMASI KESALAHAN

Penulis telah banyak memperoleh bantuan dari berbagai pihak dalam penyelesaian tugas akhir dan laporan Tugas Akhir ini.Penulis mengucapkan terimakasih kepada:

- 1. Bapak Agus Muhamad Hatta, S.T.,M.Si., Ph.D. selaku ketua departemen teknik fisika yang telah memberikan petunjuk, ilmu, serta bimbingan selama menempuh pendidikan di teknik fisika.
- 2. Ir. Ya'umar, M.T.selaku dosen pembimbing yang telah memberikan ilmu, nasihat serta bimbingan yang sangat bermanfaat.
- 3. Ibu Dr. Katherin Indriawati, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang juga telah dengan sabar memberikan petunjuk, ilmu serta bimbingan yang sangat bermanfaat.
- 4. Bapak Prof. Sekartedjo. Selaku dosen wali yang telah membimbing penulis selama perkuliahan.
- Kedua orang tua. Terimakasih atas segala cinta, kasih sayang, doa, perhatian serta dukungan moril dan materiil yang telah diberikan.
- 6. Sarwenda Kusuma Wardhani teman seperjuangan yang selalu bersama mengerjakan tugas akhir ini, terimakasih atas dukungan dan kerja samanya.

- 7. Seluruh teman-teman Departemen Teknik Fisika angkatan 2014, terima kasih untuk semuanya.
- 8. Seluruh dosen karyawan dan civitas akademik Teknik Fisika, terimakasih atas segala bantuan dan kerjasamanya.
- 9. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, terimakasih atas bantuannya.

Penulis sadar bahwa penulisan laporan tugas akhir ini tidak sempurna, namun semoga laporan ini dapat memberikan kontribusi berarti dan menambah wawasan yang bermanfaat bagi pembaca, keluarga besar Teknik Fisika khususnya, dan civitas akademik ITS pada umumnya. Semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat sebagai referensi pengerjaan laporan tugas akhir bagi mahasiswa yang lain.

Surabaya, 20 Juli 2018

Penulis

## **DAFTAR ISI**

HALAM	AN JUDUL	i
PERNY	ATAAN BEBAS PLAGIARISME	v
LEMBA	R PENGESAHAN I	vii
ABSTRA	AK	xi
ABSTRA	CT	xiii
KATA P	ENGANTAR	XV
DAFTAI	R ISI	xvii
DAFTAI	R GAMBAR	xix
DAFTAI	R TABEL	xxi
BAB I P	ENDAHULUAN	1
1.1.	Latar Belakang	1
1.2.	Rumusan Masalah	3
1.3.	Tujuan	3
1.4.	Batasan Masalah	3
BAB II T	TEORI PENUNJANG	5
2.1.	Separator	5
2.2.	Pengendalian Level pada Separator	6
2.3.	Persamaan Dinamik Separator	8
2.4.	Sistem Kendali PI	9
2.5.	Level Transmitter	12
2.6.	Control Valve	14
2.7.	Observer	15

2.8.	Keandalan	17
2.9.	Keandalan Real-Time	18
BAB III	METODOLOGI PENELITIAN	21
3.1.	Studi Literatur	22
3.2.	Data Pemodelan Plant	23
3.3.	Pemodelan Matematis Sistem	23
3.3	.1. Pemodelan Matematis Separator	23
3.3	.2. Pemodelan Matematis Aktuator	24
3.3	.3. Pemodelan Matematis Level Transmiter	26
3.3	.4. Pemodelan State Space	27
3.4.	Perancangan Sistem Kendali PI	28
3.5.	Perancangan Observer	30
3.6.	Validasi Observer	35
3.7.	Perancangan Algoritma Monitoring Keandalan	35
BAB IV	ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN	39
4.1.	Pengujian Kesalahan Sensor	39
4.2.	Pengujian Prediksi Keandalan	42
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	49
5.1.	Kesimpulan	49
5.2.	Saran	49
DAFTA	R PUSTAKA	51
Lampiran		55
BIODATA PENULIS		61

## **DAFTAR GAMBAR**

Gambar 2. 1 Separator 2 Fasa Pemisah Liquid dan Gas5
Gambar 2. 2 Diagram Blok Pengendalian Level Separator6
Gambar 2. 3 Instrument Control Separator
Gambar 2. 4 Diagram Blok Sistem Pengendalian Tertutup10
Gambar 2. 5 Diagram Blok Pengendalian PI10
Gambar 2. 6 LDT ( Differential Presure Transmitter)13
Gambar 2. 7 ATC dan ATO Control Valve14
Gambar 2. 8 Observer (ogata, 1987)16
Gambar 2. 9 Kestabilan pole placement sistem diskrit (M. Chen,
2016)
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian Tugas Akhir22
Gambar 3. 2 Diagram Blok Sistem Pengendalian28
Gambar 3. 3 Hasil Respon Plant29
Gambar 3. 4 Diagram blok sistem pengendalian yang telah terin-
tegrasi dengan observer35
Gambar 3. 5 Hasil estimasi state level dari observe dibandingkan
dengan respon dari plant36
Gambar 3. 6 Diagram blok sistem monitoring keandalan real-
<i>time</i>
Gambar 4. 1 Respon pengendalian level dengan kesalahan
sensitivitas sensor 7,8%39
Gambar 4. 2 Respon pengendalian level dengan kesalahan
sensitivitas sensor 6,1%40
Gambar 4. 3 Respon pengendalian level dengan kesalahan
sensitivitas sensor 5,2%40
Gambar 4. 4 Respon pengendalian level dengan kesalahan
sensitivitas sensor 4,3%41
Gambar 4. 5 Respon pengendalian level dengan kesalahan
sensitivitas sensor 3,3%41

Gambar 4. 6	Hasil uji monitoring keandalan dengan	kesalahan
sensitivitas se	nsor 7,8%	42
Gambar 4. 7	Hasil uji monitoring keandalan dengan	kesalahan
sensitivitas se	nsor 6,1%	43
Gambar 4. 8	Hasil uji monitoring keandalan dengan	kesalahan
sensitivitas se	nsor 5,2%	44
Gambar 4. 9	Hasil uji monitoring keandalan dengan	kesalahan
sensitivitas se	nsor 4,3%	45
Gambar 4. 10	Hasil uji monitoring keandalan dengan	kesalahan
sensitivitas se	nsor 3,3%	46

## **DAFTAR TABEL**

Tabel 3. 1 Data Spesifikasi Separator	23
Tabel 3. 2 Parameter tunning Ziegler-Nichols	29
Tabel 4.1 Hasil uji monitoring keandalan dengan	kesalahan
sensitivitas sensor 7,8%	43
Tabel 4.2 Hasil uji monitoring keandalan dengan	kesalahan
sensitivitas sensor 6,1%	44
Tabel 4.3 Hasil uji monitoring keandalan dengan	kesalahan
sensitivitas sensor 5,2%	45
Tabel 4.4 Hasil uji monitoring keandalan dengan	kesalahan
sensitivitas sensor 4,3%	46
Tabel 4.5 Hasil uji monitoring keandalan dengan	kesalahan
sensitivitas sensor 3,3%	47
Tabel 4. 6 Besar nilai kesalahan sensitivitas sensor dil	bandingkan
waktu terjadinya kesalahan	47

## BAB I PENDAHULUAN

## 1.1. Latar Belakang

Separator merupakan suatu tabung bertekanan tinggi yang digunakan untuk memisahkan fluida produksi ke dalam fasa liquid dan fasa gas. Prinsip kerja dari separator yaitu dengan gaya pemisahan fluida berdasarkan massa jenis, dimana fluida dengan massa jenis lebih berat akan berada dibagian bawah sedangkan fluida dengan massa jenis lebih ringan akan berada pada bagian atas. Separator memiliki peranan penting dalam industri pengolahan, karena dalam suatu proses kimia dibutuhkan alat yang dapat memisahkan dan memurnikan fluida. (Rubiandani, 2001)

Salah satu hal yang mempengaruhi kinerja dari separator adalah *level* untuk menjaga kemurnian fluida. Untuk itu pengendalian *level* pada separator dilakukan untuk menjaga ketinggian *level* liquid tetap berada pada daerah yang diinginkan. Jika *level* liquid pada separator memiliki ketinggian yang melebihi batas ketinggian yang ditetapkan maka liquid akan tercampur dengan gas, tetapi pada saat liquid berada di *level* terendah maka gas akan tercampur dengan liquid.

Terjadinya kegagalan pada sistem separator dapat menimbulkan permasalahan dan mengakibatkan sistem tidak bekerja secara optimal sehingga performansi sistem kurang baik. Salah satu permasalahan yang terjadi yaitu kegagalan sistem pada separator disebabkan oleh adanya gangguan berupa kesalahan pada sistem pengendalian *level*. Untuk itu perlu dilakukan perhitungan keandalan pada performansi sistem.

Perhitungan keandalan dari sistem ditentukan sebagai satu kesatuan ketika sistem itu dibuat. Namun keandalan dari sistem dapat mengalami penurunan selama pengoperasioan karena adanya degradasi komponen dan pengaruh dari luar sistem. Semakin besar peluang sistem mengalami kegagalan maka semakin rendah keandalan sistem tersebut. Keandalan dari suatu

sistem terkait erat dengan *lifetime* sistem. Evaluasi dan prediksi keandalan *real-time* adalah jembatan yang menghubungkan kendalan dengan diagnosa *lifetime* sistem. Penelitian mengenai prediksi keandalan secara *real-time* ini telah berkembang sejak awal 1990an. (Zhengguo Xu, 2009)

Berdasarkan pada penelitian sebelumnya (Zhengguo Xu, diperkenalkan sebuah metode telah baru memonitoring keandalan *real-time* untuk sistem dinamik vang didasarkan pada algorithma prediksi kesalahan On-line. Faktor dapat mengurangi keandalan pada sebuah sistem dimodelkan sebagai sebuah masukkan kesalahan tambahan pada sistem, dan kesalahan diasumsikan dengan waktu linear. Kesalahan terhadap waktu terlebih dahulu diestimasikan berdasarkan pada modifikasi particle filtering algorithm. Kemudian, sebagai sebuah time-series, urutan estimasi kesalahan diatur dan diprediksi oleh metode exponential smoothing. Analisis matematika menunjukkan bahwa efek pada sistem dan gangguan pengukuran pada estimasi kesalahan dapat berkurang secara signifikan oleh exponential smoothing, yang mana mengindikasikan bahwa perbandingan akurasi tinggi pada estimasi kesalahan dan prediksi dapat dijamin. Berdasarkan pada particle filtering dan hasil prediksi kesalahan, keseluruhan prediksi keandalan sistem dihitung melalui strategi simulasi Monte Carlo.

