



**TUGAS AKHIR TF 141581**

**PERANCANGAN SISTEM PENGENDALIAN  
*LEVEL* BERBASIS MRAC PADA *DEAERATOR*  
UNIT 101-U DI PT. PETROKIMIA GRESIK**

NANDA PRICILYA  
NRP 2413 100 053

Dosen Pembimbing  
Dr. Bambang Lelono Widjiantoro, S.T., M.T

Departemen Teknik Fisika  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017





***FINAL PROJECT TF 141581***

***DESIGN OF LEVEL CONTROL SYSTEM  
BASED ON MRAC AT DEAERATOR 101-U  
PT.PETROKIMIA GRESIK***

*NANDA PRICILYA  
NRP 2413 100 053*

*Supervisor  
Dr. Bambang Lelono Widjiantoro, S.T., M.T*

*Engineering Physics Department  
Faculty of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2017*



## PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nanda Pricilya

NRP : 2413100053

Departemen : Teknik Fisika FTI-ITS

dengan ini menyatakan bahwa tugas akhir saya yang berjudul **“PERANCANGAN SISTEM PENGENDALIAN *LEVEL* BERBASIS MRAC PADA *DEAERATOR* UNIT 101-U DI PT. PETROKIMIA GRESIK”** adalah bebas plagiasi. Apabila pernyataan ini terbukti tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 14 Juli 2017

Yang membuat pernyataan,



Nanda Pricilya



**LEMBAR PENGESAHAN**  
**PERANCANGAN SISTEM PENGENDALIAN LEVEL**  
**BERBASIS MRAC PADA *DEAERATOR* UNIT 101-U**  
**DI PT. PETROKIMIA GRESIK**

Oleh:

Nanda Pricilya  
NRP. 2413 100 053

Surabaya, Juli 2017  
Mengetahui/Menyetujui

Pembimbing

  
Dr. Bambang Lelono Widjiantoro, S.T., M.T.  
NIP. 19690507 1995121 001

Ketua Departemen  
Fisika FTI-ITS

  
Agus Muhammad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D  
NIP. 19780902 200312 1 002



**PERANCANGAN SISTEM PENGENDALIAN *LEVEL*  
BERBASIS MRAC PADA *DEAERATOR* UNIT 101-U  
DI PT. PETROKIMIA GRESIK**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Studi Rekayasa Instrumentasi dan Kontrol  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Fisika  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**NANDA PRICILYA**  
**NRP. 2413 100 053**

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

- |                                      |   |       |               |
|--------------------------------------|---|-------|---------------|
| 1. Dr. Bambang Lelono W., S. T., M.T |  | ..... | Pembimbing    |
| 2. Hendra Cordova, S. T., M. T       |  | ..... | Ketua Penguji |
| 3. Andi Rahmadiansah, S.T, M.T       |  | ..... | Penguji I     |

**SURABAYA**  
**Juli 2017**



**PERANCANGAN SISTEM PENGENDALIAN *LEVEL*  
BERBASIS MRAC PADA *DEAERATOR* UNIT 101-U  
DI PT. PETROKIMIA GRESIK**

**Nama Mahasiswa** : Nanda Pricilya  
**NRP** : 2413 100 053  
**Jurusan** : Teknik Fisika  
**Dosen Pembimbing** : Dr. Bambang Lelono Widjiantoro,  
S.T., M.T

**Abstrak**

Pengendalian level air pada *deaerator* sangatlah penting karena akan berpengaruh pada banyaknya gas-gas terlarut yang dapat dihilangkan dalam air upan boiler. Apabila gas-gas terlarut masih banyak yang tertinggal dalam air, maka akan dapat menyebabkan korosi pada dinding-dinding boiler dan komponen-komponen yang dilewati oleh air keluaran *deaerator*. Banyaknya variabel yang mempengaruhi kestabilan proses yang terjadi didalam *deaerator* sehingga kenonlinieritasan dalam *deaerator* tidak akan teratasi jika skema kontrol PID biasa diterapkan. Pada Tugas Akhir ini dilakukan perancangan *Model Reference Adaptiv Control* yang merupakan skema sistem kontrol adaptif yang memiliki mekanisme pengaturan terhadap parameter kontroler sehingga sistem akan mampu beradaptasi. Langkah awal yang dilakukan adalah memodelkan proses yang terjadi pada *deaerator*. Selanjutnya dilakukan perancangan algoritma pengaturan dengan menerapkan teori kestabilan Lyapunov. Karakteristik respon *model reference* yang dihasilkan adalah *maximum overshoot* 7,7%, *rise time* 12s, dan *error steady state* 0%. Pengujian *tracking set point* naik, turun, kombinasi naik turun serta *noise* dilakukan dengan nilai masing-masing RSME yang dihasilkan respon *plant* terhadap *model reference* adalah  $2,582 \times 10^{-3}$ ,  $2,52 \times 10^{-3}$ ,  $2,462 \times 10^{-3}$ , dan  $5,42 \times 10^{-3}$ . Pada pengujian gangguan yang diberikan, sistem MRAC yang dirancang mampu mengatasi gangguan lebih cepat dari pada kontrol PI dengan 375s.

**Kata Kunci** : *Deaerator*, MRAC, Kontrol PI, Kestabilan Lyapunov

**DESIGN OF LEVEL CONTROL SYSTEM  
BASED ON MRAC AT DEAERATOR 101-U  
PT. PETROKIMA GRESIK**

**Name** : Nanda Pricilya  
**Student Number** : 2413 100 053  
**Department** : Engineering Physics  
**Supervisor** : Dr. Bambang Lelono Widjiantoro,  
S.T, M. T

***Abstract***

*Water level control in the deaerator is important because it affects the amount of dissolved gases that can be removed in boiler water. If many dissolved gases are left in the water, they can cause corrosion of the boiler walls and the components passed by the deaerator output water. The number of variables that affect the stability of processes that occur within the deaerator so that nonlinearity in the deaerator will not be resolved if the usual PID control scheme is applied. In this Final Project is designed the Model Reference Adaptive Control which is an adaptive control system scheme that has a regulatory mechanism to controller parameters so that the system will be able to adapt. The first step is to model the process that occurs in the deaerator. Furthermore, the design of the arrangement algorithm by applying Lyapunov stability theory. Characteristics of the resulting reference model response are maximum overshoot 7.7%, rise time 12s, and 0% steady state error. The test of tracking set point up, down, up and down combination and noise were done with each RSME value generated by plant response to the reference model is  $2,582 \times 10^{-3}$ ,  $2,52 \times 10^{-3}$ ,  $2,462 \times 10^{-3}$ , dan  $5,42 \times 10^{-3}$ . In tests of disturbances provided, the designed MRAC system is able to overcome the interference faster than the PI control with 375s*

***Key Words:*** Deaerator, MRAC, PI Controller, Lyapunov Stability



## KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbil'aalamiin, rasa syukur atas segala limpahan rahmat, kesehatan, keselamatan, dan ilmu yang Allah SWT berikan kepada penulis hingga mampu menyelesaikan laporan tugas akhir dengan judul:

### **PERANCANGAN PENGENDALIAN LEVEL BERBASIS MRAC PADA DEAERATOR 101-U DI PT. PETROKIMIA GRESIK**

Dalam penyusunan laporan tugas akhir ini, tidak terlepas dari semua pihak yang turut membantu baik moril maupun materiil. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Orang tua , kakak, dan adik saya yang selalu memberi dukungan baik secara moral maupun materiil
2. Bapak Agus Muhamad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D selaku Ketua Departemen Teknik Fisika ITS
3. Bapak Dr. Bambang Lelono Widjiantoro, S. T, M. T , Ibu Katherin Indriawati S.T, M.T, selaku dosen pembimbing yang dengan sabar membimbing, memberikan saran dan kritiknya.
4. Bapak Eka Budiyanto, S.T selaku karyawan Bagian Instrumen Departemen Pemeliharaan I PT. Petrokimia Gresik yang telah membimbing dan memfasilitasi selama pengambilan data Tugas Akhir
5. Teman-teman Teknik Fisika Angkatan 2013 yang senantiasa memberikan semangat dan motivasinya.
6. Teman-teman kos yang selalu memberikan bantuan dan motivasi
7. Serta pihak-pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu

Demikian laporan tugas akhir ini dibuat dengan sebaik-baiknya. Semoga laporan ini bermanfaat bagi semua pihak, khususnya untuk kemajuan industri di Indonesia.

Surabaya, Juni 2017

Penulis



## DAFTAR ISI

<b>Halaman Judul .....</b>	<b>i</b>
<b>Cover .....</b>	<b>iii</b>
<b>Pernyataan Bebas Plagiasi.....</b>	<b>v</b>
<b>Lembar Pengesahan.....</b>	<b>vii</b>
<b>Abstrak.....</b>	<b>xi</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>xiii</b>
<b>Kata Pengantar.....</b>	<b>xv</b>
<b>Daftar Isi .....</b>	<b>xvii</b>
<b>Daftar Gambar .....</b>	<b>xix</b>
<b>Daftar Tabel.....</b>	<b>xxi</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Perumusan Masalah .....	3
1.3. Tujuan .....	3
1.4. Batasan Masalah .....	3
1.5. Sistematika Laporan.....	4
<b>BAB II DASAR TEORI.....</b>	<b>5</b>
2.1. Sistem Kontrol <i>Adaptive</i> .....	5
2.2. Sistem Kontrol MRAC.....	5
2.3. Analisa Kestabilan Lyapunov .....	7
2.4. MRAC berbasis Lyapunov Rule .....	8
2.5. Kontrol PID.....	11
2.6. Karakteristik Respon Sistem.....	13
2.7. <i>Root Mean Square Error</i> (RMSE).....	15
2.8. <i>Deaerator</i> .....	15
2.9. Pemodelan <i>Deaerator</i> .....	17
<b>BAB III METODOLOGI .....</b>	<b>21</b>
3.1. Pengambilan Data <i>Plant</i> .....	23
3.2. Pemodelan <i>Deaerator Plant</i> .....	24
3.3. Pemodelan <i>Actuator</i> .....	28
3.4. Pemodelan <i>Transmitter</i> .....	31
3.5. Perancangan Pengendalian PI .....	31
3.6. Validasi Model Sistem .....	33
3.7. Perancangan Pengendalian MRAC .....	35

<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>41</b>
4.1. Respon Kontrol <i>Level</i> Pabrik .....	41
4.2. Uji Perubahan <i>Gain</i> Adaptasi.....	42
4.3. Uji <i>Tracking Set Point</i> Naik .....	46
4.4. Uji <i>Tracking Set Point</i> Turun .....	47
4.5. Uji <i>Tracking Set Point</i> Naik Turun .....	48
4.6. Uji Gangguan .....	50
4.7. Uji <i>Noise</i> .....	51
4.8. Uji Gabungan .....	52
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>55</b>
5.1 Kesimpulan .....	55
5.2 Saran.....	56
<b>Daftar Pustaka .....</b>	<b>57</b>
<b>Lampiran A</b>	
A-1 PFD <i>Deaerator</i> 101-U Pabrik I PT. Petrokimia.....	59
A-2 P&ID <i>Deaerator</i> 101-U Pabrik I PT. Petrokimia.....	60
<b>Lampiran B</b>	
Data Pengukuran Proses pada <i>Deaerator</i> PT. Petrokimia Gresik .....	61

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1.</b> Skema Diagram Blok MRAC .....	6
<b>Gambar 2.2.</b> Diagram Blok <i>Pole Placement</i> .....	8
<b>Gambar 2.3.</b> Diagram Blok MRAC dengan Teori Kestabilan <i>Lyapunov</i> .....	11
<b>Gambar 2.4.</b> Kurva Karakteristik Respon.....	14
<b>Gambar 2.5.</b> Skema <i>Deaerator</i> .....	16
<b>Gambar 2.6.</b> Skema Pemodelan Sistem <i>Deaerator</i> .....	19
<b>Gambar 2.7.</b> Pendekatan Model Sisi Tabung <i>Deaerator</i> .....	19
<b>Gambar 3.1.</b> Flowchart Pengerjaan Tugas Akhir.....	22
<b>Gambar 3.2.</b> Skema <i>Heater Tank</i> .....	25
<b>Gambar 3.3.</b> Skema <i>Storage Tank</i> .....	25
<b>Gambar 3.4.</b> <i>Simulink</i> Sistem <i>Deaerator</i> .....	29
<b>Gambar 3.5.</b> Skema Diagram Blok <i>closeloop</i> Sistem .....	32
<b>Gambar 3.6.</b> <i>Simulink Closeloop</i> Sistem dengan Kontrol PI... 32	
<b>Gambar 3.7.</b> Respon Sistem Kontrol PI.....	33
<b>Gambar 3.8.</b> Grafik Respon <i>Openloop Deaerator</i> .....	34
<b>Gambar 3.9.</b> <i>Simulink</i> MRAC.....	39
<b>Gambar 4.1.</b> Grafik <i>Level Real Plant Deaerator</i> Pabrik .....	41
<b>Gambar 4.2.</b> Respon <i>Level</i> dengan Variasi <i>Gain</i> Adaptasi.....	44
<b>Gambar 4.3.</b> Respon <i>Level</i> MRAC tanpa Gangguan .....	45
<b>Gambar 4.4.</b> Respon Uji <i>Tracking Level</i> Naik.....	47
<b>Gambar 4.5.</b> Respon Uji <i>Tracking Level</i> Turun.....	48
<b>Gambar 4.6.</b> Respon Uji <i>Tracking Level</i> Naik Turun.....	49
<b>Gambar 4.7.</b> Respon <i>Level</i> dengan Kontrol PI dan MRAC saat diberi Gangguan .....	51
<b>Gambar 4.8.</b> Respon <i>Level</i> dengan Kontrol PI dan MRAC saat diberi <i>Noise</i> .....	52
<b>Gambar 4.9.</b> Respon <i>Level</i> dengan Kontrol PI dan MRAC saat diberi <i>Noise</i> dan Gangguan .....	53



## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 3.1.</b> Data Pemodelan <i>Deaerator</i> Berdasarkan Data Lapang .....	23
<b>Tabel 3.2.</b> Data Pemodelan <i>Deaerator</i> Beradsarkan Data Disain .....	24
<b>Tabel 3.3.</b> Data Hasil Uji Validasi <i>Level Plant</i> dengan Simulasi .....	34
<b>Tabel 4.1.</b> Karakteristik Respon MRAC dengan Variasi <i>Gain</i> Adaptasi.....	42
<b>Tabel 4.2.</b> Perbandingan Karakteristik Respon MRAC dengan <i>Model Reference</i> .....	45
<b>Tabel 4. 3.</b> Perbandingan Karakteristik Respon Antara PI dan MRAC dengan Pemberian Gangguan .....	50



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

*Deaerator* merupakan *plant* yang digunakan untuk memanaskan air umpan *boiler*. Selain itu *deaerator* memiliki fungsi yang sangat penting yaitu untuk menghilangkan gas-gas yang terkandung dalam air seperti karbondioksida dan oksigen yang akan diumpankan ke *boiler*. Gas-gas tersebut dapat membentuk senyawa kimia yang dapat menyebabkan korosi pada dinding *boiler* dan pipa-pipa yang dilalui. Oleh karena itu gas-gas tersebut perlu dihilangkan dalam kandungan air umpan boiler melalui proses deaerasi yang dilakukan didalam *deaerator*.