Algoritma monitoring keandalan *real-time* dapat dinyatakan dalam sebuah *observer*. Sebelumnya (Walijah, 2017) telah dilakukan penelitian mengenai penggunaan observer pada perancangan Fault Tolerant Control untuk mengakomodasi kesalahan pada sensor level dan aktuator pada pengendalian *level* separator.

Berdasarkan pada kedua penelitian sebelumnya, untuk itu pada kali ini dilakukan penelitian mengenai monitoring keandalan *real-time* pada sistem pengendalian *level* separator berdasarkan estimasi kesalahan dengan menggunakan *observer* untuk mengantisipasi terjadinya kegagalan pada sistem separator.

#### 1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan diatas, maka didapatkan permasalahan dalam tugas akhir ini, yaitu:

- Bagaimana merancang observer yang dapat digunakan untuk mendapatkan estimasi kesalahan pada sensor pada sistem pengendalian level separator?
- Bagaimana merancang monitoring keandalan *real-time* menggunakan hasil estimasi kesalahan?

### 1.3. Tujuan

Tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah merancang sistem monitoring keandalan *real-time* pada sistem pengendalian *level* separator berdasarkan estimasi kesalahan dengan menggunakan hasil estimasi kesalahan dari *observer*.

#### 1.4. Batasan Masalah

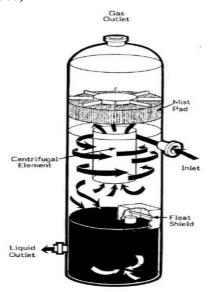
Adapun batasan masalah dalam penilitian ini antara lain:

- Fault pada pengendalian level separator terjadi pada sensor.
- Kesalahan yang ditinjau pada sensor berupa sensitivitas sensor.
- *Controller* yang terpasang pada separator berupa pengendalian PI.
- Pemodelan plant hanya meninjau pada kesetimbangan massa di separator.
- Keandalan yang dimaksud disini adalah keandalan secara *real-time* yang menghubungkan keandalan dengan diagnosa *life time* sistem.
- Sistem dikatakan gagal ketika tinggi *level* telah melebihi batas maksimum *level* separator yaitu 2,765 m.

## BAB II TEORI PENUNJANG

## 2.1. Separator

Separator adalah suatu tabung bertekanan tinggi yang digunakan untuk memisahkan fluida produksi kedalam fasa liquid dan fasa gas. Prinsip kerja dari separator yaitu fluida yang berasal dari manifold akan masuk ke separator melalui lubang *inlet* dan selanjutnya akan menabrak *inlet diverter*. Prinsip gaya centrifugal digunakan dalam proses pemisahannya, gaya centrifugal inilah yang nantinya mendorong fluida ke dinding, sehingga liquid yang memiliki massa jenis lebih berat tertumbuk dan jatuh kebawah sementara gas yang memiliki massa jenis lebih ringan akan keatas. (Wang, 2000)



**Gambar 2. 1** Separator 2 Fasa Pemisah Liquid dan Gas (Oktah, 2011)

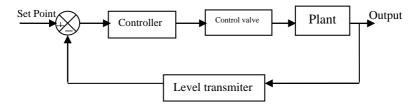
## 2.2. Pengendalian Level pada Separator

Prinsip kerja pengendalian *level* pada separator bergantung pada berat jenis fluida. Tujuan pengendalian *level* ini adalah untuk menjaga *level* fluida yang terdapat di dalam separator agar fluida yang tercampur dapat di pisahkan.

Adapun blok diagram proses pengendalian *level* pada separator dapat di lihat pada gambar 2.2. Proses pengendalian *level* pada separator, gas yang bercampur dengan liquid masuk ke dalam separator adalah indikator pertama yang memberikan *input* terhadap sistem pengendalian. Banyak atau sedikitnya fluida yang masuk ke dalam separator menyebabkan *level* fluida yang terdapat di dalam berubah. Gas dan liquid yang masuk ke dalam separator di pisahkan berdasarkan massa jenisnya. Liquid yang memiliki massa jenis yang lebih besar dibandingkan dengan gas menyebabkan liquid berada pada bagian paling bawah separator, sehingga gas berada pada bagian atas liquid.

Separator yang digunakan adalah separator 2 fasa, dimana separator ini digunakan untuk memisahkan dua jenis fluida yaitu fluida liquid dan fluida gas. Gas yang memiliki massa jenis yang lebih ringan dibandingkan dengan liquid menyebabkan gas masuk naik ke bagian atas separator , sedangkan liquid yang masuk akan langsung menuju *output* dari separator.

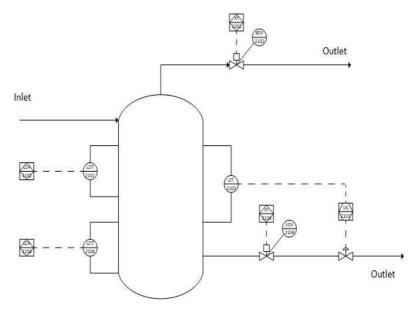
Instrument pengendali yang dipakai adalah Level Indicator Controller (LIC). Level Indicator Controller berfungsi sebagai media penunjukan level yang masuk ke dalam separator dan



Gambar 2. 2 Diagram Blok Pengendalian Level Separator

juga berfungsi sebagai pemberi sinyal ke *control valve* untuk melakukan *open* atau *close*. Pada pengendali, sinyal elektrik pada *Level Transmitter* (LT) atau yang biasa disebut juga dengan *process variable* dibandingkan dengan nilai *set point* yang sudah ditetapkan. Selisih antara *process variable* dengan nilai yang sudah ditetapkan atau *set point* disebut juga dengan *error. Error* inilah yang dijadikan sebagai *input* bagi *controller*. Sedangkan *output* yang dihasilkan dari *controller* disebut *manipulated value*. Gambar 2.3 dibawah ini adalah gambar blok pengendalian level separator.

Pengendalian level pada tangki separator dilakukan untuk menjaga level fluida tetap sesuai dengan nilai *set point*.Ketika *level* fluida yang dibaca lebih besar dari *set point* maka maka *control valve* akan membuka lebih besar untuk menjaga *level* pada tanki kembali ke *setpoint* dan sebaliknya jika *level* yang



**Gambar 2. 3** *Instrument* pengendali separator (p&id Separator Petronas Muriah)

dibaca kurang dari set point maka *control valve* akan mengurangi bukaan atau menutup. Kondisi *control valve open* atau *close* terjadi sampai fluida kembali stabil sehingga kondisi *level* tetap terjaga pada nilai *set point*.

#### 2.3. Persamaan Dinamik Separator

Dengan hukum kesetimbangan massa, sistem tangki separator 2 fasa dapat didekati dengan :

$$\begin{bmatrix} laju \\ perubahan \\ massa \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} laju \\ massa \\ input \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} laju \\ massa \\ output \end{bmatrix}$$
 (2.1)

Hukum kesetimbangan massa menyatakan bahwa jumlah massa yang masuk ke dalam sistem sebanding dengan jumlah massa yang keluar dari sistem serta massa yang terakumulasi dalam sistem itu sendiri.Dengan menggunakan hukum kesetimbangan massa maka model matematis separator dapat ditulis sebagai berikut :

$$\rho \frac{dv}{dt} = \sum \dot{m}_{in} - \sum \dot{m}_{out} \tag{2.2}$$

Dengan:

 $\rho \frac{dv}{dt}$  : laju perubahan massa separator

 $\sum \dot{m}_{in}$  : total laju massa masukan  $\sum \dot{m}_{out}$  : total laju massa keluaran

Pada input separator berupa fasa campuran yang terdiri dari 99% gas metana dan 0,1% air. Kemudian kedua fasa tersebut dipisah berdasarkan densitasnya. Untuk menjaga *level* air dilakukan pengendalian agar air tidak tercampur dengan gas.

Apabila 
$$V = A \times h$$
 (2.3)

Dan

$$\dot{m} = \rho_{liquid} \times Q \tag{2.4}$$

Maka

$$\rho_{liquid}\,A\frac{dh}{dt} = \sum \rho_{liquid}\,.\,Q_{in} - \sum \rho_{liquid}\,.\,Q_{out} \qquad (2.5)$$

Karena nilai  $\rho_{liquid}$  memiliki nilai yang sama sehingga dapat dihilangkan, persamaan menjadi :

$$A\frac{dh}{dt} = (Q_{in} - Q_{out}) \tag{2.6}$$

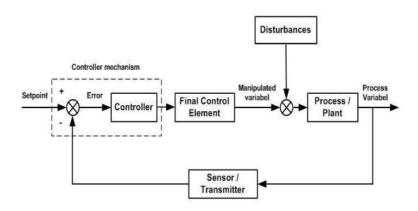
Dengan, A, H,  $Q_{in}$  dan  $Q_{out}$  berturut-turut adalah luas penampang separator (m²), ketinggian / level (m), flowrate liquid input (m³/s) dan flowrate liquid output (m³/s).

#### 2.4. Sistem Kendali PI

Sistem pengendalian adalah gabungan dari kerja suatu komponen yang digunakan untuk mempertahankan variabel yang dikendalikan yaitu *process variable* pada suatu nilai yang telah ditetapkan atau *set point* sehingga sistem dapat stabil. Dengan adanya perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi suatu sistem pengendalian dapat dikendalikan menggunakan sebuah unit otomatis. Gambar diagram blok pengendalian tertutup dapat dilihat pada gambar 2.4.

Suatu sistem linear (LTI/ Linear Time Invariant) dikatakan stabil apabila respon natural sistem mendekati nol pada waktu mendekati tak terhingga dan akan dikatakan tidak stabil apabil arespon natural sistem meningkat tanpa batas jika waktu mendekati tak terhingga.

Sampai saat ini algoritma pengendali *proportional-integral-derivative* (PID) dapat dikatakan sebagai algoritma terbaik karena kefektifannya. Karakteristik pengendali PID dipengaruhi oleh

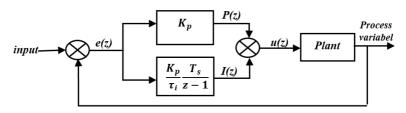


**Gambar 2. 4** Diagram Blok Sistem Pengendalian Tertutup (Heni, 2010)

parameter P,I dan D. Pengaturan konstanta Kp, Ti dan Td akan menunjukkan sifat dari masing-masing parameter.

Pengendali PI merupakan penggabungan dua unit pengendali yaitu pengendali P dan pengendali I.Gabungan dua pengendali ini mempunyai keunggulan dibandingkan dengan masing-masing penyusunnya. Keunggulan utamanya adalah diperolehnya keuntungan dari masing-masing pengendali dan kekurangan pengendali yang satu dapat diatasi. Gambar 2.5 adalah diagram blok sistem pengendali PI.