Prinsip kerja *deaerator* adalah berdasar pada Hukum Henry yaitu kelarutan gas dalam cairan yang dipengaruhi oleh suhu dan tekanan parsial [1]. Jika tekanan parsial gas terlarut diturunkan maka kelarutan gas akan menurun. Penurunan gas terlarut dilakukan dengan memasukkan uap panas ke dalam *deaerator*, uap panas tersebut akan membuat suhu air meningkat sehingga tekanan parsial gas dalam air akan menurun sehingga kelarutannya akan menurun dan terbawa keluar oleh uap [1].

Pada proses *deaerasi* tersebut, *level* air dalam *deaerator* merupakan variabel yang sangat penting untuk dijaga kestabilannya. Jika *level* air terlalu tinggi maka proses pengangkatan gas-gas yang terlarut tidak akan maksimal sehingga masih banyak yang tertinggal dalam air yang akan diumpankan ke *boiler*. Jika *level* air terlalu rendah maka akan mengganggu kerja bahkan dapat merusak komponen lain seperti pompa dan menghambat aliran air ke *boiler* [2]. Sehingga kinerja sistem control *level* pada *deaerator* sangat penting untuk dijaga agar fluktuasi *level* air dapat diminimalkan.

*Level deaerator* pada *plant* Amonia di PT. Petrokimia Gresik awalnya menggunakan desain *cascade control*, namun sistem kontrol tersebut sekarang diganti dengan sistem *single control*. Pergantian sistem kontrol tersebut karena desain sistem awal yang diterapkan mengalami ketidakstabilan sistem berupa pengendalian yang tidak sempurna pada kedua kontroler jika

digunakan secara bersamaan. Kinerja sistem PI *single control* yang diterapkan saat ini juga belum bisa bekerja secara optimal bila terjadi *disturbance* dan *load* tinggi yang menyebabkan *level* air di *deaerator* selalu berfluktuasi [3].

Banyaknya karakteristik gangguan (*disturbance*) pada *deaerator* yang disebabkan karena banyaknya variabel yang mempengaruhi kestabilan proses yang terjadi dalam *deaerator*. Sehingga kenonlinieritasan dalam *deaerator* tidak akan teratasi jika skema kontrol PID biasa diterapkan [1]. Sebuah pendekatan dalam pengendalian *plant* yang memiliki kendala parameter *plant* yang sulit ditentukan karena kompleksitas *plant*, kondisi dinamika *plant* (proses), maupun adanya karakteristik dari *load* yang bervariasi dapat dilakukan dengan menggunakan sistem kontrol adaptif [4].

Sistem kontrol adaptif merupakan sistem kontrol yang memiliki kontroler dengan parameter-parameter yang dapat diatur (*adjustable parameters*) dan memiliki mekanisme pengaturan terhadap parameter-parameternya (*adjustment mechanism*). Sehingga saat karakteristik gangguan berubah, maka sistem akan dapat beradaptasi dengan melakukan pengaturan terhadap parameter kontrol. Salah satu jenis skema sistem kontrol adaptif adalah MRAC (*Model Reference Adaptive Control*). MRAC menjadi topik penelitian utama yang banyak dilakukan selama beberapa dekade terakhir dan tidak seperti sistem kontrol *advance* lainnya, MRAC telah berhasil diaplikasikan untuk proses di industri [5].

Beberapa penelitian sebelumnya yang telah menerapkan sistem kontrol adaptif khususnya MRAC untuk pengendalian *plant* di industri diantaranya pada [6] yang merancang MRAC untuk kontrol *level* pada *boiler*, dengan menghasilkan respon sistem yang lebih baik dari PID. Pada [4] merancang MRAC untuk kontrol temperatur pada CSTR, dengan menghasilkan respon sistem yang baik dengan pemilihan gain adaptasi yang sesuai. Penelitian [7] [8] melakukan perbandingan perancangan MRAC berbasis MIT Rule dengan MRAC berbasis teori kestabilan Lyapunov dan diperoleh hasil bahwa MRAC berbasis teori kestabilan Lyapunov memiliki respon yang lebih stabil.

Serta penelitian [9] [10] [11] menerapkan MRAC untuk melakukan kontrol *Level* .

Pada penelitian ini dilakukan penerapan sistem kontrol adaptif dengan skema MRAC (*Model Reference Adaptive Control*) berbasis teori kestabilan Lyapunov untuk melakukan kontrol *level* pada *plant deaerator*.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka permasalahan yang diambil dalam tugas akhir ini yaitu:

1. Bagaimana memodelkan fenomena fisis yang terjadi pada *plant Deaerator* sehingga diperoleh persamaan matematis yang menggambarkan proses?
2. Bagaimana merumuskan *model referensi* yang digunakan untuk sistem MRAC yang dirancang?
3. Bagaimana merancang sistem kontrol *Model Reference Adaptive Control* (MRAC) berbasis algoritma Lyapunov?

## 1.3 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah merancang *Model Reference Adaptive Control* (MRAC) pada pengendalian *level Deaerator*

## 1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah penelitian Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Obyek penelitian adalah sistem kontrol pada *Deaerator* Unit 101-U di pabrik Ammonia PT. Petrokimia Gresik
2. Pada model yang dirancang tidak ada kerugian panas yang terbuang ke lingkungan
3. Tinjauan penurunan model matematis berdasarkan neraca kesetimbangan massa
4. Besaran yang dikendalikan adalah *level* air (m) dengan gangguan berupa laju aliran keluaran *plant* dan *steam*

## **1.5 Sistematika Laporan**

Sistematika laporan yang digunakan dalam penyusunan laporan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

### **BAB I PENDAHULUAN**

Berisi tentang latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, dan sistematika laporan

### **BAB II DASAR TEORI**

Berisi tentang pengertian dan proses sistem *deaerator*, sistem kontrol *level deaerator*, *Model Reference Adaptive Control* dan perancangannya

### **BAB III METODOLOGI**

Berisi tentang langkah-langkah dalam pemodelan matematis sistem *deaerator*, perancangan kontrol PID dan perancangan *Model Reference Adaptive Control* dengan simulasi dilakukan pada simulink Matlab R2013a

### **BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN**

Berisi tentang analisa hasil perancangan *Model Reference Adaptive Control* dan hasil pengujian kehandalan sistem yang telah dirancang

### **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

Berisi tentang kesimpulan hasil yang didapatkan setelah dilakukan perancangan dan pengujian kehandalan dari *Model Reference Adaptive Control* serta saran untuk penelitian selanjutnya

## **BAB II**

### **DASAR TEORI**

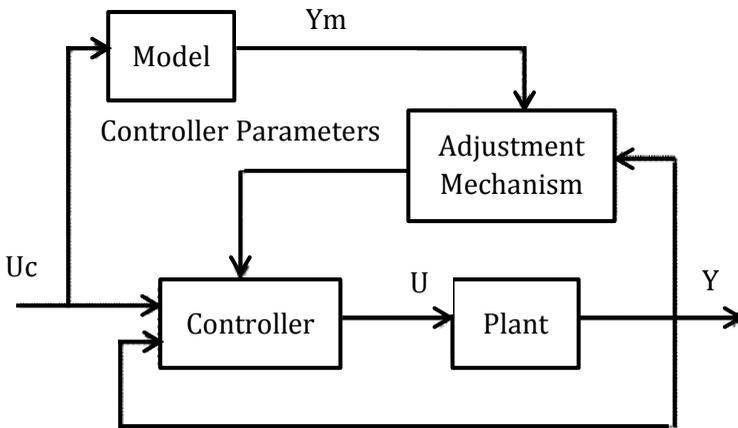
Bab ini berisi teori dasar yang melandasi alur berfikir dalam menyelesaikan permasalahan dan mencapai tujuan dari penelitian tugas akhir ini. Teori – teori tersebut mencakup hal – hal yang mendukung dan menjadi dasar rujukan dalam tugas akhir terkait Sistem kontrol MRAC untuk pengendalian *level* pada *deaerator* ini. Teori penunjang yang dipaparkan mengenai sistem kontrol MRAC, teori kestabilan *Lyapunov*, sistem kontrol PID, *deaerator*.

#### **2.1 Sistem Kontrol Adaptive**

Sistem kontrol adaptif adalah sistem kontrol yang memiliki parameter-parameter yang mampu beradaptasi terhadap perubahan kondisi lingkungan sekitarnya, seperti gangguan, serta adanya perubahan karakteristik internal sistem yang dikontrol. Penggunaan sistem kontrol adaptif akan dapat meningkatkan kinerja suatu sistem yang pada umumnya berada dalam kondisi yang internal maupun eksternalnya memiliki ketidakpastian. Beberapa tipe kontrol adaptif yaitu *model reference adaptive control*, *gain scheduling*, dan *self tuning regulators* [12].

#### **2.2 Sistem Kontrol MRAC**

*Model Reference Adaptive Control* (MRAC) adalah salah satu dari mekanisme sistem kontrol adaptif, yaitu sistem kontrol yang parameter-parameternya dapat diatur dan memiliki mekanisme untuk mengatur parameter-parameter tersebut. MRAC pertama kali dikembangkan di Massachusetts Institute of Technology US dengan memfokuskan pada bidang *flight control* [13]. Dalam beberapa dekade terakhir, MRAC telah mulai banyak dikembangkan dan diaplikasikan untuk pengendalian proses di industri [5]. Strategi kontrol MRAC digunakan untuk merancang kontroler adaptif yang bekerja sesuai prinsip menyesuaikan parameter kontroler agar *output plant* sesuai dengan *output* dari model referensi yang digunakan. Skema blok diagram MRAC ditunjukkan pada gambar 2.1 berikut.



**Gambar 2.1** Skema Blok Diagram MRAC [5] [14].

Pada skema MRAC memiliki dua loop yaitu loop dalam (*inner loop*) yang merupakan loop normal umpan balik antara proses *plant* dan kontroler dan loop luar (*outer loop*) yaitu loop yang menuju mekanisme penyesuaian untuk mengubah parameter-parameter kontroler berdasarkan sinyal *error*  $e = y - y_m$ . Pengaturan parameter dilakukan dengan meminimalkan sinyal *error*, untuk memperoleh keluaran sistem ( $y$ ) yang sesuai dengan model referensinya ( $y_m$ ) [14].

### 2.1.1. Komponen MRAC

Komponen-komponen yang digunakan untuk menyusun blok diagram sistem kontrol MRAC adalah sebagai berikut [5] :

- Model Referensi (*Reference Model*) : Digunakan untuk menentukan respon ideal dari sistem kontrol adaptatif terhadap input sistem.
- Kontroler (*Controller*) : Biasanya dijelaskan sebagai hasil parameter penyesuaian sistem. Parameter penyesuaian merupakan *control law* yang nilainya tergantung pada gain adaptasi.
- Mekanisme Penyesuaian (*Adjustment Mechanism*) : Komponen ini digunakan untuk mengubah parameter dari kontroler sehingga *plant* dapat mengikuti respon sesuai

model referensinya. Pendekatan matematis MIT *Rule*, Lyapunov *Theory*, dan *Augmented Error* dapat digunakan untuk membangun mekanisme penyesuaian. Metode MIT *Rule* memiliki kelemahan adanya syarat konvergensi parameter, belum menjamin kestabilan sistem, serta sulit diimplementasikan pada sistem orde tinggi namun memiliki model matematika sistem yang lebih sederhana

Metode MIT *Rule* memiliki kelemahan adanya syarat konvergensi parameter, belum menjamin kestabilan sistem, serta sulit diimplementasikan pada sistem orde tinggi meskipun memiliki model matematika sistem yang lebih sederhana [7]. Sehingga pada penelitian kali ini akan digunakan MRAC berbasis *Lyapunov Rule*.

### 2.3 Analisa Kestabilan Lyapunov

Terdapat berbagai metode untuk menguji kestabilan suatu sistem. Salah satu metode yang digunakan untuk menguji kestabilan sistem adalah kestabilan Lyapunov yang dapat digunakan untuk menguji kestabilan sistem linier maupun nonlinier. Berdasarkan analisa kestabilan Lyapunov, kestabilan didasarkan pada energi yang disimpan oleh sistem. Sistem dapat dikatakan stabil jika energi yang disimpan berkurang terhadap pertambahan waktu, sehingga energi akan mencapai pada nilai minimal pada titik setimbang sistem [15].

Fungsi Lyapunov adalah fungsi energi buatan yang tergantung pada vektor *state* sistem ( $x = [x_1 \ x_2 \ \dots \ x_n]^T$ ) dapat dinyatakan dengan  $V(x)$ . Dalam metode kedua analisa kestabilan Lyapunov,  $V(x)$  dan turunan pertamanya  $\dot{V}(x)$  dapat memberikan informasi kestabilan sistem [15]. Jika diasumsikan suatu sistem dengan persamaan (2.1)

$$\dot{x} = f(x, u) \quad (2.1)$$

Maka sistem akan stabil pada titik kesetimbangan di origin jika terdapat fungsi skalar  $V(x)$  yang kontinyu dan turunan pertama yang memenuhi kondisi:

1.  $V(x)$  definite positif yang ditunjukkan dengan  $V(x) > 0$
2.  $\dot{V}(x)$  definite negatif yang ditunjukkan dengan  $\dot{V}(x) < 0$

#### 2.4 MRAC berbasis *Lyapunov Rule*

Perancangan algoritma pengaturan parameter system adaptif dengan teori kestabilan Lyapunov didahului dengan melakukan penurunan persamaan diferensial dari *error* [13],

$$e = y - y_m \quad (2.2)$$

Pada persamaan *error* diatas terdapat parameter-parameter yang dapat diatur untuk mencari fungsi Lyapunov dan mekanisme adaptasi system yang akan membuat *error* menjadi nol

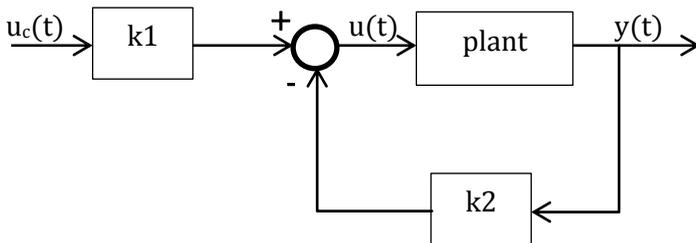
Diinginkan respon system mengikuti model system dengan persamaan berikut :

$$\frac{dy_m}{dt} = -a_m y_m + b_m u_c \quad (2.3)$$

dan persamaan sistem proses adalah

$$\frac{dy}{dt} = -ay + bu \quad (2.4)$$

Pada perancangan ini digunakan kontroler dengan algoritma penempatan *Pole Placement*, dimana blok diagramnya dapat dilihat sebagai berikut



**Gambar 2.2** Diagram Blok *Pole Placement* [5].

Persamaan kontroler system akan dihasilkan seperti persamaan berikut :

$$u(t) = k_1 u_c(t) - k_2 y(t) \quad (2.5)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (2.5) ke persamaan (2.4), maka diperoleh persamaan sistem proses menjadi

$$\frac{dy}{dt} = -(a + bk_2)y + bk_2 u_c \quad (2.6)$$

Jika keluaran sistem *plant* sama dengan keluaran model sistem *loop* tertutup, maka didapatkan persamaan parameter  $k_1$  dan  $k_2$  seperti ditunjukkan pada persamaan berikut :

$$k_1 = \frac{b_m}{b} \quad (2.7)$$

$$k_2 = \frac{a_m - a}{b} \quad (2.8)$$

*Error* sistem merupakan selisih antara keluaran sistem dengan keluaran model yang ditunjukkan oleh persamaan (2.2).