Pengendali P memiliki kelebihan untuk mempercepat *rise time* sehingga respon dari sistem cepat mencapai *set point*,tetapi



Gambar 2. 5 Diagram Blok Pengendalian PI (Basilio, 2002)

pengendali P memiliki kekurangan yaitu meninggalkan *offset*. Pengendali I memiliki kelemahan yaitu menyebabkan lambatnya respon dari sistem, tetapi pengendali I dapat menghilangkan *offset*dan pengendali I ini mampu mengurangi terjadinya *maximum overshoot* yang besar.

Sifat pengendali P yang meninggalkan *offset* dapat dihilangkan oleh pengendali I, sedangkan sifat pengendali I yang menyebabkan lambatnya respon dapat ditutupi oleh pengendali P, sehingga pengendali PI menghasilkan respon yang lebih cepat dari pengendali I tetapi menghilangkan *offset* yang ditinggalkan pengendali P.

Persamaan pengendali PI adalah sebagai berikut:

$$u(z) = Kp. e(z) + \frac{\text{Ki. Ts}}{\text{ti}(z-1)}$$
(2.7)

Dengan:

τi : Konstanta waktu Integral Ts : Waktu cuplik (detik)

Jika pemodelan matematis sistem susah untuk dilakukan. maka perancangan pengendali PID secara analitis tidak mungkin dilakukan, sehingga perancangan pengendali PID harus dilakukan secara eksperimental. Perancangan pengendali PID secara eksperimental dengan metode Ziegler –Nichols diberikan aturan untuk menentukan nilai Kp,  $\tau_i$  dan  $\tau_d$  yang didasarkan pada karakteristik respon transien dari sistem. (Basilio, 2002)

Beberapa parameter dalam algoritma PID yang juga harus diketahui dalam suatu sistem *closed loop* yaitu *maximumovershoot*, *settling time*, dan *error steady state*.

• maximum(percent) overshoot adalah nilai puncak tertinggi respon sistem pengukuran terhadap keadaanyang diinginkan. Jika nilai steady state dari respon berbeda dengan nilai yang diinginkan, umumnya menggunakan maximum percent overshoot dengan persamaan:

$$Mp \ overshoot = \frac{c(t_p) - c(\infty)}{c(\infty)} \times 100\%$$
 (2.8)

- Settling time adalah waktu yang dibutuhkan respon sistem untuk mencapai dan berada direntang ±5% atau ±2% dari keadaan yang di inginkan atau nilai akhir. (Ogata K., Modern Control Engineering, 2010)
- errorsteady state adalah nilai error yang dihasilkan dari keadaan steady ketika belum mencapai set point yang diinginkan.(Ardhiantama, 2016)

Selain itu hal-hal yang perlu diperhatikan pada nilai dari Kp dan Ki adalah sebagai berikut :

- Nilai gain Kp yang terlalu besar akan mengakibatkan sistem menjadi semakin sensitif dan cenderung tidak stabil. Jika nilai Kp terlalu kecil maka akan meyebabkan offset yang besar.
- Nilai dari Ti yang kecil akan menghilangkan offset tetapi cenderung membuat sistem menjadi lebih sensitif atau mudah berosilasi sedangkan Ti yang besar belum tentu efektif menghilangkan offset dan cenderung membuat respon menjadi lambat. (Maulana, 2012)

#### 2.5. Level Transmitter

Level Transmitter berfungsi untuk mendeteksi fluida yang mengalir, jenis level transmitter yang banyak digunakan adalah LDT yaitu Differential Presure Transmitter. Differential Presure Transmitter bekerja berdasarkan prinsip beda tekanan, dimana transmitter bekerja berdasarkan keseimbangan gaya dua masukkan yang berbeda tekanan atau biasa disebut Hidrostatic Head. Prinsip pembacaan tekanan didalam tangki bergantung pada nilai high pressure (HP) dan low pressure (LP) pada tapping point yang telah ditentukan, sehingga dapat disimpulkan bahwa DP transmitter mengukur tekanan hydrostatic dari fluida yang ada di dalam tangki dan hydrostatic head dinyatakan dalam tekanan dengan persamaan (2.9) dan (2.10).



**Gambar 2. 6** LDT ( *Differential Presure Transmitter*) (Emerson, 2017)

$$\Delta P = P_{\text{high}} - P_{\text{low}} \tag{2.9}$$

$$\Delta P = \rho_1. g_1. h_1 - \rho_2. g_2. h_2 \tag{2.10}$$

#### Dimana:

 $\Delta P$ : Tekanan Hidrostatis (mm $H_2O$ )

ρ : Densitas fluida (kg/m³)
 g : Konstanta gravitasi (m/s²)

h : Level fluida (m)

Differential Presure Transmitter bekerja berdasarkan prinsip beda tekanan antara sisi high dan low. Karena tekanan merupakan parameter utama dari transmitter, tentu saja density yang bervariasi akan mempengaruhi pembacaan transmitter yang bekerja berdasarkan prinsip beda tekanan. Kesalahan sensitivitas pada level transmitter biasanya disebabkan karena keausan pada DP transmitter sehingga menurunkan sensitivitas transmitter tersebut.

#### 2.6. Control Valve

Control valve dalam suatu loop pengendalian berfungsi untuk mengubah sinyal keluaran dari controller menjadi aksi yang dapat mengendalikan kondisi proses ke nilai yang telah ditentukan bila terjadi penyimpangan. Dasar pemilihan control valve pada dasarnya lebih di titik beratkan dari segi keselamatan prosesnya.

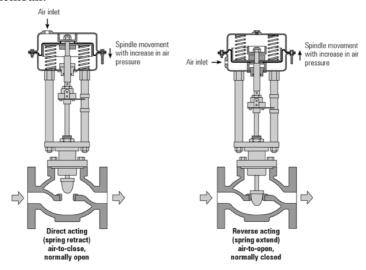
Aksi control valve terdiri dari dua macam yaitu:

## a. ATO (Air to Open)

Bila diberikan masukan sinyal kendali*pneumatic*atau *electric* maka *control valve* tersebut akan membuka dan bila sinyal masukan tidak ada maka*control valve* akan menutup kembali.

#### b. ATC (Air to Closed)

Bila diberikan sinyal kendali*pneumatic*atau *electric*maka *control valve* tersebut akan menutup dan apabila sinyal masukan tidak ada maka*control valve* tersebut akan membuka kembali.



Gambar 2. 7 ATC dan ATO Control Valve (Goenka, 2009)

#### 2.7. Observer

Observer adalah suatu algoritma yang digunakan mengestimasi keadaan (state) sistem berdasarkan model matematis sistem. Selain itu observer juga digunakan untuk mengestimasi kesalahan yang terjadi pada sistem. Mengingat bahwa multivariable linier plant dengan output hasil pengukuran dan noise direpresentasikan sebagai berikut (Gao & Hong, 2005)

$$x(k+1) = Ax(k) + Bu(k)$$
 (2.11)

$$y(k) = Cx(k) + Du(k)$$
 (2.12)

dengan:

A : Matriks keadaan (*state*)
B : Matriks masukkan
C : Matriks keluaran
D : Matriks gangguan
u(k) : Masukan kendali

x(k+1): Turunan vektor keadaan

y(k): Vektor keluaran

x(k): Vektor keadaan (*state*)

Model matematis dari *observer* sama seperti model matematis pada sistem dengan ditambahkan  $K_e$  (*observer gain matrix*) menjadi persamaan sebagai berikut:

$$\hat{x}(k+1) = A.\,\hat{x}(k) + B.\,u(k) + K_e(y(k) - \hat{y}(k))$$
 (2.13)

$$\hat{y}(k) = C\hat{x}(k) \tag{2.14}$$

dengan:

 $\hat{x}(k+1)$  : Estimasi *state* ( k+1)

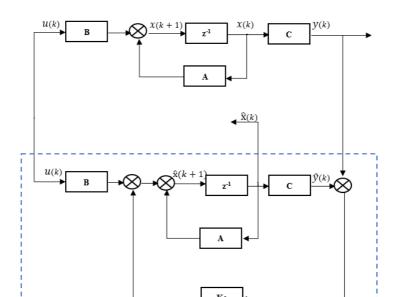
 $K_e$ : Gain Observer  $\hat{x}(k)$ : Estimasi statex(k) $\hat{y}(k)$ : Estimasi y(k) y(k) pada persamaan (2.12) dan  $\hat{y}(k)$  pada (2.14) disubstitusikan ke dalam persamaan (2.13), maka diperoleh

$$\hat{x}(k+1) = A.\hat{x}(k) + B.u(k) + K_e(Cx(k) - C\hat{x}(k))$$
 (2.15)

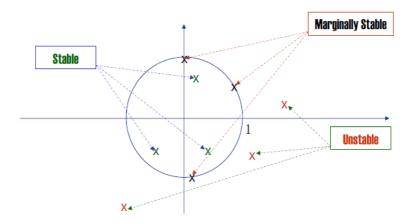
Berdasarkan gambar 2.8, *observer* mengandung nilai *gain observer* atau  $K_e$ . *Gain observer* merupakan matriks untuk mengoreksi perbedaanantara keluaran y aktual dan y estimasi sehingga dapat digunakan untuk mengestimasi *state* yang tidak terukur. Untuk menentukan nilai  $K_e$  sangat dipengaruhi oleh nilai letak *pole*, seperti pada gambar 2.8 untuk sistem dengan domain diskrit, posisi nilai *pole* untuk menyatakan sistem stabil berada tidak lebih dari 1 atau -1 pada sumbu imajiner maupun sumbu riil. Nilai  $K_e$  diperoleh berdasarkan persamaan (2.15), dengan

(2.20)

 $e(k) = (x(k) - \hat{x}(k))$ 



Gambar 2. 8 Observer (Ogata K., 1987)



**Gambar 2. 9** Kestabilan *pole placement* sistem diskrit (M. Chen, 2016)

Kemudian dari persamaan (2.20) menjadi persamaan karakteristik observer yang dituliskan.

$$|zI - A + K_e C| = 0 (2.21)$$

Maka dengan menentukan nilai p atau posisi *pole*, diperoleh persamaan karakteristik yang diinginkan, maka nilai  $K_e$  diperoleh dari mensetarakan persamaan (2.21) = persamaan karakteristik yang diinginkan. (Ogata, 1970)

#### 2.8. Keandalan

Keandalan adalah probabilitas dari suatu sistem untuk dapat menjalankan fungsi yang telah ditentukan pada saat kondisi pengoperasian dan lingkungan tertentu pada periode waktu yang telah ditentukan (Rahardito, 2016).Keandalan atau *reliability* dari suatu komponen instrument diartikan sebagai probabilitas dari sistem untuk dapat beroperasi atau menjalankan fungsinya dengan baik selama periode tertentu. Probabilitas pada keandalan

memiliki kaitan dengan laju kegagalan dari sistem atau komponen. Sehingga keandalan merupakan salah satu aspek yang dapat mempengaruhi keberhasilan proses produksi.

Kegagalan dapat didefinisikan sebagai ketidakmampuan suatu komponen untuk menjalankan fungsinya pada suatu sistem.Laju kegagalan adalah nilai seberapa besar kegagalan yang terjadi persatuan waktu. Dimana laju kegagalan dapat dinyatakan sebagai perbandingan antara banyaknya kegagalan yang terjadi selama selang waktu tertentu dengan total waktu operasi komponen atau sistem .

### 2.9. Keandalan Real-Time

Penelitian mengenai telah banyak dilakukan sebelumnya. Pada penelitiannya (Huitian Lu, 2001) melakukan penelitian yang betujuan untuk menggambarkan pendekatan prediksi keandalan secara *real-time*, yang berlaku untuk unit produk individual, yang beroperasi dalam kondisi dinamis. Selain itu (Zhegguo Xu, 2008) mengenalkan sebuah metode keandalan *real-time* untuk sebuah sistem dinamik yang mengalami proses degradasi tersembunyi.

Untuk memonitoring keandalan sistem ada beberapa hal penting yang harus disampaikan. Pertama, selain dari definisi kegagalan sebagai nilai kesalahan yang telah mencapai batas, kegagalan sistem juga didefiniskan sebagai keadaan sistem yang telah memasuki area terlarang  $\mathcal{M}_1$ . Secara umum , proses kesalahan yang sama memiliki dampak yang berbeda pada sifat sistem untuk sistem yang berbeda. Keadaan sistem merupakan hal yang krusial dikarenakan berhubungan langsung dengan performansi atau keamanan dari sebuah sistem. Kedua, keadaan sistem tidak dapat diukur secara langsung, harus melalui estimasi dikarenakan kegagalan sistem didefinisikan dalam sebuah keadaan. Keadaan diestimasi menggunakan algoritma OTK-SIR. Ketiga, kunci dari monitoring keandalan adalah prediksi

kesalahan, sehingga algoritma FP (Fault Prediction) yang berdasar pada algoritma SFE.

$$R(nT,(n+r)T = \Pr(x_{n+r} \in \mathcal{M}_0 | x_n \in \mathcal{M}_0)$$
 (2.22)

$$\begin{cases} x_n = f(x_{n-1}) + w_n \\ y_n = x_n + v_n \end{cases}$$
 (2.23)

Karena algoritma OTK-SIR menyajikan sebuah partikel pendekatan *posterior density* dari keadaan sistem, hal yang alami untuk menghitung (2.22) dengan strategi monte carlo. Secara detail, inti dari prediksi keandalan menggunakan strategi monte carlo dijelaskan sebagai berikut. Pada setiap waktu instan di dapatkan sebuah himpunan partikel yang mendekati *posterior density* keadaan dari algoritma OTK-SIR. Untuk setiap partikel, yang mana nilainya merepresentasikan sebuah nilai sample dari vektor keadaan saat ini, prediksi nilai *one-step* dapat dihitung dengan persamaan (2.23), dan sesuai pada prediksi kesalahan. Pada akhirnya, himpunan dari partikel prediksi digunakan untuk menghitung keandalan sistem selama waktu tertentu. Penjelasan mengenai algoritma RP (*Reability Prediction*) adalah sebagai berikut.

 $Algoritma\ \textit{Reliability}\ \textit{Prediction}:$ 

 Step inisialisasi : l yang telah dinotasikan pada algoritma FP dijadikan l= 1. Inisial partikel menjadi :

$$\bar{X}_{n+l-1|n}^{(i)} = \bar{X}_{n+0|n}^{(i)} = \hat{X}_{n|n}^{(i)}, i = 1,...,N.$$
 (2.24)

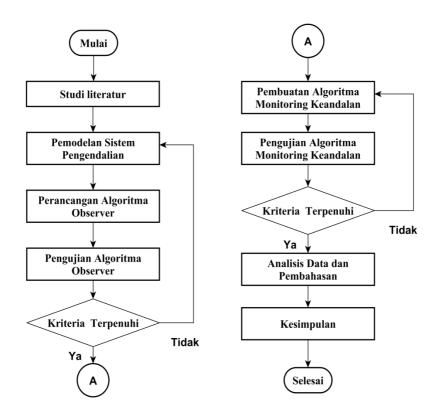
- Step prediksi kesalahan: Jalankan algoritma FP dengan prediction step(s) l untuk menghitung prediksi kesalahan  $\tilde{\alpha}_{n+l}$ .
- Step prediksi partikel : untuk i = 1,....,N, hitung partikel baru  $\bar{X}_{n+l-1|n}^{(i)}$  dari sistem persamaan :

$$\bar{X}_{n+l-1|n}^{(i)} = f(\bar{X}_{n+l-1|n}^{(i)}) + \Gamma \tilde{\alpha}_{n+l} + W_{n+l}^{(i)}$$
 (2.25)

- dimana  $W_{n+l}^{(i)}$  adalah realisasi dari $w_{n+l}$ untuk partikel ke i.
- Step pemilihan partikel : jika l < r, maka l = l + 1, sehinga kembali ke step 2, jika sebaliknya lanjut pada step 5
- Step perhitungan prediksi keandalan : hitung jumlah partikel dari himpunan  $\{\bar{X}_{n+r|n}^{(i)}\}(i=1,\ldots,N)$  yang jatuh pada  $\mathcal{M}_0$  dan dinotasikan oleh  $N_0$ . Maka sistem prediksi keandalan selama (nT,(n+r)T|dihitung oleh  $N_0/N$ .

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi yang digunakan untuk mencapai tujuan dari tugas akhir ini dijelaskan melalui diagram alir yang ditunjukkan pada Gambar 3.1 dan Gambar 3.2 yang mendeskripsikan tahaptahap penelitian yang dimulai dari studi literarure tentang sistem keandalan dan keandalan real-time. separator, observer. Kemudian dilanjutkan dengan pemodelan sistem pengendalian level separator mulai dari pemodelan plant separator, sensor level transmiter, aktuator yang berupa control valve dan juga mendapatkan persamaan ruang keadaan dari separator. Selanjutnya dilakukan perancangan pengendali PI. Untuk memastikan respon sesuai kriteria maka dilakukan uji pengendali PI. Setelah itu dilakukan perancangan observer mendapatkan nilai estimasi state level sehingga akan didapatkan estimasi kesalahan. Untuk memastikan observer yang dirancang telah sesuai maka dilakukan uji observer dimana ketika kriteria telah terpenuhi dilanjutkan dengan pembuatan monitoring keandalan secara real-time, jika kriteria belum terpunuhi maka perlu dilakukan perancangan ulang. Pembuatan algoritma monitoring keandalan secara real-time dibuat sesuai dengan algoritma RP (Reability Prediction) yang telah dijelaskan pada sub bab 2.10. Setelah estimasi kesalahan didapatkan dari observer maka dilakukan integrasi dengan dengan algoritma RP (Reability Prediction) untuk mendapatkan monitoring keandalan real-time. Pengujian algoritma dilakukan dengan memberikan skema pengujian kesalahan sensitivitas sensor sehingga dianilisis apakah respon sudah sesuai.



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian Tugas Akhir

### 3.1. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mengetahui pemahaman dasar hingga pemahaman mendalam secara teoritis terhadap materi yang mendukung penilitian tugas akhir ini diantara lain pemahaman mengenai sistem separator, kendali PID, *observer* dan juga pemahaman mengenai monitoring keandalan.

Tabel 3. 1 Data Spesifikasi Separator					
Notasi	Keterangan	Nilai dan satuan			
$H_{max}$	Level maksimum	2,765 m			
${ m H}_{ m min}$	Level minimum	0,35 m			
$Q_{in}$	Flowrate input liquid	$2,13764 \text{ m}^3/\text{s}$			
$ ho_{liquid}$	Massa jenis liquid	$415 \text{ Kg/m}^3$			
Ď	Diameter Separator	1,85 m			
L	Tinggi Tangki	5,6 m			

Tabel 3. 1 Data Spesifikasi Separator

#### 3.2. Data Pemodelan Plant

Data pemodelan plant yang digunakan diambil berdasarkan data pemodelan plant pada penelitian sebelumnya (Walijah, 2017). Data yang digunakan berupa data spesifikasi separator yang ditunjukkan dalam tabel 3.1.

#### 3.3. Pemodelan Matematis Sistem

Pemodelan matematis sistem diperlukan dalam merancang simulasi suatu sistem, sehingga kita bisa mengetahui respon sistem dari simulasi tersebut. Pemodelan matematis sistem pengendalian *level* separator ini meliputi pemodelan matematis separator (*plant*), pemodelan matematis aktuator, dan pemodelan matematis *level transmitter* atau sensor.

## 3.3.1. Pemodelan Matematis Separator

Dari persamaan (2.6) yang meninjau dari hukum kesteimbangan massa didapatkan model matematis separator sebagai berikut:

$$\frac{dV_L}{dt} = Q_{Lin} - Q_{Lout} \tag{3.1}$$

Untuk mencari nilai  $Q_{Lout}$  didapatkan dari persamaan presure drop sebagai berikut:

$$P - P_{Lout} = \frac{C_L \rho_L Q_{Lout}^2 - \rho_L gH}{g_c} + \Delta P_{Lc_v}$$
 (3.2)

Sehingga,

$$Q_{Lout} = (0,002228)c_v \sqrt{\frac{\Delta P_{Lc_v}}{\gamma_L}}$$
 (3.3)

Dimana:

 $\Delta P_{LC_n}$ : Tekanan fluida yang keluar

 $\gamma_L$  : Spesific Gravity

Untuk mendapatkan *state level* dari sistem separator, maka nilai spesifikasi terukur dari diameter separator dimasukkan kedalam persamaan (2.6) sebagai berikut:

$$A\frac{dh}{dt} = Q_{in} - Q_{out} \tag{3.4}$$

$$\frac{\mathrm{dh}}{\mathrm{dt}} = \frac{4}{\pi \mathrm{d}^2} \left( Q_{in} - Q_{out} \right) \tag{3.5}$$

$$\frac{dh}{dt} = \frac{4}{\pi 1,85^2} (Q_{in} - Q_{out})$$
(3.6)

$$\frac{dh}{dt} = 0.372 (Q_{in} - Q_{out}) \tag{3.7}$$

### 3.3.2. Pemodelan Matematis Aktuator

Aktuator yang digunakan adalah Level Control Valve. Level Control Valveyang digunakan dilengkapi dengan I/P converter yang berfungsi untuk mengubah sinyal input 4-20 mA menjadi sinyal pneumatic 3-15 psi. Dalam hal ini, Level Control Valvememiliki masukkan sinyal berupa arus listrik kemudian diubah menjadi tekanan untuk menggerakkan control valve.