Untuk membuat *error* yang kecil, maka dilakukan penurunan persamaan *error* (2.2) menjadi

$$\frac{de}{dt} = \frac{dy}{dt} - \frac{dy_m}{dt} \quad (2.9)$$

dengan sistem proses *plant* menggunakan persamaan (2.6) dan model sistem menggunakan persamaan (2.3) sehingga diperoleh

$$\frac{de}{dt} = -a_m e - (bk_2 + a - a_m)y + (bk_1 - b_m)u_c \quad (2.10)$$

*Error* akan menuju nilai nol ketika parameter-parameternya sama seperti pada persamaan (2.7) dan (2.8). Agar nilai parameter  $k_1$  dan  $k_2$  sesuai dengan harga yang diinginkan maka dilakukan perancangan mekanisme pengaturan parameter. Diasumsikan  $b\gamma$

$>0$  maka fungsi kuadrat Lyapunov didapatkan sebagai berikut [13]:

$$V(e, k_1, k_2) = \frac{1}{2} \left[ e^2 + \frac{1}{b\gamma} (bk_2 + a - a_m)^2 \right] + \frac{1}{b\gamma} (bk_1 - b_m)^2 \quad (2.11)$$

Fungsi diatas akan nol ketika nilai *error* nol dan parameter kontroler sesuai dengan harga yang diinginkan. Agar fungsi memenuhi kualifikasi sebagai fungsi Lyapunov, turunan  $\frac{dV}{dt}$  harus negatif

$$\frac{dV}{dt} = e \frac{de}{dt} + \frac{1}{\gamma} (bk_2 + a - a_m) \frac{dk_2}{dt} + \frac{1}{\gamma} (bk_1 - b_m) \frac{dk_1}{dt} \quad (2.12)$$

Dengan melakukan substitusi persamaan (2.10) kedalam persamaan (2.12), maka diperoleh

$$\begin{aligned} \frac{dV}{dt} = & -a_m e^2 + \frac{1}{\gamma} (bk_2 + a - a_m) \left( \frac{dk_2}{dt} \gamma y e \right) + \frac{1}{\gamma} (bk_1 - \\ & b_m) \left( \frac{dk_1}{dt} + \gamma u_c e \right) \end{aligned} \quad (2.13)$$

jika parameter dari persamaan (2.13) diupdate menggunakan persamaan (2.13) dan (2.14) berikut:

$$\frac{dk_1}{dt} = -\gamma u_c e \quad (2.14)$$

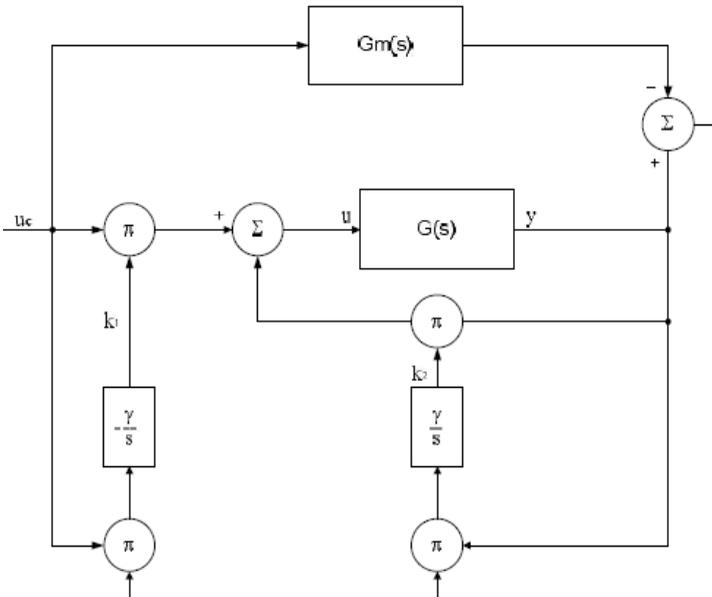
$$\frac{dk_2}{dt} = \gamma y e \quad (2.15)$$

Sehingga persamaan (2.13) menjadi

$$\frac{dV}{dt} = -a_m e^2 \quad (2.16)$$

Karena persamaan (2.16) adalah definit negatif, sehingga persamaan stabil sesuai Lyapunov

Diagram blok MRAC berdasarkan teori kestabilan *Lyapunov* acement dapat disusun sesuai gambar 2.3 dibawah ini



**Gambar 2.3** Diagram Blok MRAC dengan Teori Kestabilan *Lyapunov*

## 2.5 Kontrol PID

Pengendali proporsional (P), pengendali Integral (I), dan pengendali diferensial (D) merupakan jenis pengendali kontinyu yang karena kelebihan dan kekurangan dari masing-masing jenis pengendali, sehingga pemakaiannya sering dikombinasi. Bentuk kombinasi yang dihasilkan dari ketiga jenis pengendali tersebut yaitu pengendali proporsional integral (PI), proporsional diferensial (PD), dan proporsional integral diferensial (PID).

### 2.5.1 Kontrol proporsional (P)

Kontrol proporsional menghasilkan keluaran unit kontrol P yang sebanding dengan besar masukan. Kekurangan dari kontrol proporsional adalah munculnya *offset* yang besarnya tergantung pada nilai *gain* dari setiap elemen dalam *loop*. Fungsi transfer dari kontrol proporsional dengan  $K_p$  sebagai *gain* proporsional adalah sebagai berikut

$$u(t) = K_P e(t) \quad (2.17)$$

$$G_c(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_P \quad (2.18)$$

### 2.5.2 Kontrol Integral (I)

Kontrol integral dapat mengeluarkan keluaran pada saat masukan sama dengan nol, sehingga akan mampu mengatasi *offset* yang dihasilkan oleh kontrol proporsional. Aksi kontrol integral sering disebut kontrol *reset*. Fungsi transfer dari kontrol integral dengan  $K_I$  sebagai *gain* integral adalah sebagai berikut

$$u(t) = K_I \int_0^t e(t) dt \quad (2.19)$$

$$G_c(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = \frac{K_I}{s} \quad (2.20)$$

### 2.5.3 Kontrol Proporsional Integral (PI)

Kontrol proporsional integral merupakan gabungan dari dua unit kontrol P dan I. Sifat kontrol P yang selalu menghasilkan *offset* akan diatasi oleh kontrol I, dan sifat kontrol I yang lambat akan dapat ditutupi oleh kontrol P sehingga kontrol PI akan menghasilkan respon yang lebih cepat dan tidak menghasilkan *offset*. Fungsi transfer dari kontrol PI dengan  $K_P$  sebagai *gain* proporsional dan  $K_I$  sebagai *gain* integral adalah sebagai berikut

$$u(t) = K_P e(t) dt + \frac{K_P}{T_i} \int_0^t e(t) dt \quad (2.21)$$

$$G_c(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_P + \frac{K_I}{s} \quad (2.22)$$

### 2.5.4 Kontrol Proporsional Diferensial (PD)

Kontrol proporsional diferensial merupakan gabungan dari dua unit kontrol P dan D. Aksi kontrol D sering disebut *rate control* karena besar keluarannya sebanding dengan laju perubahan sinyal *error*. Aksi kontrol D tidak dapat digunakan sendiri karena aksi kendalinya hanya efektif selama periode

transien, sehingga dikombinasi dengan kontrol P. Sehingga kontrol PD dapat memperkecil periode respon dan membuat respon menjadi lebih cepat. Fungsi transfer dari kontrol PD dengan  $K_p$  sebagai *gain* proporsional dan  $K_d$  sebagai *gain* diferensial adalah sebagai berikut

$$u(t) = K_p e(t) dt + K_p T_D \frac{d e(t)}{dt} \quad (2.23)$$

$$G_c(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_p + K_D s \quad (2.24)$$

### 2.5.5 Kontrol Proporsional Integral Diferensial (PID)

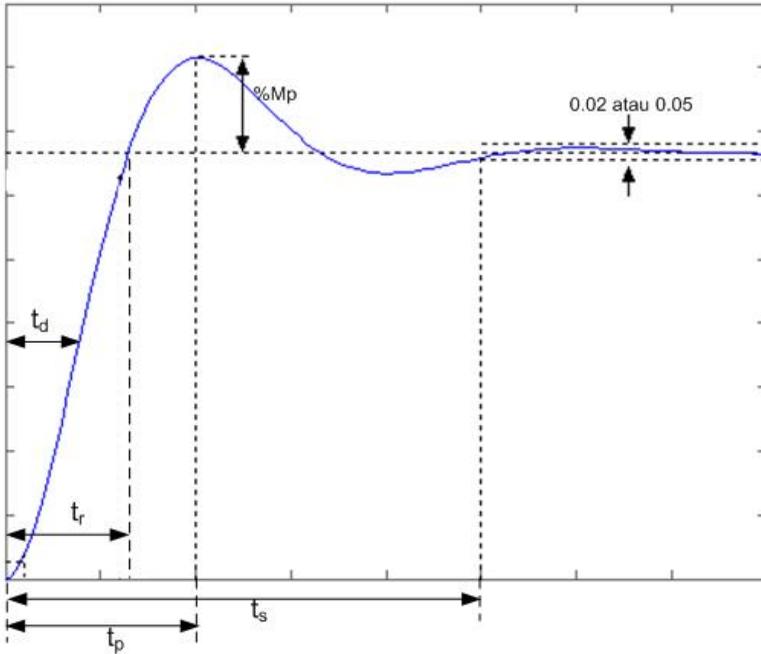
Kontrol proporsional integral diferensial merupakan gabungan dari unit kontrol P, I dan D. Kelebihan dari kontrol PID adalah mampu mengatasi *offset*, mempercepat respon dan memiliki energi ekstra pada saat awal terjadi perubahan beban. Fungsi transfer kontrol PID dengan  $K_p$  sebagai *gain* proporsional,  $K_i$  sebagai *gain* integral dan  $K_d$  sebagai *gain* diferensial adalah sebagai berikut

$$u(t) = K_p e(t) dt + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt + K_p T_D \frac{d e(t)}{dt} \quad (2.25)$$

$$G_c(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_p + \frac{K_i}{s} + K_D s \quad (2.26)$$

## 2.6 Karakteristik Respon Sistem

Perancangan suatu sistem pengendalian bertujuan untuk mendapatkan unjuk kerja yang optimal dari suatu sistem yang dikendalikan. Beberapa parameter yang dapat digunakan untuk mengetahui unjuk kerja dari sistem pengendalian antara lain :



**Gambar 2.4** Kurva Karakteristik Respon

### 2.6.1 *Time Constan* ( $\tau$ )

Konstanta waktu adalah ukuran waktu yang menyatakan kecepatan respon, yang diukur mulai  $t = 0$  sampai dengan respon mencapai 63,2% dari keadaan *steady state*.

### 2.6.2 *Rise Time* ( $t_r$ )

Waktu naik adalah ukuran waktu yang menyatakan keberadaan respon yang diukur mulai dari respon mencapai 5% hingga 95% atau dari 10% hingga 90% dari keadaan *steady state*

### 2.6.3 *Settling Time* ( $t_s$ )

*Settling time* adalah ukuran waktu yang menyatakan bahwa respon telah masuk  $\pm 5\%$  atau  $\pm 2\%$  dari respon *steady state* dan mempertahankan nilainya

#### 2.6.4 Delay Time ( $t_d$ )

Waktu tunda adalah ukuran waktu yang menyatakan faktor keterlambatan respon yang diukur mulai dari  $t = 0$  hingga respon mencapai 50% dari respon *steady state*

#### 2.6.5 Maximum Overshoot ( $M_p$ )

*Maximum overshoot* adalah nilai yang menyatakan perbandingan harga maksimum respon yang melampaui harga *steady state* dibanding dengan nilai *steady state* atau dapat dinyatakan dengan persamaan berikut

$$M_p(\%) = \frac{|\text{nilai puncak pertama kali} - \text{nilai akhir}|}{\text{nilai akhir}} \times 100\% \quad (2.27)$$

#### 2.6.6 Time Peak ( $t_p$ )

*Time Peak* adalah ukuran waktu yang diukur mulai dari  $t = 0$  hingga respon mencapai puncak yang pertama kali (paling besar)

#### 2.6.7 Steady State Error ( $Ess$ )

Ketika masukan sebuah sistem berubah secara tiba-tiba, maka keluaran akan membutuhkan waktu untuk merespon perubahan tersebut. Fase peralihan tersebut akan berhenti pada kisaran nilai input dimana selisih nilai akhir dengan nilai input disebut *steady state error*.

#### 2.7 Root Mean Square Error (RMSE)

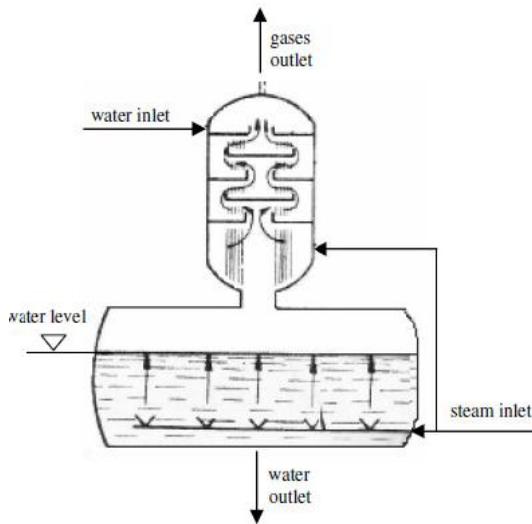
*Root Mean Square Error* (RMSE) merupakan parameter yang digunakan untuk mengevaluasi nilai hasil dari pengukuran terhadap nilai yang dijadikan referensi. Persamaan matematis untuk memperoleh nilai RMSE dapat ditunjukkan oleh persamaan (2.28) berikut :

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2} \quad (2.28)$$

#### 2.8 Deaerator

*Deaerator* merupakan alat yang berfungsi untuk menghilangkan kandungan oksigen dan gas-gas lain yang terlarut

dalam air umpam sebelum masuk ke boiler. Prinsip kerja *deaerator* adalah berdasar pada Hukum Henry yaitu kelarutan gas dalam cairan tergantung pada suhu dan tekanan parsial [1]. *Deaerator* terdiri dari 2 bagian *drum*. *Drum* dibagian atas memiliki ukuran lebih kecil yang berfungsi sebagai pemanas awal dan pembuangan gas-gas dari air umpam. Air masuk pada bagian *drum* atas secara *spray* agar proses pemanasan dan pembuangan gas-gas yang terlaut dalam air lebih sempurna dan kemudian disemprotkan *steam*. Pada bagian ini akan terjadi perubahan temperatur karena adanya perpindaan panas dari *steam* ke air, sehingga kelarutan gas dalam air akan turun dan terpisah dengan air. Gas yang terpisah dari air akan dibuang melewati *Air Vent* dibagian atas *drum* dan air akan turun ke *drum* bagian bawah yang ukurannya lebih besar.