Pemodelan aktuator yang digunakan untuk mengubah arus 4-20 mA menjadi tekanan 3-15 psi yang akan menggerakkan aktuator dengan nilai H maksimum sebesar 2,765 m dan H minimum 0,35 m adalah sebagai berikut :

$$\frac{\Delta P_{v}}{\Delta I} = \frac{P_{vmax} - P_{vmin}}{Arus_{max} - Arus_{min}}$$
(3.8)

$$\frac{\Delta P_{\rm v}}{\Delta I} = \frac{15 - 3}{20 - 4} = 0.75\tag{3.9}$$

Transfer function dari *pneumatic line delay* adalah sebagai berikut:

$$\frac{\Delta p_c}{\Delta p_v} = \frac{1}{\tau_0 s + 1} \tag{3.10}$$

$$\frac{\Delta p_c}{\Delta p_v} = \frac{1}{0.2s+1} \tag{3.11}$$

 $\tau_0$  adalah onstanta waktu aktuator , dengan nilai sebesar 0,2 sekon. (Wang, 2000)

Untuk mendapatkan *state pneumatic line* dari sistem separator, maka nilai*pline* 0,75 dari persamaan (3.9) dikalikandengan persamaan (3.11) sehingga persamaannya menjadi sebagai berikut :

$$\frac{Pline(s)}{u(s)} = \frac{0.75}{0.2s+1}$$
 (3.12)

$$(0.2 s + 1)Pline = 0.75 u(s)$$
(3.13)

$$0.2 Pline(s) = 0.75 u(s) - Pline$$
 (3.14)

$$Pline(s) = \frac{0.75}{0.2} u(t) - \frac{1}{0.2} Pline$$
 (3.15)

$$Pline(s) = 3,75 u(s) - 5 Pline$$
 (3.16)

*Transfer function* dari respon *control valve* adalah sebagai berikut:

$$\frac{\Delta x (s)}{\Delta P(s)} = \frac{100}{\frac{P_{\text{max}} - P_{\text{min}}}{c_0 s + 1}}$$

$$\frac{\Delta x (s)}{\Delta x (s)} = \frac{100}{\frac{15}{15}}$$
(3.17)

$$\frac{\Delta x (s)}{\Delta P(s)} = \frac{100}{\frac{15-3}{2s+1}}$$
$$= \frac{25}{\frac{3}{2s+1}}$$

 $c_0$  adalah konstanta waktu control valve , dengan nilai 2 sekon. (Wang, 2000)

Dari persamaan (3.18) maka didapatkan *state* respon *control valve* sebagai berikut :

$$\frac{\Delta x}{\text{Pline}} = \frac{8,33}{2s+1} \tag{3.18}$$

$$2\Delta x(s) + \Delta x = 8{,}33 Pline \tag{3.19}$$

$$\Delta x(s) = \frac{8{,}33}{2} Pline - \frac{1}{2} \Delta x \tag{3.20}$$

$$\Delta x(s) = 4,165 Pline - 0,5 \Delta x$$
 (3.21)

### 3.3.3. Pemodelan Matematis Level Transmiter

Sensor *level* yang digunakan adalah *Differential Pressure Transmitter*, yaitu alat yang berfungsi untuk mengukur tekanan didalam separator dan memanfaatkan perbedaan tekanan untuk mengukur *level* didalam separator. *Transmitter* ini mengubah

input berupa level menjadi arus dengan persamaan sebagai berikut

$$\frac{I(s)}{H(s)} = \frac{I_{\text{max}} - I_{\text{min}}}{H_{\text{max}} - H_{\text{min}}}$$
(3.22)

Dimana nilai H maksimum sebesar 2.765 m dan H minimum sebesar 0,35 m, I maksimum sebesar 20 mA dan I minimum sebesar 4 mA sehingga:

$$\frac{I(s)}{H(s)} = \frac{20 - 4}{2,765 - 0,35}$$

$$\frac{I(s)}{H(s)} = 6,625$$

## 3.3.4. Pemodelan State Space

Model state space dari sistem pengendalian level separator terdiri dari 3 state yaitu pneumatic line delay, respon control valve ( $\Delta x$ ) dan level. Persamaan (3.16), (3.21) dan (3.7)merupakan persamaan dari statepneumatic line delay,respon control valve ( $\Delta x$ )dan level, kemudian ketiga persamaan tersebut diubah kedalam domain waktu.

$$\frac{dPneumatic_{line}(t)}{dt} = -5Pneumatic_{line}(t) + 3,75u(t) \quad (3.23)$$

$$\frac{dPneumatic_{line}(t)}{dt} = -5Pneumatic_{line}(t) + 3,75u(t)$$
 (3.23)  
$$\frac{d\Delta x(t)}{dt} = 4,165 Pneumatic_{line}(t) - 0,5\Delta x(t)$$
 (3.24)

$$\frac{dh(t)}{dt} = 0.372Q_{in} - 0.372Q_{out}$$
 (3.25)

Ketiga persamaan diatas kemudian dibuat kedalam bentuk matriks ruang keadaan mengacu pada persamaan (2.11) seperti berikut:

$$\begin{bmatrix} \frac{dPneumatic_{line}(t)}{dt} \\ \frac{d\Delta x(t)}{dt} \\ \frac{dh(t)}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -5 & 0 & 0 \\ 4,165 & -0.5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{line} \\ \Delta x \\ h \end{bmatrix}$$

$$+ \begin{bmatrix} 3,75 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.372 & -0.372 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ Q_{in} \\ Q_{out} \end{bmatrix}$$
(3.26)

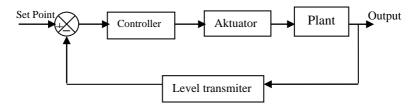
Persamaan matriks output didapatkan berdasarkan persamaan (2.12)

$$\begin{bmatrix} \frac{d\Delta x(t)}{dt} \\ \frac{dh(t)}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{line} \\ \Delta x \\ h \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ Q_{in} \\ Q_{out} \end{bmatrix}$$
(3.27)

## 3.4. Perancangan Sistem Kendali PI

Karakteristik pengendali PI sangat dipengaruhi oleh kontribusi besaran dari ketiga parameter P, dan I. Penyetelan konstanta Kp dan Ti akan mengakibatkan penonjolan sifat dari masing – masing elemen. Diagram blok sistem pengendalian *level* separator ditunjukkan oleh gambar 3.3.

Dalam pengendalian *level* separator dilakukan perancangan sistem kendali PI. Nilai Kp, Ti didapatkan secara eksperimen dengan metode *Ziegler–Nichols*, perancangan dilakukan secara



Gambar 3. 2 Diagram Blok Sistem Pengendalian

Tabel 3. 2 Farameter tunning Elegier-Nichols						
Tipe kontrol	$\mathbf{K}_{\mathbf{p}}$	$T_{i}$	$T_d$			
P	0,5 K <sub>cr</sub>	~	0			
PI	$0,45~\mathrm{K_{cr}}$	$1/1,2 P_{cr}$	0			
PID	$0.6~\mathrm{K_{cr}}$	$0.5 P_{cr}$	$0,125 P_{cr}$			

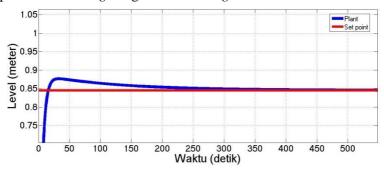
Tabel 3. 2 Parameter tunning Ziegler-Nichols

simulasi dengan *simulink* pada perangkat lunak matlab R2104a.Perancangan sistem kendali PI bertujuan untukmengetahui respon dari sistem jika ditambahkan dengan pengendali yangtelah didapatkan nilai *gain*nya serta untuk mengetahui kesesuaian kerja sistem secara keseluruhan.Sistem yang dirancang telah bekerja denganbaik jika respon sistem dapat mencapai nilai *set point* yang telah diberikan.

Pada *tunning* yang telah dilakukan didapatkan nilai K<sub>cr</sub> dan P<sub>cr</sub> atau biasa disebut *gain* kritis. Dengan mendapatkan *gain* kritis kemudian dimasukkan ke dalam parameter tunning zieglernichols. Didapatkan nilai K<sub>cr</sub> dan P<sub>cr</sub> sebesar 300 dan 1,5 sehingga dimasukkan ke dalam parameter *tunning* ziegler-nichols pada tabel 3.2.

Sehingga tunning yang didapatkan adalah nilai  $K_p$ sebesar 135 dan nilai  $T_i$  sebesar 1,25.

Berikut adalah hasil respon dari plant setelah dilakukan parameter *tunning* dengan metode *Ziegler–Nichols*.



Gambar 3. 3 Hasil Respon Plant

### 3.5. Perancangan Observer

Perancangan *observer* dilakukan untuk mengestimasi kesalahan yang ada dengan cara mengembangkan persamaan ruang yang ada, dengan cara mengembangkan persamaan ruang keadaan sistem. Persamaan untuk perancangan *observer* diperoleh dari penelitian yang telah dilakukan (Viqi,2017). Nilai matriks ruang keadaan untuk perancangan *observer* diperoleh dari persamaan (3.26) dan (3.27) yang telah didiskritkan adalah :

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0,3405 & 0,3679 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 0.75 & 0 & 0 \\ 3,6947 & 0 & 0 \\ 0 & -0,0079 & 0,0079 \end{bmatrix}$$

$$C = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$D = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$Fs = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Persamaan ruang keadaan yang mengandung kesalahan sensor dituliskan sebagai berikut :

$$x(k+1) = Ax(k) + Bu(k)$$
 (3.28)

$$y(k) = Cx(k) + Fs. f_s(k)$$
(3.29)

Dengan A, B, C, Fs, u(k), x(k+1), x(k), y(k) dan  $f_s(k)$  masing-masing adalah Matriks keadaan (state), matriks masukan, matriks keluaran, matriks kesalahan sensor, masukan kendali,

turunan vektor keadaan, vektor keluaran, vektor keadaan (state), vektor kesalahan sensor.

Kemudian state baru z(k+1) ditambahkan untuk memindahkan kesalahan sensor dari persamaan keluaran ke persamaan keadaan.

$$z(k+1) = A_z T_s(y(k) - z(k)) + z(k)$$
(3.30)

 $A_z$  merupakan matriks identitas (I), sedangkan  $T_s$  adalah waktu cuplik.