**Gambar 2.5** Skema *Deaerator* [16].

Didalam *drum* bagian bawah, akan terjadi proses pemisahan oksigen lanjut yang masih tersisa dalam air dengan larutan *hydrazine* ( $N_2H_4$ ). Larutan *hydrazine* berfungsi untuk mengikat oksigen sesuai reaksi  $N_2H_4 + O_2 \rightarrow 2H_2O + N_2$ , sehingga gas-

gas oksigen akan keluar dan naik menuju *air vent* dibagian atas. Penghilangan oksigen dan gas-gas lain yang terlarut dalam air umpan sangat penting untuk dilakukan. Hal tersebut karena oksigen dapat membentuk senyawa kimia yang dapat menyebabkan korosi pada dinding boiler dan pipa-pipa yang dilalui. Air jika bereaksi dengan karbon dioksida juga akan membentuk asam karbonat yang dapat menyebabkan korosi lebih lanjut.

*Deaerator* memiliki 2 tipe yaitu *deaerator tipe tray* dan tipe *spray*

a. *Deaerator tipe tray*

*Deaerator* tipe *tray* memiliki 2 bagian yaitu *domed deaerator* berbentuk vertikal yang dipasang diatas silinder vessel horisontal yang berfungsi sebagai tangki penyimpanan air sebelum diumpankan ke boiler. Prinsip kerja *deaerator* tipe ini adalah air yang masuk akan melalui *tray* bagian atas sehingga akan menuju kebawah dan *steam* akan dimasukkan melalui *tray* bagian bawah dan akan menuju keatas. *Steam* akan memanaskan air sehingga gas-gas yang terkandung dalam air akan ikut terangkat oleh *steam* dan dibuang melalui *air vent* dibagian atas *domed deaerator* vertikal, sedangkan air yang sudah tidak mengandung gas-gas tersebut akan menuju vessel horisontal untuk diumpankan keboiler

b. *Deaerator tipe spray*

*Deaerator* tipe *spray* hanya memiliki sebuah vessel horisontal sebagai tempat terjadinya proses deaerasi dan sekaligus sebagai tempat penampungan air sebelum diumpankan ke boiler. Prinsip kerja *deaerator* tipe ini adalah air masuk dengan cara disemprotkan melalui *spray nozzle* padabagian atas dan *steam* dimasukkan melalui bagian bawah. *Steam* akan memanaskan air dan membawa gas-gas yang terlarut dalam air menuju atas untuk dibuang melalui *air vent*. Sedangkan air yang sudah tidak mengandung gas-gas tersebut akan diumpankan menuju boiler

## 2.9 Pemodelan *Deaerator*

Sistem pengendalian *level* pada *deaerator* berfungsi untuk menjaga *suplay* air yang akan diumpankan ke boiler agar tidak melebihi atau kekurangan dan sesuai kapasitas tangki yang telah ditetapkan. Ditinjau dari data spesifikasi desain dan data *Piping and Instrumentation Diagram* yang ada di PT. Petrokimia Gresik, pemodelan sistem *deaerator* 101-U dapat digambarkan sesuai gambar 2.5

Pemodelan matematis ini dibuat sesuai proses input dan output yang terjadi pada *deaerator*, sebagai pendekatan *real plant* untuk kebutuhan simulasi. Pendekatan model *deaerator* adalah dengan menggunakan pendekatan kesetimbangan massa. Menurut William Luyben (1985), pendekatan model yang dilakukan dengan pendekatan kesetimbangan massa adalah akumulasi selisih dari laju aliran yang masuk dengan laju aliran yang keluar. Dengan mengetahui laju massa yang terakumulasi dalam sistem maka mekanisme massa per satuan waktu akan dapat diketahui sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} \text{laju perubahan} \\ \text{massa} \\ \text{dlm Deaerator} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{Laju} \\ \text{massa} \\ \text{input} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \text{Laju} \\ \text{massa} \\ \text{output} \end{bmatrix}$$

Sesuai persamaan massa jenis  $m = \rho V$  maka persamaan matematis *deaerator* 101 U menjadi:

$$\rho \frac{dV}{dt} = \dot{q}_{in} - \dot{q}_{out} \quad (2.29)$$

$$\rho A \frac{dH}{dt} = \dot{q}_{in} - \dot{q}_{out} \quad (2.30)$$

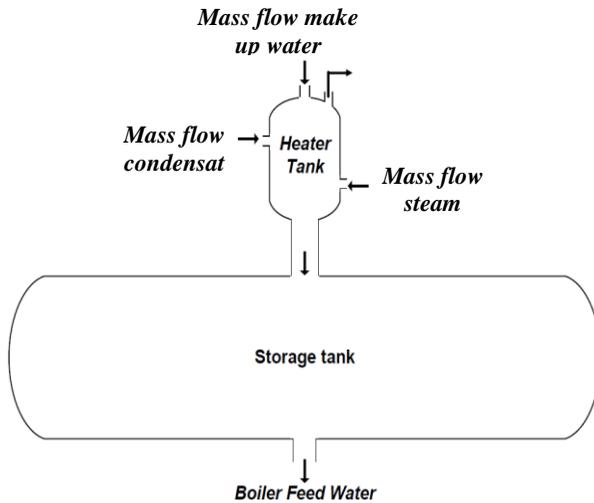
Dimana :

$\dot{q}_i$  = Laju aliran massa dari campuran masukan (kg/s)

$\dot{q}_o$  = Laju aliran massa dari campuran keluaran (kg/s)

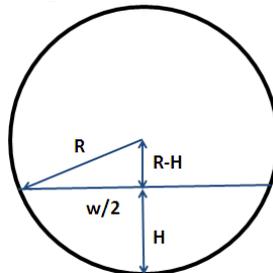
$A$  = Luas permukaan *water* dalam tabung ( $m^2$ )

$\rho$  = Massa jenis cairan diasumsikan konstan ( $kg/m^3$ )



**Gambar 2.6** Skema Pemodelan Sistem *Deaerator* 101-U

Pendekatan model tangki adalah tabung dengan bentuk tangki tabung horizontal. Perhitungan luasan parsial tabung dapat dimodelkan dengan persamaan (2.27) hingga menghasilkan persamaan (2.29) sesuai dengan bentuk sisi lingkaran tabung yang dapat digambarkan oleh gambar 2.7:



**Gambar 2.7** Pendekatan Model Sisi Tabung *Deaerator*

$$\frac{w}{2} = \sqrt{R^2 - (R - H)^2} \quad (2.31)$$

$$A = W L \quad (2.32)$$

$$A = 2\sqrt{R^2 - (R - H)^2}L \quad (2.33)$$

Dimana :

$R$  = Jari-jari *drum* (m)

$w$  = Lebar permukaan *water* didalam *drum* (m)

$H$  = Ketinggian *water (level)* (m)

$A$  = Luas permukaan *water* didalam *drum* (m<sup>2</sup>)

$D$  = Diameter *drum* (m)

$L$  = Panjang *deaerator* (m)

Berdasarkan pemodelan matematis luasan parsial tabung pada persamaan (2.29) maka persamaan (2.26) menjadi

$$\rho(2\sqrt{R^2 - (R - H)^2}L) \frac{dH}{dt} = \dot{q}_{in} - \dot{q}_{out} \quad (2.34)$$

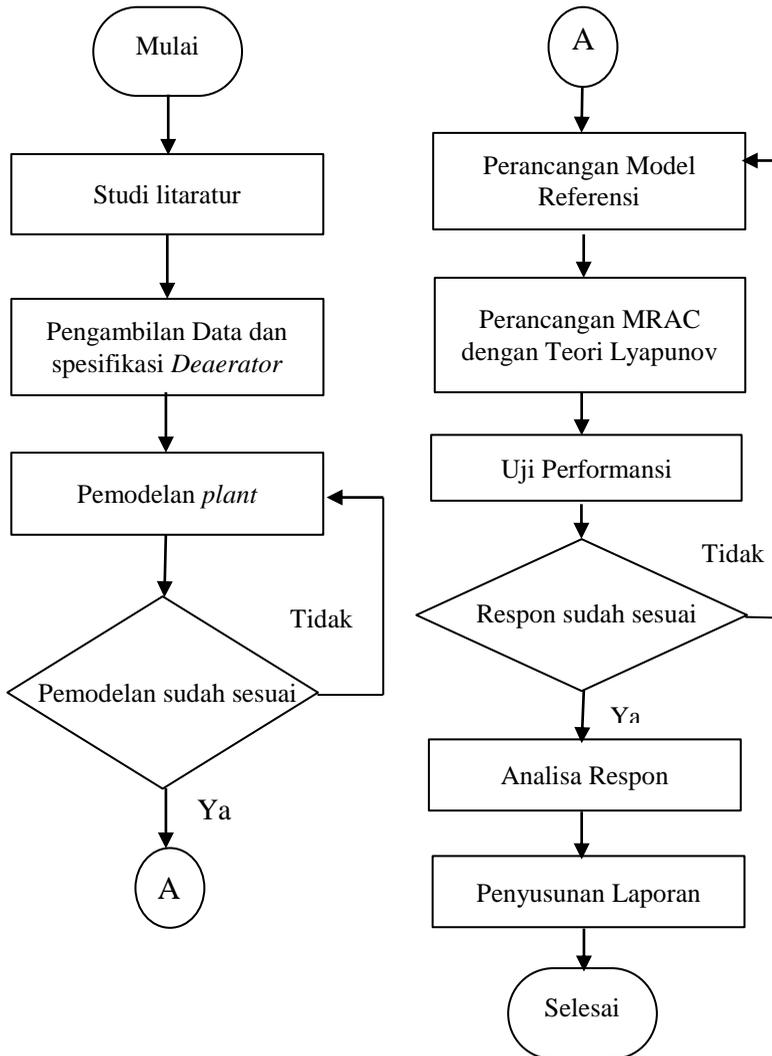
$$\frac{dH}{dt} = \frac{1}{\rho(2\sqrt{R^2 - (R - H)^2}L)} \dot{q}_{in} - \dot{q}_{out} \quad (2.35)$$

### BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi yang digunakan untuk mencapai tujuan dari tugas akhir ini dijelaskan melalui diagram alir yang ditunjukkan pada gambar 3.1. Diagram alir yang dibuat digunakan untuk mendeskripsikan tahap-tahap penelitian yang dilakukan sebagai berikut.

- a. Pengambilan data *plant* seperti spesifikasi *Deaerator* 101-U, sensor dan aktuator, data proses meliputi masukan dan keluaran dari *deaerator* 101-U, *Process Flow Diagram* (PFD), dan *Piping and Instrument Diagram* (P&ID).
- b. Pemodelan *deaerator*, sensor dan aktuator didapatkan dari data yang telah diambil. Pemodelan *deaerator*, sensor dan aktuator kemudian di simulasikan dengan *simulink* pada perangkat lunak Matlab R2013a. Pemodelan *deaerator* menggunakan pendekatan kesetimbangan massa
- c. Simulasi sistem pengendalian *closeloop* dilakukan dengan *simulink* pada perangkat lunak Matlab R2013a, dengan menggunakan strategi kontrol PI. Nilai parameter P dan I didapatkan dengan menggunakan metode *trial and error* untuk mendapatkan karakteristik respon dengan *maximum overshoot* 6,8%, *settling time* sebesar 191 detik, dan *error steady state* sebesar 0%
- d. Validasi model *plant* dilakukan dengan melakukan simulasi *openloop* untuk mengetahui karakteristik respon *level plant* dan simulasi *closeloop* untuk mengetahui eror hasil perbandingan pengukuran *level real plant* dengan hasil simulasi. Untuk memastikan model yang dibuat merepresentasikan *plant* yang sesungguhnya, jika eror yang dihasilkan sudah mencapai  $\leq 2\%$  maka dapat diasumsikan bahwa pemodelan sudah merepresentasikan *plant*, jika eror masih  $> 2\%$  maka perbaikan pemodelan dilakukan.
- e. Perancangan kontrol MRAC dilakukan dengan melakukan penurunan algoritma MRAC dengan menerapkan analisa sistem kestabilan Lyapunov sehingga diperoleh persamaan

untuk melakukan *update* parameter sinyal kontrol  $k_1$  dan  $k_2$ .



**Gambar 3.1** Flowchart Pengerjaan Tugas Akhir

- f. Perancangan model *reference* dilakukan dengan melakukan linierisasi *close-loop* kontrol PI yang telah dirancang sebelumnya sehingga diperoleh matrik A, B, C dan D yang kemudian dijadikan sebagai *state space* dari model *reference*.
- g. Pemilihan gain adaptasi untuk mendapatkan karakteristik respon yang paling baik untuk dapat mengikuti *model reference* yang telah dirancang dengan memberikan variasi nilai *gain* adaptasi  $\gamma_1$  yaitu 0,03, 0,01, 0,009, 0,0077, 0,005, dan 0,002 tanpa memvariasikan nilai  $\gamma_2$  yaitu dengan 0,0001
- h. Analisa respon berdasarkan uji performansi sistem dengan memberikan *tracking set point* naik, turun, dan gabungan naik turun serta pemberian gangguan pada detik ke 1500.
- i. Penyusunan laporan tugas akhir.

### 3.1 Pengambilan Data *Plant*

Data-data yang diambil untuk memodelkan *plant deaerator* antara lain adalah laju aliran massa, data proses serta parameter yang akan mempengaruhi pemodelan *plant* seperti densitas ( $\rho$ ), data *input output plant* dan data desain *plant*. Keseluruhan data yang dibutuhkan untuk pemodelan sistem ditunjukkan pada tabel 3.1 dan tabel 3.2, Parameter tersebut diambil dari data operasi dan data desain pabrik.

**Tabel 3.1** Data Pemodelan *Deaerator* Berdasarkan Data Lapangan [3]

Variabel	Simbol	Jumlah
Laju aliran makeup	$\dot{m}_w$	54,275 kg/s
Laju aliran kondensat	$\dot{m}_k$	0,528 kg/s
Laju aliran steam	$\dot{m}_s$	1,033 kg/s
Laju aliran O <sub>2</sub> pada vent	$\dot{m}_v$	0,153 kg/s
Laju aliran output water	$\dot{m}_o$	55,359 kg/s
Massa jenis makeup	$\rho_w$	933,22 kg/m <sup>3</sup>
Massa jenis steam	$\rho_s$	13,226 kg/m <sup>3</sup>

**Tabel 3.2** Data Pemodelan *Deaerator* Berdasarkan Data Disain *Deaerator* 101-U [3]

Variabel	Simbol	Jumlah
Panjang Heater tank	$L_H$	1,524 m
Diameter Heater tank	$D_H$	2,438 m
Diameter Storage tank	$D_S$	3,048 m
Panjang Storage tank	$L_S$	8,661 m
Level normal air (65%)	$H$	1,981 m
Tekanan operasi	$P$	1,81 bar
Temperatur operasi	$T$	131 °C

### 3.2 Pemodelan *Plant Deaerator*

Sesuai dengan skema model *deaerator* yang ditunjukkan oleh gambar (2.26), pemodelan matematis *plant* dengan pendekatan neraca massa ditinjau dari 2 *tank* yaitu *heater tank* kemudian *storage tank*.