Persamaan (3.29) disubstitusi ke dalam persamaan (3.30), sehingga diperoleh persamaan :

$$z(k+1) = -A_z T_s z(k) + A_z T_s (Cx(k) + Fs. f_s(k)) + z(k)$$
 (3.31)

Persamaan (3.28), (3.31) diubah ke dalam bentuk persamaan yang lebih kompak menjadi

$$\begin{bmatrix} x(k+1) \\ z(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & 0 \\ A_z C & -A_z T_s + I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x(k) \\ z(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B \\ 0 \end{bmatrix} u(k)$$
 
$$+ \begin{bmatrix} 0 \\ Az T_s Fs \end{bmatrix} f_s(k)$$
 (3.32)

$$y(k) = \begin{bmatrix} 0 & I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x(k) \\ z(k) \end{bmatrix}$$
(3.33)

dengan nilai:

$$Ts = 2$$

Kemudian bentuk ruang keadaan (3.32) dan (3.33) dirubah kedalam bentuk persamaan keadaan dan persamaan keluaran sistem yang diperluas (mengandung kesalahan) sebagai berikut:

$$\bar{x}(k+1) = \bar{A}.\bar{x}(k) + \bar{B}.u(k) + \bar{F}\bar{f}(k)$$
(3.34)

$$z(k) = \bar{y}(k) = \bar{C}\bar{x}(k) \tag{3.35}$$

Sehingga didapatkan matriks  $\,\overline{A}\,$ ,  $\,\overline{\!\it E}\,$  dan  $\,\overline{\!\it F}\,$  sebagai berikut

$$\bar{A} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0,3405 & 0,3679 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

$$\bar{B} = \begin{bmatrix} 0.75 & 0 & 0 \\ 3.6947 & 0 & 0 \\ 0 & -0.0079 & 0.0079 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\bar{C} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\bar{F} = \begin{bmatrix} 0.75 & 0 \\ 3.6947 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 2 \end{bmatrix}$$

Setelah nilai-nilai matriks didapatkan, persamaan keadaan dan persamaan keluaran yang mengandung kesalahan sensor digunakan untuk merancang persamaan *observer* yang dituliskan:

$$\hat{\bar{x}}(k+1) = \bar{A}.\hat{\bar{x}} + \bar{B}.u(k) + \bar{F}\hat{\bar{f}}(k) + K_e(\bar{y}(k) - \hat{\bar{y}}(k))$$

$$\hat{\bar{y}}(k) = \bar{C}\hat{x}(k)$$
(3.36)

Kemudian ditambahkan state yang mengandung gain untuk mengestimasi kesalahan sensor (L),

$$\hat{f}(k+1) = T_s L_e(k) + \hat{f}(k) \tag{3.38}$$

Sehingga dari persamaan (3.36), (3.37) dan (3.38) jika diubah kedalam bentuk yang lebih kompak, menjadi

$$\begin{bmatrix} \hat{\bar{x}}(k+1) \\ \hat{f}(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{A} & \bar{F} \\ 0 & I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{\bar{x}}(k) \\ \hat{f}(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \bar{B} \\ 0 \end{bmatrix} u(k) + \begin{bmatrix} K \\ LT_s \end{bmatrix} e(k)$$
(3.39)

$$\hat{\tilde{y}}(k) = \begin{bmatrix} \bar{c} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{\bar{x}}(k) \\ \hat{f}(k) \end{bmatrix}$$
 (3.40)

Dari bentuk (3.39) dan (3.40) dapat dirubah menjadi persamaan keadaan dan persamaan keluaran *observer*, sebagai berikut:

$$\widehat{\mathbf{x}}(k+1) = \widetilde{\mathbf{A}}.\widehat{\mathbf{x}}(k) + \widetilde{\mathbf{B}}.\mathbf{u}(k) + \widetilde{K_e}(\widetilde{\mathbf{y}}(k) - \widehat{\mathbf{y}}(k)) \tag{3.41}$$

$$\hat{\tilde{y}}(k) = \tilde{C}.\hat{\tilde{x}}(k) \tag{3.42}$$

dengan memasukan nilai matriks  $\bar{A}, \bar{B}, \bar{C}, \bar{F}, I, Ts$  maka, diperoleh nilai matriks sebagai berikut :

$$\breve{A} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0,3405 & 0,3679 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 0 & -1 & 2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\check{C} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

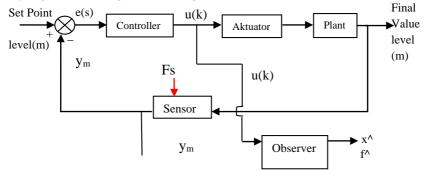
Langkah selanjutnya, Untuk memperoleh nilai  $gain\ observer\ (\widetilde{K}_e)$  Ktild digunakan metode pole-placement. Nilai pole yang diinginkan ditentukan dengan metode trial-and-error, dengan berdasarkan ilmu kestabilan berdasarkan letak pole, diketahui bahwa sebuah sistem diskrit didefiniskan stabil jika seluruh akarakar karakteristik bagian riil atau imajiner bernilai tidak lebih dari 1 atau -1. Nilai pole-placement yang dipakai adalah

```
\begin{array}{l} p1 = -1.0867 + 5.6570i \\ p2 = -1.0867 - 5.6570i \\ p3 = -0.0722 + 0.0000i \\ p4 = 1.0000 + 0.0000i \\ p5 = -0.7491 + 4.1303i \\ p6 = -0.7491 - 4.1303i \end{array}
```

Selanjutnya dari nilai *pole-placement* diatas matriks *gain observer* didapatkan dengan menggunakan program perangkat lunak matlab R2014a dengan *syntax "place"* sehingga diperoleh matriks Ktild atau Ke sebagai berikut :

$$Ke = \begin{bmatrix} 2,8721 & 14,0080 & 0,1715 & 1,4510 & -1,5743 & 0,1715 \\ 0,2520 & 0,9733 & 6,1134 & 1,2436 & 1,6607 & 6,1134 \end{bmatrix}$$

Berikut ini adalah gambar diagram blok sistem pengendalian yang telah diintegrasikan dengan observer.





**Gambar 3. 4** Diagram blok sistem pengendalian yang telah terintegrasi dengan observer

#### 3.6. Validasi Observer

Dalam memvalidasi *observer* untuk memastikan apakah *observer* hasil estimasi *state*yang dibuat telah sesuai dengan plant yang telah dirancang ditunjukkan pada gambar 3.6 berikut, dimana dapat dilihat pada grafik dengan garis merah yang merupakan hasil estimasi *state level* dari *observer* telah sesuai dengan grafik garis biru yang merupakan respon dari plant yang telah dibuat ketika belum diberi kesalahan.

## 3.7. Perancangan Algoritma Monitoring Keandalan

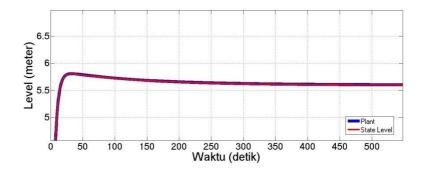
Algoritma monitoring keandalan yang digunakan berdasarkan pada algoritma *Reliability Prediction* yang telah di jelaskan pada sub bab 2.8 yaitu sebagai berikut.

Algoritma Reliability Prediction:

 Step inisialisasi : l yang telah dinotasikan pada algoritma FP dijadikan l= 1. Inisial partikel menjadi :

$$\bar{X}_{n+l-1|n}^{(i)} = \bar{X}_{n+0|n}^{(i)} = \hat{X}_{n|n}^{(i)}, i = 1,...,N.$$
 (3.43)

• Step prediksi kesalahan: Jalankan algoritma FP dengan prediction step(s) l untuk menghitung prediksi kesalahan  $\tilde{f}_{n+l}$ .



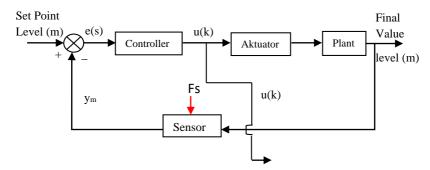
**Gambar 3. 5** Hasil estimasi *state level* dari *observe* dibandingkan dengan respon dari plant.

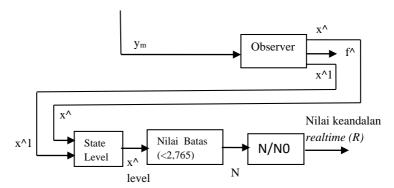
• Step prediksi partikel : untuk i = 1,....,N, hitung partikel baru  $\bar{X}_{n+l-1|n}^{(i)}$  dari sistem persamaan :

$$\bar{X}_{n+l-1|n}^{(i)} = F(\bar{X}_{n+l-1|n}^{(i)}) + \Gamma \tilde{f}_{n+l} + W_{n+l}^{(i)}$$
(3.44)

dimana  $W_{n+l}^{(i)}$  adalah realisasi dari $w_{n+l}$ untuk partikel ke i.

- Step pemilihan partikel : jika l < r, maka l = l + 1, sehinga kembali ke step 2, jika sebaliknya lanjut pada step 5
- Step perhitungan prediksi keandalan : hitung jumlah partikel dari himpunan  $\{\overline{X}_{n+r|n}^{(i)}\}(i=1,\ldots,N)$  yang jatuh pada  $\mathcal{M}_0$  dan dinotasikan oleh  $N_0$ . Maka sistem prediksi keandalan selama (nT,(n+r)T|dihitung oleh  $N_0/N$ .





**Gambar 3. 6** Diagram blok sistem monitoring keandalan *real-time* 

Gambar 3.7 diatas adalah diagram blok sistem monitoing keandalan realtime yang telah diintegrasikan dengan sistem pengendalian *level* dan observer. x^ dan x^1 merupakan nilai estimasi keluaran dari observer kemudian digunakan matriks untuk mengambil state level . Selanjutnya dibandingkan nilai state level dengan nilai maksimum level yang sebesar 2,765m, jika state level melebihi nilai 2,765 maka sistem dikatakan gagal. Lalu pada blok N/N0 dibandingkan berapa jumlah partikel yang tidak gagal atau nilainya tidak melebihi 2,765 dibandingkan jumlahnya dengan jumlah seluruh partikel, sehingga didapatkan nilai monitoring keandalan *real-time*.

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

## BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

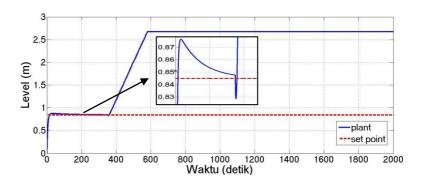
## 4.1. Pengujian Kesalahan Sensor

Uji kesalahan sensor disini bertujuan untuk mengetahui kesalahan sensor yang telah dibuat bisa berjalan dengan benar atau tidak jika ada kesalahan yang diberikan. Uji kesalahan disini berupa uji kesalahan sensitivitas.

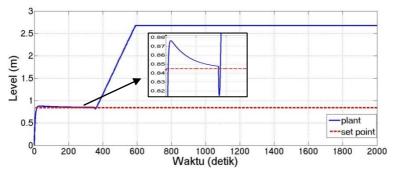
Uji kesalahan sensor dilakukan pada hasil simulasi dengan pengujian kesalahan yang merepresentasikan *real-plant*.Nilai sensitivitas sensor menunjukkan kepekaan pengukuran sensor, sedangkan deviasi menunjukkan kesalahan pembacaan pada sensor nilai yang digunakan terdapat pada lampiran C.