#### 3.2.1 Neraca Massa Heater Tank

Berdasarkan skema sistem *heater tank* yang ditunjukkan oleh gambar 3.2, maka neraca massa pada *heater tank* sesuai dengan persamaan (3.1) berikut :

$$\frac{dm_{ht}}{dt} = \dot{m}_w + \dot{m}_s + \dot{m}_k - \dot{m}_v - \dot{m}_i \quad (3.1)$$

Sistem pada *heater tank* ditinjau pada keadaan tunak. Keadaan tunak adalah keadaan dimana laju perubahan massa terhadap waktu di dalam *heater tank* bernilai tetap. Sehingga persamaan (3.1) menjadi persamaan (3.2) berikut

$$\dot{m}_i = \dot{m}_w + \dot{m}_s + \dot{m}_k - \dot{m}_v \quad (3.2)$$

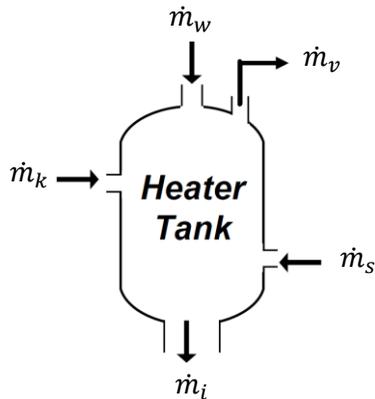
Dimana

$m_{ht}$  = massa dalam *heater tank deaerator*

$\dot{m}_i$  = laju aliran massa air yang keluar dari *heater tank*

$\dot{m}_w$  = laju aliran massa air *makeup* yang masuk

$\dot{m}_k$  = laju aliran massa kondensat yang masuk  
 $\dot{m}_v$  = laju aliran massa oksigen yang keluar dari *vent*  
 $\dot{m}_s$  = laju aliran massa *steam* yang masuk

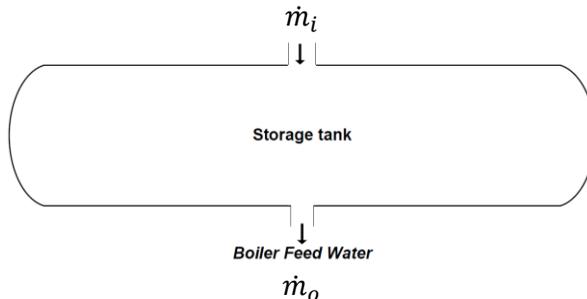


**Gambar 3.2** Skema *Heater Tank*

### 3.2.2 Neraca Massa Storage Tank

Berdasarkan skema *storage tank* yang ditunjukkan oleh gambar 3.3, maka penurunan matematis dengan pendekatan kesetimbangan massa pada sistem *storage tank* adalah sesuai dengan persamaan (3.3) berikut

$$\frac{dm_{st}}{dt} = \dot{m}_i - \dot{m}_o \quad (3.3)$$



**Gambar 3.3** Skema *Storage Tank*

Dimana

$m_{st}$  = massa air dalam *storage tank*

$\dot{m}_i$  = laju aliran massa air yang masuk ke *storage tank*

$\dot{m}_o$  = laju aliran massa yang keluar dari *storage tank*

Laju aliran massa air yang masuk ke *storage tank* adalah sama dengan laju aliran massa air yang keluar dari *heater tank*  $\dot{m}_i$ . Sesuai dengan persamaan (3.2), laju aliran massa air yang keluar dari *heater tank*  $\dot{m}_i$  dipengaruhi oleh laju aliran massa air *make up* yang masuk, laju aliran *steam* yang masuk, laju aliran massa kondensat yang masuk, dan laju aliran massa  $O_2$  yang keluar. Sehingga persamaan kesetimbangan massa dalam *storage tank* dapat dituliskan menjadi persamaan (3.4) berikut

$$\frac{dm_{st}}{dt} = (\dot{m}_w + \dot{m}_s + \dot{m}_k - \dot{m}_v) - \dot{m}_o \quad (3.4)$$

$$\frac{d}{dt}(\rho V) = (\dot{m}_w + \dot{m}_s + \dot{m}_k - \dot{m}_v) - \dot{m}_o \quad (3.5)$$

Massa jenis air demineral  $\rho$  ditetapkan konstan, sedangkan volume air  $V$  mengalami perubahan terhadap waktu, sehingga persamaan (3.5) dituliskan kembali menjadi persamaan (3.6) berikut

$$\rho \frac{dV}{dt} = (\dot{m}_w + \dot{m}_s + \dot{m}_k - \dot{m}_v) - \dot{m}_o \quad (3.6)$$

Untuk mendapatkan fungsi perubahan *level* terhadap waktu, maka persamaan (2.29) disubstitusikan ke persamaan (3.6). Dengan menggunakan pendekatan bentuk tabung horizontal dengan bentuk geometri sisi tabung seperti yang ditunjukkan oleh gambar (2.7) maka diperoleh persamaan (3.7)

$$\rho \times (2\sqrt{(D-H)H} \times L) \frac{dH}{dt} = (\dot{m}_w + \dot{m}_s + \dot{m}_k - \dot{m}_v) - \dot{m}_o \quad (3.7)$$

$$\frac{dH}{dt} = \frac{1}{\rho 2\sqrt{(D-H)HL}} (\dot{m}_w + \dot{m}_s + \dot{m}_k - \dot{m}_v) - \dot{m}_o$$

$$(3.8)$$

Pada persamaan (3.8) diatas, laju aliran massa kondensat  $\dot{m}_k$ , laju aliran massa oksigen yang keluar melalui vent  $\dot{m}_v$  ditinjau bernilai konstan sehingga perubahan *level* deaerator dipengaruhi oleh perubahan dinamik dari laju aliran air *makeup* ( $\dot{m}_w$ ), laju aliran massa steam ( $\dot{m}_s$ ), dan laju aliran massa air yang keluar ( $\dot{m}_o$ )

$$\frac{dH}{dt} = \frac{1}{\rho 2\sqrt{(D-H)HL}} (\dot{m}_w + \dot{m}_s - \dot{m}_o) \quad (3.9)$$

Fungsi transfer akan diperoleh setelah parameter-parameter dimasukkan pada persamaan 3.9 diatas, sehingga diperoleh persamaan fungsi transfer untuk pengendalian *level* seperti pada persamaan (3.10) berikut

$$\frac{dH}{dt} = \frac{1}{23504.45} (\dot{m}_w + \dot{m}_s + \dot{m}_k - \dot{m}_v) - \dot{m}_o \quad (3.10)$$

$$H(s) = \frac{1}{23504.45} (\dot{m}_w(s) + \dot{m}_s(s) - \dot{m}_o(s)) \quad (3.11)$$

Pada *deaerator* dengan 2 tank, terdapat *delay* yang disebabkan oleh pemanasan yang terjadi di *heater tank deaerator*. Kesetimbangan massa pada *heater tank* digunakan untuk memperoleh waktu *delay* dimana laju aliran air akan turun ke *storage tank* setelah massa yang terakumulasi dalam *heater tank* telah mencapai 10 % dari volume *tank* [17].

Dari perhitungan akumulasi massa yang telah dilakukan sesuai data yang diperoleh dari tabel 3.1 dan 3.2

$$\dot{V} = \frac{\dot{m}}{\rho} \quad (3.12)$$

Dimana :

$\dot{V}$  = laju aliran volume ( $m^3/s$ )

Dengan menggunakan persamaan (3.12) diatas maka diperoleh laju aliran volume *makeup water* ( $\dot{V}_w$ ) adalah 0,05816  $m^3/s$  dan

laju aliran volume steam ( $\dot{V}_w$ ) adalah 0,0781 m<sup>3</sup>/s. Sehingga waktu *delay* dapat diperoleh melalui persamaan (3.13) sebagai berikut

$$10\%V_{heater\ tank} = \dot{V}_{total} \times \tau_{DT} \quad (3.13)$$

$$\begin{aligned} \tau_{DT} &= \frac{10\%V_{heater\ tank}}{\dot{V}_{total}} \\ &= \frac{10\%(\pi \times 1,219^2 \times 1,524)m^3}{(0,05816 + 0,0781)m^3/s} \end{aligned}$$

$$\tau_{DT} = 5,22 \approx 5 \text{ detik}$$

Berdasarkan pemodelan plant diatas maka dapat dibuat simulink pada Matlab R2013a dengan struktur seperti yang ditunjukkan oleh gambar 3.4

### 3.3 Pemodelan Actuator Level

*Actuator* yang digunakan adalah control valve yang berfungsi untuk mengatur besarnya laju aliran air demineral yang masuk ke *deaerator*. Pemodelan dilakukan dengan asumsi *Cotrol Valve* adalah orde satu sehingga fungsi transfer *control valve* didapat melalui persamaan (3.12) [18]

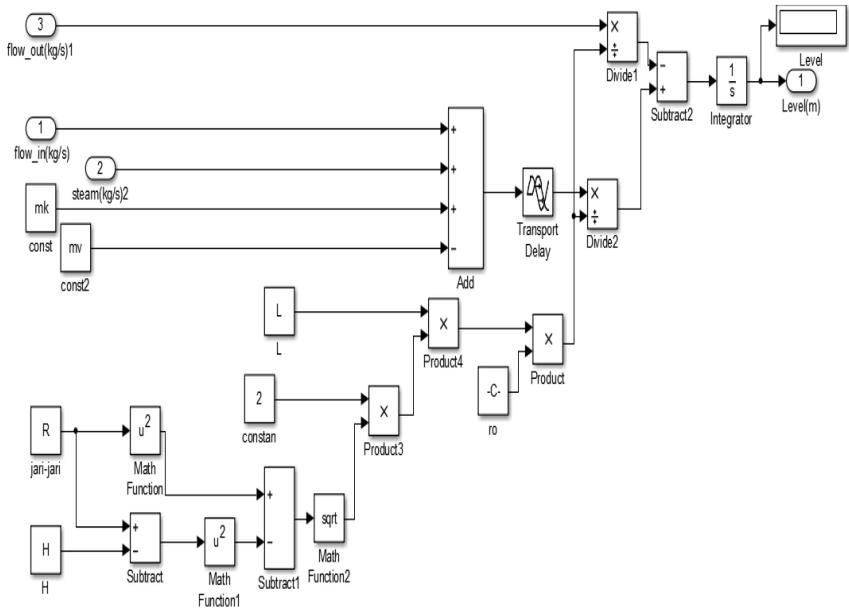
$$FT = \frac{K_{cv}}{\tau_{cv}s+1} \quad (3.14)$$

Diketahui dimana gain *control valve* ( $K_{cv}$ ) dapat diketahui dengan persamaan (3.13)

$$K_{cv} = K_p \times G_i \quad (3.15)$$

Dengan didapatkan nilai  $K_p$  dan  $G_i$  melalui persamaan (3.16) dan (3.17) berikut

$$K_p = \frac{\text{Laju aliran max} - \text{Laju aliran min}}{\Delta \text{Pressure Inlet}} \quad (3.16)$$



**Gambar 3.4** Simulink Sistem *Deaerator*

Nilai laju aliran demineral masukan *deaerator* didapatkan berdasarkan data pengukuran di PT. Petrokimia Pabrik I pada 6 Maret 2017 – 9 Maret 2017. Nilai *pressure inlet* adalah 15 – 3 psia [3].

$$K_p = \frac{55,118 \text{ kg/s} - 51,29 \text{ kg/s}}{(15 - 3) \text{ psi}}$$

$$K_p = 0,319 \text{ kg/s. psi}$$

Nilai  $G_i$  didapatkan melalui persamaan (3.15) berikut:

$$G_i = \frac{\Delta \text{Pressure Inlet}}{\Delta \text{Arus Outlet}} \quad (3.17)$$

$$G_i = \frac{(15 - 3)psi}{(20 - 4)mA}$$

$$G_i = 0,75 psi/mA$$

Maka berdasarkan persamaan (3.15) nilai  $K_{cv}$  didapatkan nilai sebagai berikut:

$$K_{cv} = 0,319 kg/s.psi \times 0,75 psi/mA = 0,239 kg/s.mA$$

Untuk menghitung *time constant* katup pengendali berhubungan dengan waktu *stroke*, prefeksional terhadap posisi katup dan perbandingan konstanta waktu *inverent* terhadap waktu *stroke* melalui persamaan (3.) [18]:

$$\tau_{cv} = T_v(\Delta V + R_v) \quad (3.18)$$

$\tau_{cv}$  = *time constant* katup pengendali (detik)

$T_v$  = waktu *stroke* penuh (1,73 detik)

$R_v$  = Perbandingan konstanta waktu *inverent* terhadap waktu *stroke*, untuk aktuator diagram 0,03.

Nilai laju aliran demineral masukan *deaerator* didapatkan berdasarkan data pengukuran di PT. Petrokimia Pabrik I pada 6 Maret 2017 – 9 Maret 2017.

$$\Delta V = \frac{\text{Laju aliran max} - \text{Laju aliran min}}{\text{Laju aliran max}} \quad (3.19)$$

$$\Delta V = \frac{55,118 kg/s - 51,29 kg/s}{55,118 kg/s} = 0,069$$

Sehingga dapat diketahui *time constant* ( $\tau_{cv}$ ) *control valve* adalah sebagai berikut:

$$\tau_{cv} = 1,73(0,069 + 0,03) = 0,171 s$$

Maka berdasarkan persamaan (3.14) fungsi transfer *control valve* adalah sebagai berikut:

$$FT = \frac{0,239}{0,171s+1} \quad (3.20)$$

### 3.4 Pemodelan Transmitter Level

*Level* yang diukur oleh *level transmitter* adalah *level* air yang terdapat pada *storage tank*. *Level transmitter* yang digunakan merupakan jenis *differensial pressure*. Pengukuran *DP Transmitter* dilakukan berdasarkan perbedaan tekanan dalam *deaerator* yang kemudian diubah menjadi arus. *Range input* pada *DP transmitter* ini 2,5 – 0,8 meter dengan waktu konstan 0,5 sekon. *Transmitter* yang digunakan mentransmisikan sinyal ke kontroler dengan *range* 4-20 mA. Melalui Persamaan (3.21). dapat diperoleh nilai gain transmitter

$$K_T = \frac{\Delta Output}{\Delta Input} \quad (3.21)$$

$$K_T = \frac{(20 - 4)mA}{(2,5 - 0,8)m} = 9,41 \text{ mA/m}$$

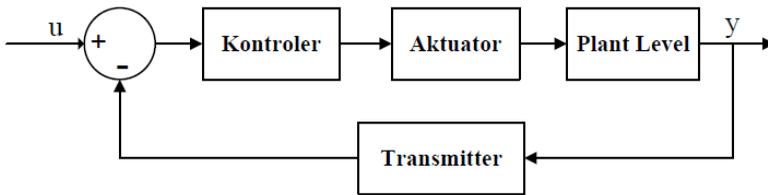
Sehingga dengan persamaan (3.22) dapat diperoleh persamaan fungsi transfer transmitter sebagai berikut

$$FT_T = \frac{K_T}{\tau_T s + 1} \quad (3.22)$$

$$FT_T = \frac{9,41}{0,5 s + 1} \quad (3.23)$$

### 3.5 Perancangan Pengendalian *Proportional* dan *Integral* (PI)

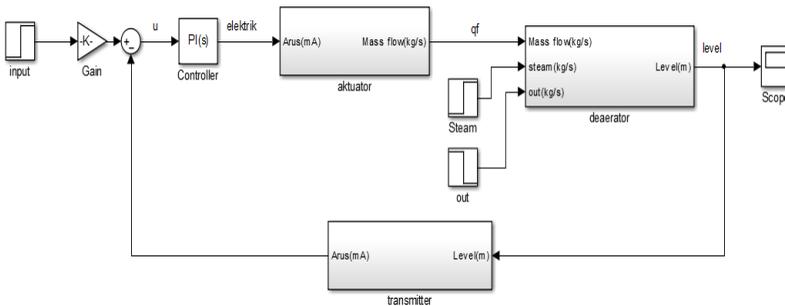
Dalam sistem pengendalian *level* pada *deaerator* 101-U digunakan strategi *single* kontrol [3]. Mode kontrol yang digunakan sistem adalah mode kontrol PI.



**Gambar 3.5** Skema Diagram Blok *Closeloop* Sistem

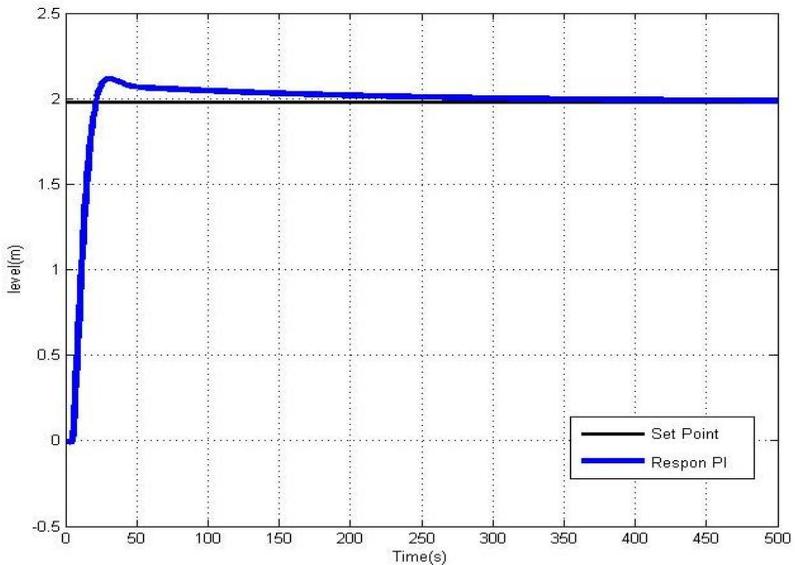
Tuning gain PI dilakukan dengan metode *Trial and Error*. Didapatkan nilai gain *proportional* (P) adalah 864,5 dan nilai I adalah 4,4. Selanjutnya sistem disimulasikan dengan bantuan *software* Matlab R2013a, dengan skema diagram blok seperti pada Gambar 3.5 diatas.

Struktur simulink pengendalian *level deaerator* dengan strategi kontrol PI dapat dilihat pada gambar 3.6. Dari simulink tersebut, didapatkan hasil respon sistem yang ditunjukkan oleh gambar 3.7



**Gambar 3.6** Simulink *Close Loop* dengan Kontrol PI

Berdasarkan Gambar 3.8. respon sistem dengan strategi *control cascade* memiliki nilai *maximum overshoot* 6,86 %, *settling time* pada detik ke 191 dan *error steady state* sebesar 0%

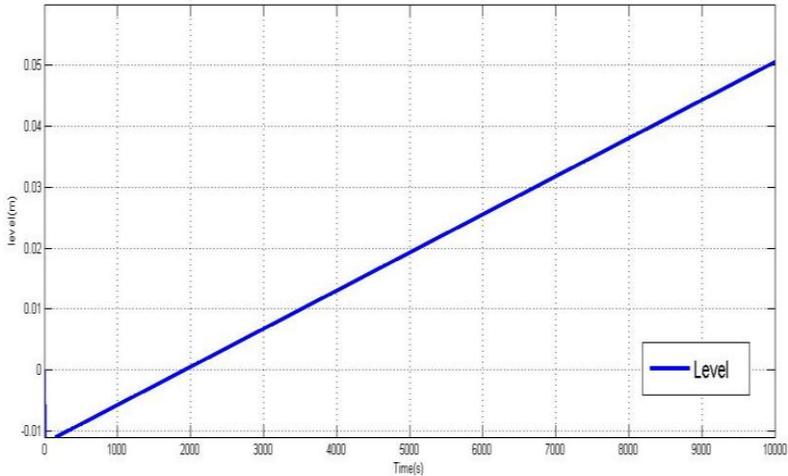


**Gambar 3.7** Respon Sistem Kontrol PI

### 3.6 Validasi Model *Plant*

Setelah pemodelan matematis didapatkan, selanjutnya model disimulasikan dengan bantuan *software* Matlab R2013a untuk dilakukan validasi dengan data hasil pengukuran yang dimiliki oleh PT. Petrokimia Gresik dari tanggal 6 Maret 2017 hingga 9 Maret 2017.

Grafik respon *openloop* sistem *deaerator* ditunjukkan oleh gambar 3.8. Pada grafik terlihat bahwa sistem memiliki karakteristik linier karena pada saat terjadi penambahan input, maka secara otomatis *level* juga akan bertambah dan tidak dapat konstan pada satu nilai *level*. Sehingga sistem *plant* tersebut perlu dikendalikan



**Gambar 3.8** Grafik Respon *Openloop deaerator*

Simulasi *closeloop* dilakukan dengan simulink pada Matlab R2013a untuk memastikan model yang dibuat merepresentasikan *plant* yang sesungguhnya. Dari simulasi *close loop* sistem yang telah dilakukan sesuai gambar 3.6 sehingga diperoleh hasil uji validasi *level plant* dengan simulasi yang dapat ditunjukkan oleh tabel 3.3 berikut

**Tabel 3.3** Data Hasil Uji Validasi *Level plant* dengan Simulasi

<b>Nilai Level Plant Lapangan</b>	<b>Nilai Level Plant Simulasi</b>	<b>Error (%)</b>
2,0702	2,0708	0,028983
2,0919	2,0925	0,028682
2,1053	2,1058	0,02375
2,0579	2,0585	0,029156
1,9708	1,9713	0,02537
1,9390	1,9395	0,025786
1,8843	1,8848	0,026535
2,0055	2,006	0,024931

2,4181	2,4187	0,024813
2,2323	2,2329	0,026878

Dari data pada tabel 3.3 dapat diperoleh nilai eror rata-rata validasi adalah sebesar 0,026%. Sehingga sesuai dengan nilai eror maksimal yang ditentukan untuk validasi yaitu  $\leq 2\%$ , maka plant yang dimodelkan dapat dianggap telah dapat merepresentasikan *real plant deaerator*.

### 3.7 Perancangan Pengendalian MRAC

#### 3.7.1. Perancangan *Model Reference*

*Model reference* merupakan model sistem yang responnya dijadikan acuan untuk diikuti oleh respon sistem yang sedang dikontrol. Pada tugas akhir ini, perancangan *model reference* mengacu pada penelitian [19] yaitu dengan melinierisasi sistem *close loop*. *Model Reference* diperoleh dari matrik hasil linierisasi sistem *close loop control* yang telah dirancang sebelumnya dengan mengganti blok *transport delay* pada *plant* dengan fungsi transfer *delay* sesuai pendekatan *Pade* orde satu yang ditunjukkan sesuai persamaan 3.24 berikut.

$$FT_{DT} = \frac{2 - \tau_{DT}s}{2 + \tau_{DT}s} \quad (3.24)$$

Dengan memasukkan nilai waktu *delay* yang diperoleh dari persamaan (3.12) maka dapat diperoleh fungsi transfer *delay* sebagai berikut

$$FT_{DT} = \frac{2 - 5s}{2 + 5s}$$

Dengan bantuan fungsi dari matlab [A,B,C,D] = linmod('namafilesimulink') maka dapat dihasilkan matrik A, B, C dan D sebagai berikut

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & -5,946 \times 10^{-5} & 3,403 \times 10^{-5} \\ 1 & -2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -82,644 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1,627 \times 10^4 & 1 & -5,848 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1,398 & -0,4 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 41,322 \\ 8,135 \times 10^3 \\ 0 \end{bmatrix}$$

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

$$D = [0]$$

Matrik A, B, C dan D yang telah dihasilkan kemudian digunakan sebagai *state space model reference*.

### 3.7.2. Perancangan Algoritma *Adjustment mechanism*

Perancangan algoritma *adjustment mechanism* dilakukan untuk memperoleh persamaan yang digunakan untuk *update* parameter kontrol. Pertama dilakukan penurunan persamaan diferensial *error* sehingga menghasilkan persamaan (3.25) berikut

$$e = y - y_m \quad (3.25)$$

Pada persamaan *error* diatas terdapat parameter-parameter yang dapat diatur untuk mencari fungsi Lyapunov dan mekanisme adaptasi system yang akan membuat *error* menjadi nol

Dengan diinginkan respon system yang mengikuti model system dengan persamaan berikut :

$$\frac{dy_m}{dt} = -a_m y_m + b_m u_c \quad (3.26)$$

dan persamaan sistem proses adalah

$$\frac{dy}{dt} = -ay + bu \quad (3.27)$$

Pada perancangan ini digunakan skema untuk *update* parameter kontroler dengan algoritma penempatan *Pole Placement*, dimana blok diagramnya dapat dilihat sesuai gambar 2.2

Persamaan kontroler system akan dihasilkan seperti persamaan berikut :

$$u(t) = k_1 u_c(t) - k_2 y(t) \quad (3.28)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (3.28) ke persamaan (3.27), maka diperoleh persamaan sistem proses menjadi

$$\frac{dy}{dt} = -(a + bk_2)y + bk_2 u_c \quad (3.29)$$

Jika keluaran sistem *plant* sama dengan keluaran model sistem *loop* tertutup, maka didapatkan persamaan parameter  $k_1$  dan  $k_2$  seperti ditunjukkan pada persamaan berikut :

$$k_1 = \frac{b_m}{b} \quad (3.30)$$

$$k_2 = \frac{a_m - a}{b} \quad (3.31)$$

*Error* sistem merupakan selisih antara keluaran sistem dengan keluaran model yang ditunjukkan oleh persamaan (3.25). Untuk membuat *error* yang kecil, maka dilakukan penurunan persamaan *error*

$$\frac{de}{dt} = -a_m e - (bk_2 + a - a_m)y + (bk_1 - b_m)u_c \quad (3.32)$$

*Error* akan menuju nilai nol ketika parameter-parameternya sama seperti pada persamaan (3.30) dan (3.31). Untuk membangun parameter dari mekanisme pengaturan yang akan mengubah nilai parameter  $k_1$  dan  $k_2$  agar sesuai dengan nilai yang diinginkan maka diasumsikan sebuah nilai konstan  $by > 0$  dan fungsi kuadratik Lyapunov “V” didapatkan sebagai berikut [13]:

$$V(e, k_1, k_2) = \frac{1}{2} \left[ e^2 + \frac{1}{b\gamma} (bk_2 + a - a_m)^2 \right] + \frac{1}{b\gamma} (bk_1 - b_m)^2 \quad (3.33)$$

Fungsi diatas akan nol ketika nilai *error* nol dan parameter kontroler sesuai dengan harga yang diinginkan. Agar fungsi memenuhi kualifikasi sebagai fungsi Lyapunov, turunan  $\frac{dV}{dt}$  harus *negative*. Sehingga dari persamaan (3.33) diperoleh persamaan (3.34) berikut

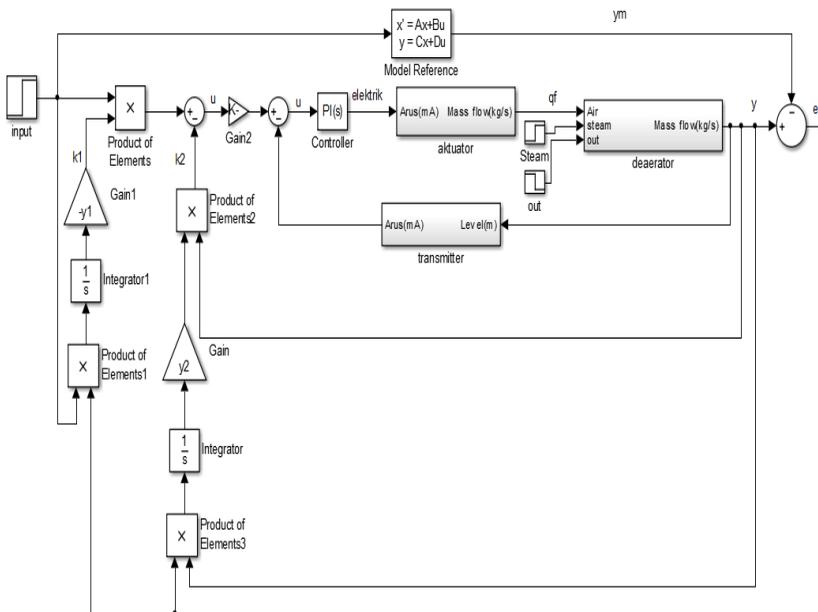
$$\begin{aligned} \frac{dV}{dt} &= e \frac{de}{dt} + \frac{1}{\gamma} (bk_2 + a - a_m) \frac{dk_2}{dt} + \frac{1}{\gamma} (bk_1 - b_m) \frac{dk_1}{dt} \\ &= -a_m e^2 + \frac{1}{\gamma} (bk_2 + a - a_m) \left( \frac{dk_2}{dt} - \gamma y e \right) + \frac{1}{\gamma} (bk_1 - b_m) \left( \frac{dk_1}{dt} + \gamma u_c e \right) \end{aligned} \quad (3.34)$$

Dari persamaan (3.34) diperoleh persamaan untuk melakukan *update* parameter :

$$\frac{dk_1}{dt} = -\gamma u_c e \quad (3.35)$$

$$\frac{dk_2}{dt} = \gamma y e \quad (3.36)$$

Dari penurunan algoritma pengaturan parameter system adaptif dengan teori kestabilan Lyapunov diatas, dengan diperoleh persamaan untuk melakukan *update* parameter *controller* yang ditunjukkan oleh persamaan (3.35) dan (3.36), maka dapat dilakukan perancangan simulink MRAC dengan Matlab 2013a sesuai gambar 3.9 berikut



**Gambar 3.9** Simulink MRAC

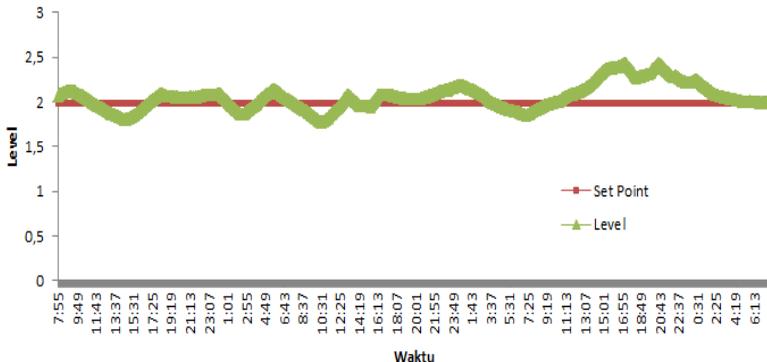
*Halaman ini memang sengaja dikosongkan*

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dibahas hasil pengujian dari sistem *Model Reference Adaptive Control* yang telah dirancang. Pengujian dilakukan dengan pengujian perubahan gain adaptasi, uji *tracking* naik, uji *tracking* turun, uji *tracking* naik turun, uji pemberian gangguan, uji *noise*, dan uji gabungan *noise* dan gangguan

### 4.1 Respon Kontrol *Level* Pabrik

Untuk kebutuhan pemodelan dan analisa, maka dilakukan pengambilan data *level real plant deaerator* 101-U di Pabrik Amonia PT. Petrokimia Gresik dari tanggal 6 Maret 2017 hingga 9 Maret 2017. Strategi kontrol yang digunakan untuk mengendalikan *level deaerator* 101-U adalah dengan PI konvensional. Berdasarkan data yang diperoleh, dapat diketahui grafik respon *level deaerator* yang dihasilkan adalah sesuai dengan yang ditunjukkan oleh gambar 4.1 berikut



**Gambar 4.1** Grafik *Level Real Plant Deaerator* Pabrik

berdasarkan grafik yang dihasilkan, dapat diketahui respon *level* yang dimiliki sangat berfluktuasi. Dari perhitungan yang dilakukan, diperoleh nilai RMSE (*Root Mean Square Error*) yang

dihasilkan respon *level* terhadap set point adalah sebesar 0,1633. Dari nilai RMSE yang dihasilkan relatif besar sehingga dapat diketahui bahwa respon *level* yang dihasilkan oleh penggunaan strategi kontrol PI konvensional kurang mampu dalam menjaga kestabilan *level deaerator* 101-U.