Untuk pengujian kesalahan sensitivitas sensor kali ini digunakan nilai deviasi sensor sebesar 7,8%; 6,1%; 5,2%; 4,3% dan 3,3% yang berarti nilai sensitivitas sensor yang diberikan adalah 92,2%; 93,9%; 94,8%; 96,7% dan 95,7%.

Respon sistem pengendalian level separator ditunjukkan pada gambar 4.1-4.5.



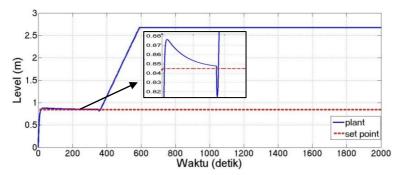
**Gambar 4. 1** Respon pengendalian *level* dengan kesalahan sensitivitas sensor 7.8%



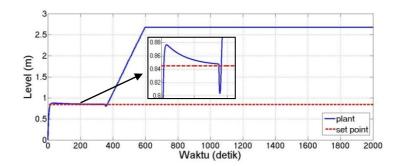
**Gambar 4. 2** Respon pengendalian *level* dengan kesalahan sensitivitas sensor 6,1%

Pada gambar 4.1 dapat kita lihat respon dari plant naik hingga 0,875 m dan mulai menuju *set point*, tetapi pada detik ke 350 level turun mencapai 0,83 kemudian level kembali naik hingga mencapai batas level maksimum separator yaitu 2,765m.

Pada gambar 4.2 dapat kita lihat respon dari plant naik hingga 0,875 m dan mulai menuju *set point*, tetapi pada detik ke 350 level turun mencapai 0,82 kemudian level kembali naik hingga mencapai batas level maksimum separator yaitu 2,765m.



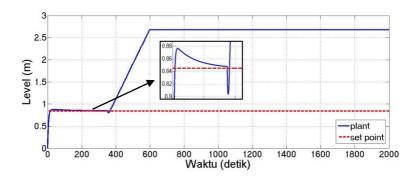
**Gambar 4. 3** Respon pengendalian *level* dengan kesalahan sensitivitas sensor 5,2%



**Gambar 4. 4** Respon pengendalian *level* dengan kesalahan sensitivitas sensor 4,3%

Pada gambar 4.3 dapat kita lihat respon dari plant naik hingga 0,875 m dan mulai menuju *set point*, tetapi pada detik ke 350 level turun mencapai 0,82 kemudian level kembali naik hingga mencapai batas level maksimum separator yaitu 2,765m.

Pada gambar 4.4 dapat kita lihat respon dari plant naik hingga 0,875 m dan mulai menuju *set point*, tetapi pada detik ke 350 level turun mencapai 0,81 kemudian level kembali naik hingga mencapai batas level maksimum separator yaitu 2,765m.



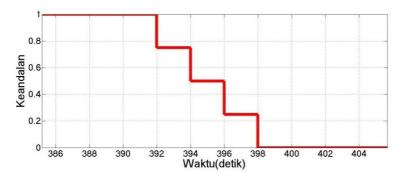
**Gambar 4. 5** Respon pengendalian *level* dengan kesalahan sensitivitas sensor 3,3%

Pada gambar 4.4 dapat kita lihat respon dari plant naik hingga 0,875 m dan mulai menuju *set point*, tetapi pada detik ke 350 level turun mencapai 0,81 kemudian level kembali naik hingga mencapai batas level maksimum separator yaitu 2,765m.

Pada gambar 4.1-4.5 dapat dilihat bahwa kesalahan sensor pada sistem pengendalian *level* separator, respon dari sistem menunjukkan pada detik ke 350 mengalami penurunan, kemudian respon sistem kembali meningkat terus hingga batas H maksimum yaitu 2,765 m. Hal ini dikarenakan sinyal uji yang diberikan berupa sinyal uji ramp yang bertjuan untuk memberikan kesalahan hingga *level* pada separator melebihi batas *level* maksimumnya.

## 4.2. Pengujian Monitoring Keandalan

Uji monitoring keandalan didapatkan dari estimasi kesalahan dari *observer*, dimana diberikan nilai  $\alpha_n$  sebesar  $-5 \times 10^{-2} T$ ,  $\epsilon_n$  sebesar 0,1 dan dengan memberikan nilai kesalahan sensitivitas sensor sebesar 7,8%; 6,1%; 5,2%; 4,3% dan 3,3%. Hasil uji prediksi keandalan sistem pengendalian *level* separator ditunjukkan pada gambar 4.6-4.10 sebagai berikut.



**Gambar 4. 6** Hasil uji monitoring keandalan dengan kesalahan sensitivitas sensor 7,8%

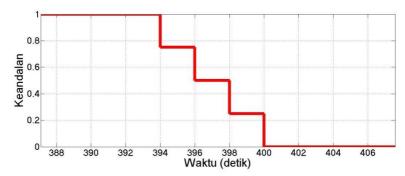
sensitivitas sensor 7,8%		
Keandalan	Waktu (detik)	
1	0-392	

Tabel 4.1 Hasil uji monitoring keandalan dengan kesalahan

Keandalan	Waktu (detik)	
1	0-392	
0.75	392-394	
0.5	394-396	
0.25	396-398	
0	398	

Pada gambar 4.6 terlihat bahwa nilai keandalan mulai mengalami penurunan pada detik ke-392, dan terjadi penurunan selanjutnya hingga mencapai keandalan yang benilai 0 pada detik ke 398.Gambar 4.6 dapat dinyatakan dalam bentuk tabel seperti yang terdapat pada tabel 4.1.

Pada gambar 4.7 terlihat bahwa nilai keandalan mulai mengalami penurunan pada detik ke-394, dan terjadi penurunan selanjutnya hingga mencapai keandalan yang benilai 0 pada detik ke 400.Gambar 4.7 dapat dinyatakan dalam bentuk tabel seperti yang terdapat pada tabel 4.2



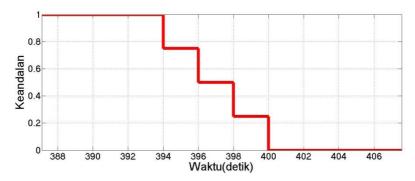
**Gambar 4. 7** Hasil uji monitoring keandalan dengan kesalahan sensitivitas sensor 6.1%

	*	
Keandalan	Waktu (detik)	
1	0-394	
0.75	394-396	
0.5	396-398	
0.25	398-400	
0	400	

**Tabel 4.2** Hasil uji monitoring keandalan dengan kesalahan sensitivitas sensor 6,1%

Pada gambar 4.8 terlihat bahwa nilai keandalan mulai mengalami penurunan pada detik ke-394, dan terjadi penurunan selanjutnya hingga mencapai keandalan yang benilai 0 pada detik ke 400.Gambar 4.8 dapat dinyatakan dalam bentuk tabel seperti yang terdapat pada tabel 4.3.

Pada gambar 4.9 terlihat bahwa nilai keandalan mulai mengalami penurunan pada detik ke-396, dan terjadi penurunan selanjutnya hingga mencapai keandalan yang benilai 0 pada detik ke 402.Gambar 4.9 dapat dinyatakan dalam bentuk tabel seperti yang terdapat pada tabel 4.4.



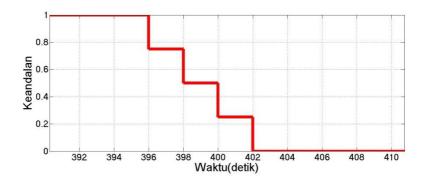
**Gambar 4. 8** Hasil uji monitoring keandalan dengan kesalahan sensitivitas sensor 5,2%

Keandalan	Waktu (detik)	
1	0-394	
0.75	394-396	
0.5	396-398	
0.25	398-400	
0	400	

**Tabel 4.3** Hasil uji monitoring keandalan dengan kesalahan sensitivitas sensor 5,2%

Pada gambar 4.10 terlihat bahwa nilai keandalan mulai mengalami penurunan pada detik ke-396, dan terjadi penurunan selanjutnya hingga mencapai keandalan yang benilai 0 pada detik ke 402.Gambar 4.10 dapat dinyatakan dalam bentuk tabel seperti yang terdapat pada tabel 4.5.

Dari gambar 4.6-4.10 dapat kita lihat nilai keandalan yang semakin cepat menurun jika diberi nilai kesalahan lebih besar. Untuk lebih jelasnya dapat kita lihat perbandingan besar kesalahan dengan waktu penurunan nilai keandalan pada tabel.4.6

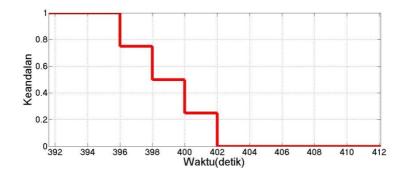


**Gambar 4. 9** Hasil uji monitoring keandalan dengan kesalahan sensitivitas sensor 4,3%

Tabel 4.4	Hasil uji monitoring keandalan dengan	kesalahan
	sensitivitas sensor 4,3%	

Keandalan	Waktu (detik)	
1	0-396	
0.75	396-398	
0.5	398-400	
0.25	400-402	
0	402	

Dari tabel 4.6 dapat diketahui semakin kecil nilai gradient kesalahan besar maka waktu terjadinya kesalahan semakin cepat. Dan sebaliknya jika nilai gradient kesalahan kecil maka waktu terjadinya kesalahan akan semakin lama. Seperti dapat kita lihat pada tabel 4.6 pada nilai nilai gradient kesalahan terbesar yaitu 7,8% waktu terjadinya kesalahan adalah pada detik ke 392 detik dan pada saat nilai nilai gradient kesalahan terbesar yaitu 3,3% waktu terjadinya kesalahan adalah pada detik ke 396 detik.



**Gambar 4. 10** Hasil uji monitoring keandalan dengan kesalahan sensitivitas sensor 3,3%

**Tabel 4.5** Hasil uji monitoring keandalan dengan kesalahan sensitivitas sensor 3,3%

Keandalan	Waktu (detik)		
1	0-396		
0.75	396-398		
0.5	398-400		
0.25	400-402		
0	402		

**Tabel 4. 6** Besar nilai kesalahan sensitivitas sensor dibandingkan waktu terjadinya kesalahan.

No.	Nilai Kesalahan	Waktu Kesalahan (detik)
	Sensitivitas Sensor	
1	7,8%	392
2	6,1%	394
3	5,2%	394
4	4,3%	396
5	3,3%	396

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

## 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis data yang telah dilakukan, didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut :

- Telah dilakukan perancangan *observer* untuk mendapatkan estimasi kesalahan dimana dari *observer* ini telah didapatkan estimasi kesalahan untuk *state level*. Observer mampu mengestimasi state *level* pada detik ke-350, ketika pada pengukuran *level* terjadi *error*, *observer* mampu mengestimasi state yang benar.
- Telah dilakukan uji monitoring keandalan *realtime* dengan simulasi sehingga didapatkan nilai monitoring keandalan *real-time* dari sistem pengendalian *level* separator. Berdasarkan hasil uji yang telah dilakukan, didapatkan bahwa semakin besar nilai kesalahan sensitivitasmaka semakin cepat sistem akan mengalami kegagalan. Pada kesalahan sensitivitas sensor sebesar 7,8%; 6,1%; 5,2%; 4,3% dan 3,3%,masing-masing nilai keandalan mulai mengalami penurunan pada detik ke-392; 394; 394; 396 dan 396.