#### 4.2 Uji Perubahan Gain Adaptasi

Simulasi kontrol MRAC dilakukan dengan pengujian gain adaptasi untuk mengetahui pengaruh nilai gain adaptasi terhadap *output plant*. Pemilihan gain adaptasi yang sesuai dilakukan untuk mendapatkan karakteristik respon *level deaerator* terbaik dengan pemasangan MRAC Lyapunov Rule. Pada tugas akhir ini pemilihan gain adaptasi dilakukan dengan metode *trial error* dengan menggunakan variasi gain adaptasi yaitu  $\gamma_1 = 0,03$ ,  $\gamma_1 = 0,01$ ,  $\gamma_1 = 0,009$ ,  $\gamma_1 = 0,0077$ ,  $\gamma_1 = 0,005$ , dan  $\gamma_1 = 0,002$  dengan nilai  $\gamma_2$  yang sama yaitu 0,0001. Perbedaan beberapa karakteristik respon hasil kontrol MRAC dengan perbedaan nilai gain adaptasi ( $\gamma_1$ ) dapat dilihat pada tabel 4.1 berikut.

**Tabel 4.1** Karakteristik Respon MRAC dengan Variasi Gain Adaptasi

No	$\gamma_1$	$\gamma_2$	<i>Overshoot</i>	<i>Rise time</i>	Waktu adaptasi
1	0,03	0,0001	74,7 %	11,6 s	osilasi
2	0,01	0,0001	10,8 %	24,8 s	143,3 s
3	0,009	0,0001	7,4 %	27,9 s	118,4 s
4	0,0077	0,0001	4,1 %	33,8 s	94,5 s
5	0,005	0,0001	1,7 %	64,2 s	302 s
6	0,002	0,0001	0 %	211 s	450 s

Berdasarkan grafik-grafik respon yang dihasilkan sesuai gambar 4.2, dapat diketahui bahwa performansi respon sistem dalam mengikuti *model reference* sangat dipengaruhi oleh

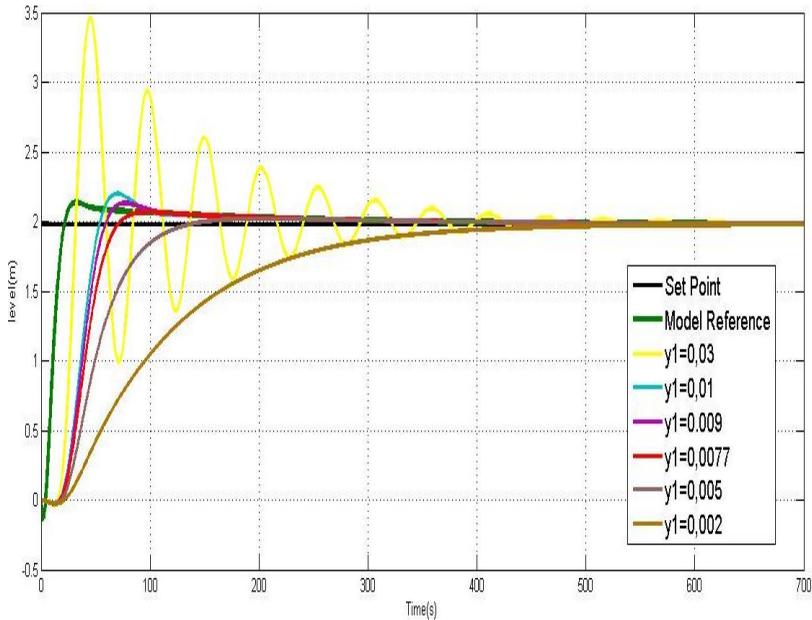
besarnya nilai gain adaptasi yang diberikan. Nilai adaptasi yang berbeda akan menghasilkan karakteristik respon yang berbeda pula. Dengan pemberian *gain* adaptasi ( $\gamma_1$ ) 0,01 sampai 0,002 respon yang dihasilkan masih dapat mengikuti referensi yang diinginkan namun dengan *gain* adaptasi ( $\gamma_1$ ) = 0,03 menghasilkan respon yang osilasi dengan *overshoot* yang tinggi.

Berdasarkan data yang ditunjukkan oleh tabel 4.1 diatas dapat diketahui bahwa perbedaan gain adaptasi menyebabkan perubahan karakteristik respon yang dihasilkan. Semakin besar nilai  $\gamma_1$  maka *overshoot* yang dihasilkan respon akan semakin besar pula, meskipun *rise time* yang dihasilkan akan semakin cepat sehingga akan lebih memungkinkan untuk terjadi osilasi. Diketahui bahwa untuk nilai  $\gamma_1 = 0,03$  mengalami osilasi dengan *overshoot* yang sangat tinggi yaitu mencapai 74,7 % meskipun memiliki respon yang paling cepat yang ditunjukkan dengan *rise time* yang sangat cepat yaitu 11,6 detik. Untuk nilai  $\gamma_1 = 0,002$  menghasilkan respon yang paling lambat yaitu dengan nilai *rise time* 211 detik. Sehingga dapat diketahui bahwa semakin besar nilai *gain adaptasi* ( $\gamma_1$ ) maka respon yang dihasilkan oleh *output plant* akan semakin cepat dan untuk ( $\gamma_1$ ) yang terlalu besar akan menghasilkan respon yang berosilasi.

Dilihat dari parameter *overshoot* yang dihasilkan, dapat diketahui bahwa MRAC dengan  $\gamma_1 = 0,03$  memiliki *overshoot* yang paling tinggi dengan 74,7 %. Jika dilihat dari tabel 4.1 penurunan nilai *overshoot* terjadi seiring dengan penurunan nilai *gain* adaptasi ( $\gamma_1$ ) dan pada pemberian gain adaptasi terendah yaitu  $\gamma_1 = 0,002$  memiliki nilai *overshoot* terendah pula yaitu 0 % atau tidak terdapat *overshoot*. Sehingga dapat diketahui bahwa semakin besar nilai *gain* adaptasi ( $\gamma_1$ ) maka respon yang dihasilkan akan memiliki *overshoot* yang semakin besar pula.

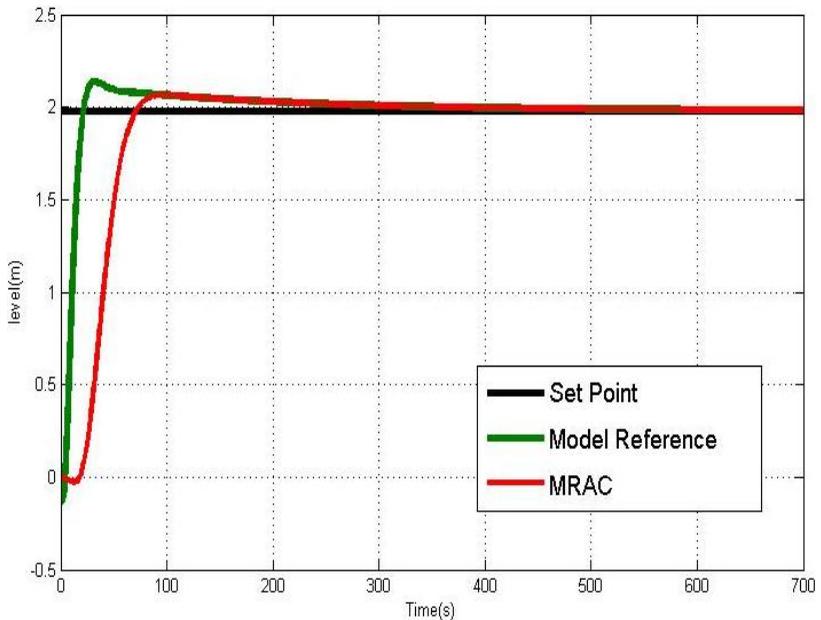
Dilihat dari parameter waktu adaptasi, dapat diketahui bahwa dari beberapa *gain* adaptasi yang diujikan, untuk nilai gain adaptasi  $\gamma_1 = 0,0077$  memiliki waktu adaptasi paling cepat yaitu 94,4 detik artinya dengan nilai gain tersebut *output plant*

memiliki respon paling cepat untuk mengikuti model *reference* yang telah dirancang.



**Gambar 4.2** Respon *Level* dengan Variasi Gain Adaptasi ( $\gamma_1$ )

Dari perbandingan karakteristik respon yang dihasilkan, maka pada tugas akhir ini dipilih nilai gain adaptasi yang digunakan adalah  $\gamma_1 = 0,0077$  dan  $\gamma_2 = 0,0001$ , karena diketahui bahwa dengan nilai *gain* adaptasi tersebut *output plant* memiliki respon yang paling cepat dalam mengikuti *model reference* yang digunakan dengan *overshoot* yang relatif rendah yaitu 4,1 %. Sehingga simulasi respon MRAC tanpa gangguan dapat ditunjukkan oleh gambar 4.3 dengan perbandingan karakteristik respon yang dihasilkan MRAC dengan *model reference* dapat ditunjukkan oleh tabel 4.2



**Gambar 4.3** Respon *Level* MRAC tanpa gangguan

**Tabel 4.2** Perbandingan Karakter Respon MRAC dengan *Model Reference*

No	Karakter Respon	MRAC	<i>Model Reference</i>
1	<i>Overshoot</i>	4,1 %	7,7 %
2	<i>Rise Time</i>	33,8 s	12,2 s
3	ESS	0 %	0 %

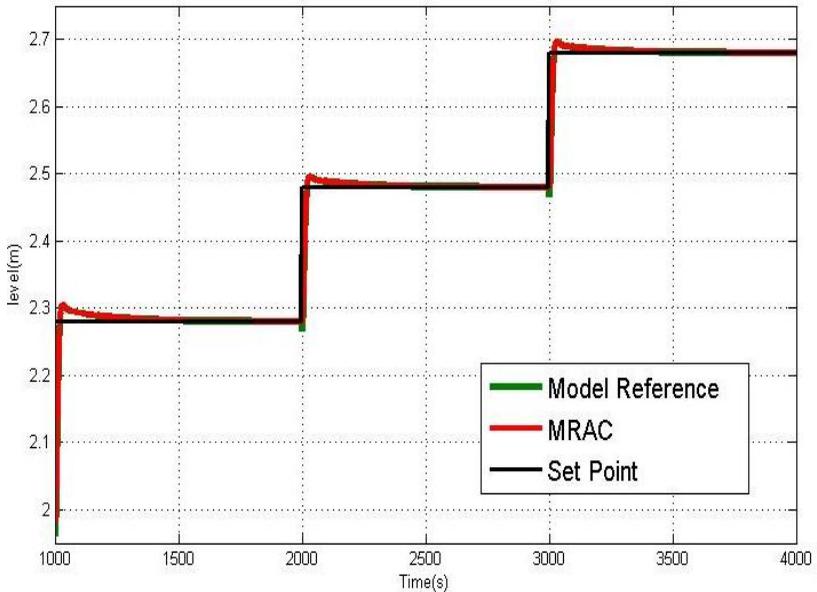
Dari perbedaan waktu naik (*rise time*), dapat diketahui bahwa respon MRAC mengalami ketertinggalan (*lagging*) dari *model reference* yang diikuti. Hal tersebut dikaren sistem MRAC membutuhkan proses adaptasi yang dilakukan oleh kontroler. Nilai *error* yang dihasilkan oleh ketertinggalan respon keluaran MRAC terhadap *model reference* digunakan untuk melakukan adaptasi sehingga semakin lama *error* yang dihasilkan akan semakin kecil. Dari data respon yang dihasilkan, dapat diperoleh

nilai RMSE (*Root Mean Square Error*) antara respon keluaran MRAC terhadap *model reference* setelah waktu adaptasinya yaitu pada detik ke 94,5 adalah sebesar  $4,91 \times 10^{-4}$ . Dari nilai RMSE yang dihasilkan relatif kecil, maka dapat diketahui bahwa sistem MRAC dapat beradaptasi dengan baik terhadap *model reference* yang diikuti.

### 4.3 Uji Tracking Set Point Naik

Untuk mengetahui kehandalan dari sistem kontrol MRAC yang dirancang dengan nilai *gain* adaptasi yang telah dipilih, maka perlu dilakukan pengujian. Pengujian yang pertama adalah dengan melakukan *tracking* naik *model reference* sesuai dengan *tracking* naik dari *set point plant*. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam mengikuti *model reference* yang berubah naik sesuai kenaikan *set point*. Pada *set point* pertama sebesar 2,28 m *settling time* dari respon *model reference* adalah 228,5 s dengan *overshoot* sebesar 1,06% dan *error steady state* sebesar 0,032%. Pada *set point* kedua sebesar 2,48 m *settling time* dari respon *model reference* adalah 224,2 s dengan *overshoot* sebesar 0,64% dan *error steady state* sebesar 0,004%. Pada *set point* ketiga adalah 2,68 m *settling time* dari respon *model reference* adalah 223,8 s dengan *overshoot* sebesar 0,6% dan *error steady state* sebesar 0,0023%. Respon hasil pengujian dapat dilihat sesuai gambar 4.4

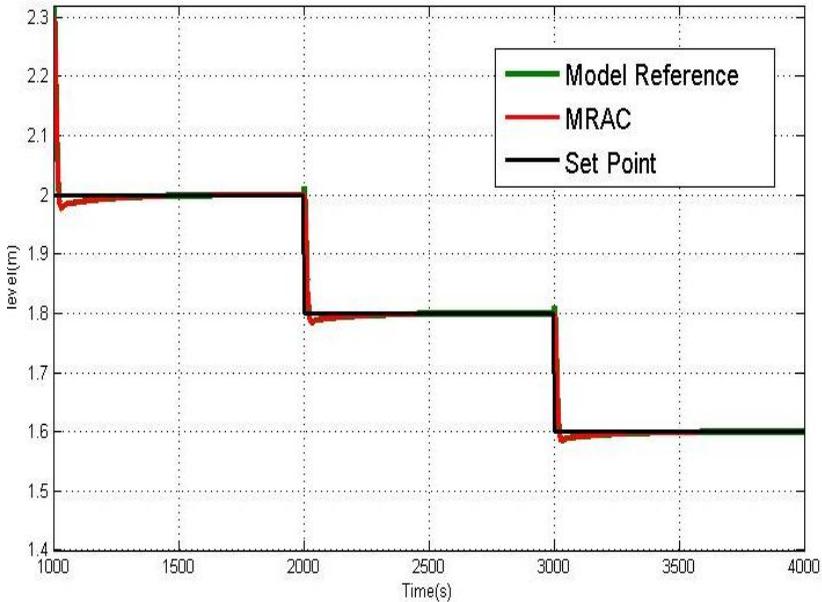
Dari grafik respon sistem kontrol MRAC yang ditunjukkan oleh gambar 4.4 dapat dilihat bahwa respon dapat mengikuti *tracking* naik dari *model reference* dengan baik. Didapatkan nilai RMSE (*Root Mean Square Error*) dari respon level dalam mengikuti *model reference* yang digunakan adalah sebesar  $2,582 \times 10^{-3}$ . Dari nilai RMSE yang didapatkan relatif kecil sehingga dapat diketahui bahwa kehandalan sistem kontrol MRAC yang dirancang adalah baik dalam mengikuti *tracking model reference* naik.