### 5.2. Saran

Dalam proses tugas akhir ini terdapat saran yang dapat digunakan untuk penelitian selanjutnya yaitu, observer hanya dapat melakukan monitoring untuk satu step kedepan sehingga hanya didapatkan estimasi kesalahan untuk satu step kedepan, untuk mendapatkan monitring beberapa step kedepan maka diperlukan prediksi control untuk input.

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

### **DAFTAR PUSTAKA**

- Adeniyi, O. (2006). Development of Model and Simulation of Two Phase, Gas-Liquid Horizontal Separator. *engginer*, 10-11.
- And. (2012, September 09). Dipetik April 20, 2018, dari Oil & Gas Industry Technology Updates: http://www.industrialseparation.com/20120919\_vertical -separator-basic-operating-principle.html
- Anindita, P. (2008). Pemodelan Keterkaitan Suku Bunga dan Kurs dengan Sistem Kontrol. Bandung: ITB.
- Ardhiantama, A. (2016). Perancangan Active Fault Tolerant Control Pada Sistem Pengendalian Temperatur Fuel Gas Superheat Burner PT PETROKIMIA GRESIK Dengan Kesalahan Pada Sensor Temperatur. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Basilio, J. C. (2002). Design of PI and PID Controlers With Transient Performance Specification. *IEEE Transactions On Education, Vol. 45, No.4*.
- Emerson. (2017, Mei). Dipetik Mei 16, 2018, dari http://www.emerson.com/en-us/catalog/rosemount-3051-coplanar-pressure-transmitter
- Gao, Z., & Hong, W. (2005). Descriptor Observer Approaches For Multivariable System With Measurement Noises And Application In Fault Detection And Diagnosis. *ELSEVIER*(55), 304-313.
- Goenka, B. (2009, Juni 07). *Slide Share*. Dipetik Mei 16, 2018, dari https://www.slideshare.net/binitgoenka/control-valves
- Heni, J. (2010, Maret 9). Dipetik Mei 12, 2018, dari http://jendraheni.blogspot.com/2010/03/basic-of-automatic-process-control.html
- Huitian Lu, W. J. (2001). Real-Time Performance Reliability Prediction. *IEEE Transaction On Reliability*.
- Kresna, V. B. (2017). Perancangan Sistem Active Fault Tolerant Control Pada Pengendalian Kecepatan Sistem Servo

- Modular Ms150 Dc Dengan Kesalahan Pada Aktuator Dan Sensor. *ITS* : *Surabaya*.
- M. Chen, B. (2016). *Digital Control System*. Singapore: The National University of Singapore.
- Maulana, N. (2012). *Penerapan Robust PID Pada Pengendalian Kecepatan MS 150 DC Motor Servo System.* Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Nusantoro, G., Muslim, M., & Budi, T. (2012). Identifikasi Sistem Plant Suhu dengan Metode Recursive Least Square. *EECCIS*, 67-75.
- Ogata, K. (1987). *Discrete-Time Control Systems*. USA: Prentice-Hall, Inc.
- Ogata, K. (1970). Modern Control Engineering. New Jersey: Prentice-Hall.
- Ogata, K. (2004). System Dynamics. New Jersey: Prentice-Hall.
- Oktah, I. F. (2011, Mei 3). Dipetik Mei 12, 2018, dari http://iman-firmanoktah.blogspot.com/2011/05/alat-separasi-minyak-bumi-atau.html
- Pengaturan, A. L. (2015). Sistem Pengaturan Kecepatan Motor DC. Surabaya: Teknik Elektro-Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Rahardito, F. W. (2016). *Implementasi Reliability Centered Maintenance pada Proses Gas Kriogenik*. Surabaya: ITS.
- Roostandy, J., sumardi, & Andromeda, T. (2011). PENGIDENTIFIKASIAN PARAMETER FUNGSI ALIH SISTEM. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Rubiandani, R. (2001). Peralatan Exsplorasi Minyak: Bandung.
- Untoro, E. &. (2013). Evaluasi Diameter Separator Terhadap Keberhasilan Pemisahan Gas-Cairan, studi Kasus Separator di Pabrik LPG abelan. *Intrumentusi*, 26-21.
- Walijah, C. S. (2017). Perancangan Active Fault Tolerant Control Pada Sistem Pengendalian Level Separator Di Petronas Muriah LTD Dengan Kesalahan Pada Sensor dan Aktuator. *ITS*: Surabaya.

- Wang, S. (2000). Dynamic Simulation Experimental Investigation And Control System Design Of Gas Liquid Cylindrial Cyclone Separators. *Tulsa, Oklahoma, Amerika Serikat*.
- Zhang, Y., & Jiang, J. (2008). Bibliographical review on reconfigurable fault-tolerant control systems. *Science Direct*, 229-252.
- Zhegguo Xu, Y. j. (2008). Real-time Reliability Prediction for a Dynamic System Based on the Hidden Degradation Process Identification.
- Zhengguo Xu, Y. J. (2009). A New Real-Time Reliability Prediction Method for Dynamic Systems Based on Online Fault Prediction. *IEEE Transaction On Reliability*, *Vol.* 58. 3.

### Lampiran A

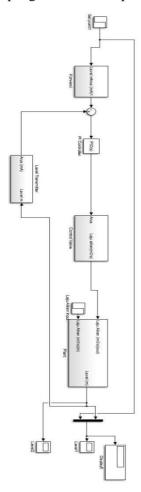
## A. Mfile pemodelan Separator

```
clear
clc
Ac=[-5 \ 0 \ 0; 4.166 \ -0.5 \ 0; 0 \ 0]
Bc = [3.75 \ 0 \ 0; 0 \ 0; 0 \ -0.372*6.625*0.00161]
0.372*6.625*0.00161]
C=[0 \ 1 \ 0; \ 0 \ 0 \ 1]
D=zeros(2,3);
Ts=2;
% opts = c2dOptions
sys = ss (Ac, Bc, C, D);
[sysd,G] = c2d(sys,Ts,'zoh');
A = sysd.a
B = sysd.b
Fs=[0;1];
n = length(A)
p = size(C, 1)
m = size(B, 2)
fs = size(Fs, 2)
Abar=1
Aa=[A zeros(n,p);Ts*Abar*C (1-Ts*Abar)*eye(p)];
Ba=[B; zeros(p,m)];
Ca=[zeros(p,n) eye(p)];
Ea=[zeros(n,fs); Ts*Abar*Fs];
Atild=[Aa Ea; zeros(fs,n+p) eye(fs)];
Btild=[Ba ;zeros(fs,m)];
Ctild=[Ca zeros(p,fs)];
p1 = -1.0867 + 5.6570i
p2 = -1.0867 - 5.6570i
p3 = -0.0722 + 0.0000i
p4= 1.0000 + 0.0000i
p5 = -0.7491 + 4.1303i
p6= -0.7491 - 4.1303i
Ktild = place(Atild',Ctild',[p1 p2 p3 p4 p5 p6])
b sebelum=B*0;
```

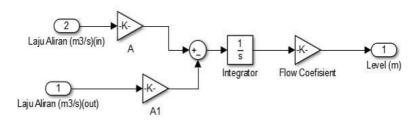
```
iterasi=4;
cetal(iterasi,iterasi*n)=0;
for i=1:iterasi
    x=1+((i-1)*3);
%    alfal(x:i*3,:)=A^i;
%    betal(x:i*3,:)=B^((i-1)*B + b_sebelum;
%    b_sebelum=betal(x:i*3,:);
    cetal(i,i*3)=1;
end
```

## LAMPIRAN B

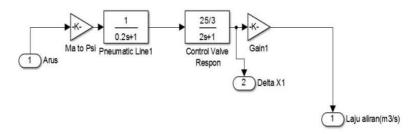
- B. Simulink perancangan pemodelan sistem pengendalian *level* separator, observer dan prediksi keandalan secara realtime pada perangkat lunak matlab 2014a.
- B.1 Pemodelan sistem pengendalian level pada separator.



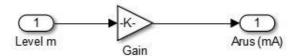
## B.2 Pemodelan Plant (separator)



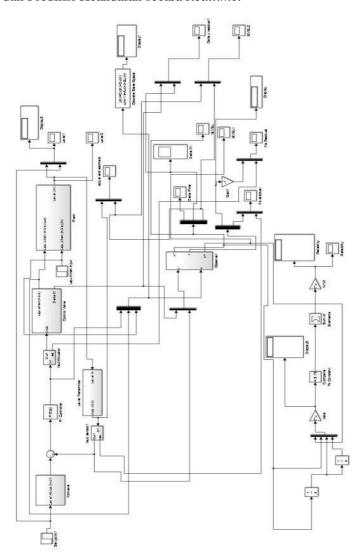
## B.3 Pemodelan Aktuator



## B.4 Pemodelan Level Transmitter



B. 5 Pemodelan Sistem Pengendalian *Level Separator*, *Observer* dan Prediksi Keandalan secara *Realtime*.



# Lampiran C

No.	Kalibrasi Level Transmitter				
'	Tanggal	Range	Deviasi	Ketidak	Catatan
				akurasian	
1.	1-Jan-16	0-3105	3,3%	$\pm 0,5\%$	Kondisi
		mm			baik
2.	13-Mar-16	0-3105	5,2%	$\pm 0,5\%$	setelah
		mm			dikalibra
3.	12-Mei-16	0-3105	7,8%	$\pm 0.5\%$	si
		mm			
4.	4-Juni-16	0-3105	6,1%	$\pm 0.5\%$	
		mm			
5.	5-Sept-16	0-3105	4,3%	$\pm 0.5\%$	
		mm			

## **BIODATA PENULIS**



Nama Annisa Marliana Fitria, dilahirkan di Bojonegoro, tanggal 9 Maret 1996. Alamat penulis yaitu di Jalan Diponegoro No. 70 Padangan, Bojonegoro. Penulis telah menyelesaikan pendidikan di SDN Padangan 2, pendidikan di SMPN 1 Padangan, pendidikan di SMAN 1 Bojonegoro dan sedang menempuh pendidikan S1 Teknik Fisika di ITS hingga sekarang. Bagi pembaca

yang memiliki kritik, saran atau ingin berdiskusi lebih lanjut mengenai tugas akhir ini maka dapat menghubungi penulis melalui email: fannisa09@gmail.com.