**Gambar 4.4** Respon Uji *Tracking Level Naik*

#### 4.4 Uji Tracking *Set Point Turun*

Pengujian selanjutnya adalah dengan melakukan *tracking set point* turun. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam mengikuti perubahan *model reference* yang berubah turun sesuai dengan penurunan *set point*. Pada *set point* pertama *level* diatur sebesar 2 m *settling time* dari respon *model reference* adalah 216,2s dengan *undershoot* sebesar 1,16% dan *error steady state* sebesar 0,0046%. Pada *set point* kedua sebesar 1,8 m *settling time* dari respon *model reference* adalah 224,1 s dengan *undershoot* sebesar 0,88% dan *error steady state* sebesar 0,0036%. Pada *set point* ketiga adalah 1,6m *settling time* dari respon *model reference* adalah 223,8 s dengan *undershoot* sebesar 1% dan *error steady state* sebesar 0,004%. Respon hasil pengujian dapat dilihat sesuai gambar 4.5

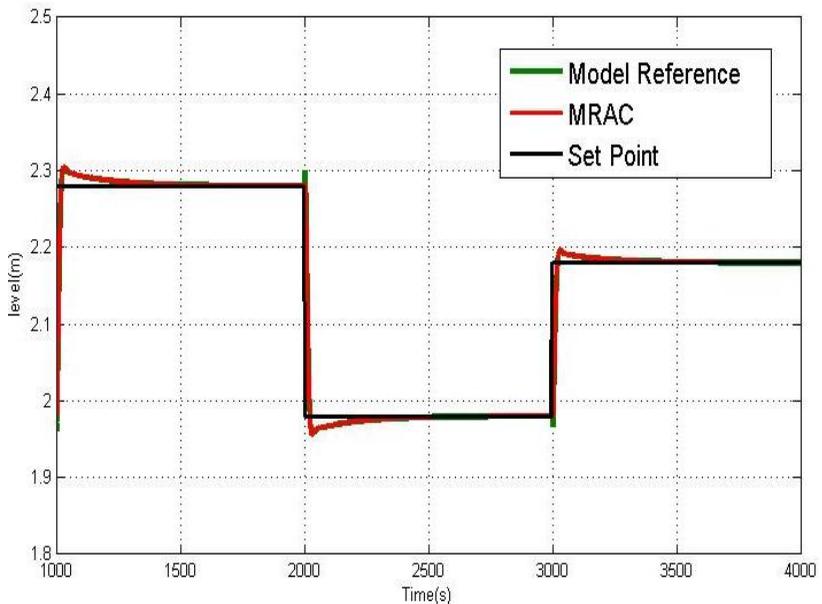


**Gambar 4.5** Respon Uji *Tracking Level Turun*

Dari grafik respon sistem kontrol MRAC yang ditunjukkan oleh gambar 4.5 dapat dilihat bahwa respon dapat mengikuti *tracking model reference* dengan baik. Didapatkan nilai RMSE (*Root Mean Square Error*) dari respon *level* dalam mengikuti *model reference* yang digunakan adalah sebesar  $2,52 \times 10^{-3}$ . Dari nilai RMSE yang didapat, sehingga dapat diketahui bahwa kehandalan sistem kontrol yang dirancang adalah baik dalam mengikuti *tracking model reference* turun.

#### 4.5 Uji *Tracking Set Point Naik Turun*

Pengujian selanjutnya adalah dengan melakukan *tracking set point* naik dan kemudian turun. Respon hasil pengujian dapat dilihat sesuai gambar 4.6 berikut



**Gambar 4.6** Respon Uji *Tracking Level* Naik Turun

Pada *set point* pertama sebesar 2,28 m *settling time* dari respon *model reference* adalah 228,52 s dengan *overshoot* sebesar 1,06% dan *error steady state* sebesar 0,0043%. Pada *set point* kedua sebesar 1,98 m *settling time* dari respon *model reference* adalah 222 s dengan *undershoot* sebesar 1,2% dan *error steady state* sebesar 0,0048%. Pada *set point* ketiga adalah 2,18 m *settling time* dari respon *model reference* adalah 221,6 s dengan *overshoot* sebesar 0,72% dan *error steady state* sebesar 0,0029%

Dari grafik respon sistem kontrol MRAC yang ditunjukkan oleh gambar 4.6 didapatkan nilai RMSE (*Root Mean Square Error*) dari respon *level* dalam mengikuti *model reference* yang digunakan adalah sebesar  $2,462 \times 10^{-3}$ . Dari nilai RMSE yang didapat dapat diketahui bahwa kehandalan sistem kontrol yang dirancang adalah baik dalam mengikuti perubahan *model reference* naik dan kemudian turun.

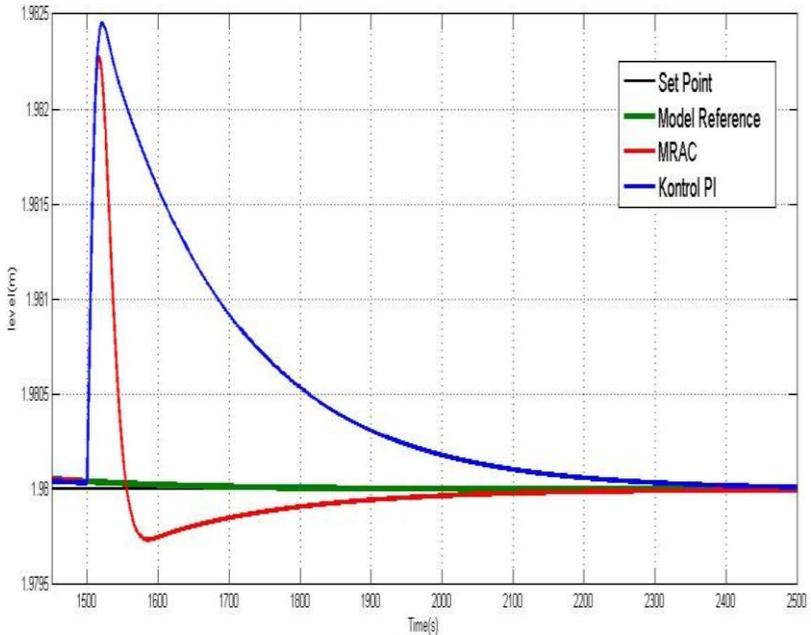
#### 4.6 Uji Gangguan

Pengujian yang selanjutnya adalah dengan memberikan gangguan berupa perubahan laju aliran output dari nilai awal adalah 55,71 kg/s menjadi 51 kg/s. Gangguan diberikan pada sistem saat detik ke 1500. Pemberian gangguan juga diberikan pada sistem kontrol PI yang telah dirancang sebelumnya. Hasil respon *level* sistem kontrol MRAC dan PI saat diberi gangguan dapat dilihat sesuai gambar 4.7 dan karakteristik respon gangguan antara kedua sistem kontrol sesuai tabel 4.3 berikut

**Tabel 4.3** Perbandingan Karakteristik Respon antara PI dan MRAC dengan Pemberian Gangguan

No	Controller	Overshoot	Settling time
1	MRAC	0,113 %	375 detik
2	PI	0,122 %	641 detik

Dari tabel 4.3 diatas dapat diketahui perbandingan karakter respon antara sistem dengan kontrol PI dan MRAC. Dari parameter *rise time* dapat diketahui *controller* PI memiliki respon yang lebih cepat dibanding MRAC dengan 69 detik. Jika dilihat dari parameter *overshoot*, MRAC lebih dapat meredam *overshoot* respon dibanding PI dengan 0,113% meskipun tidak terlalu signifikan perbedaannya. Dari hasil parameter *settling time* dapat diketahui bahwa MRAC dapat mengembalikan respon ke keadaan normal lebih cepat saat diberi gangguan yaitu 375 s dibanding dengan PI . Kemampuan MRAC untuk dapat mengembalikan respon ke keadaan normal setelah diberi gangguan dengan waktu yang lebih cepat dari pada kontrol PI dikarenakan MRAC memiliki mekanisme pengaturan yang dapat *update* sinyal kontrol berdasarkan *error* yang dihasilkan antara keluaran *plant* dengan *model reference*.

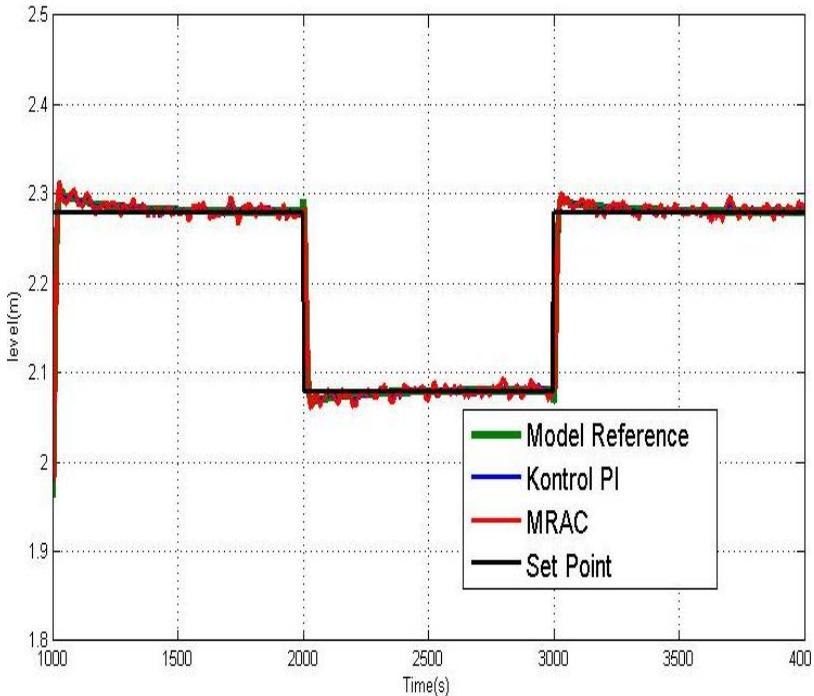


**Gambar 4.7** Respon *Level* dengan Kontrol PI dan MRAC saat diberi gangguan

#### 4.6 Uji *Noise*

Pengujian *noise* merupakan pengujian dengan penambahan *noise* pengukuran yang terjadi karena adanya gangguan *random* pada *plant* yang menyebabkan perubahan *level* menjadi tidak beraturan. *Noise* pengukuran juga dapat terjadi akibat kesalahan pengukuran pada *transmitter* [3]. Pada tugas akhir ini pengujian *noise* dilakukan dengan menambahkan blok *Random Number* pada keluaran *plant* dengan nilai variasi adalah 0,0202 yang diperoleh dari perhitungan variasi data pengukuran *level plant deaerator* U-101 di Pabrik I PT. Potrokimia dari tanggal 6 Maret 2017 hingga 9 Maret 2017. Pengujian *noise* diberikan pada saat kondisi sistem sedang berada pada kondisi *tracking set point* dari detik ke 1000 hingga detik ke 4000. Hasil simulasi pengujian *noise* ditunjukkan oleh gambar 4.8

Dari hasil simulasi yang ditunjukkan oleh gambar 4.8, menunjukkan bahwa respon yang dihasilkan oleh kontrol PI maupun MRAC tetap mengalami osilasi dengan perbedaan kedua respon yang tidak signifikan. Meskipun mengalami osilasi yang tidak beraturan, respon MRAC tetap mampu bertahan dan memberikan respon yang tetap dapat mengikuti *model reference* ditunjukkan dengan nilai RMSE (*Root Mean Square Error*) yang relatif kecil yaitu  $5,42 \times 10^{-3}$

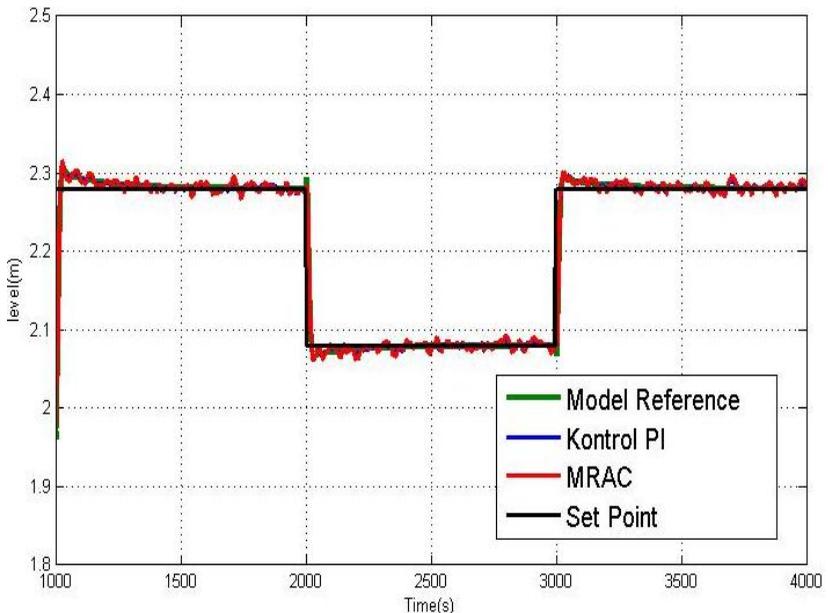


**Gambar 4.8** Respon *Level* dengan Kontrol PI dan MRAC saat diberi *Noise*

#### 4.7 Uji Gabungan

Uji gabungan merupakan gabungan dari uji *noise* pengukuran dan uji gangguan. Gangguan yang diberikan adalah

penurunan laju aliran output dari nilai awal adalah 55,71 kg/s menjadi 51 kg/s pada detik ke 1500. Karakteristik *Noise* yang diberikan sama seperti karakteristik *noise* yang diberikan pada uji *noise* yang telah dilakukan pada subbab 4.6. Uji gabungan ini juga diberikan saat sistem berada dalam keadaan *tracking set point* dari detik ke 1000 hingga detik ke 4000. Hasil simulasi pengujian gabungan ditunjukkan oleh gambar 4.9.



**Gambar 4.9** Respon *Level* dengan Kontrol PI dan MRAC saat diberi *Noise* dan Gangguan

Dari hasil simulasi yang ditunjukkan oleh gambar 4.9 menunjukkan bahwa respon yang dihasilkan oleh kontrol PI maupun MRAC tidak terlalu banyak mengalami perubahan dari grafik hasil simulasi uji *noise* pada gambar 4.8. Gangguan yang diberikan tidak memberikan pengaruh yang berarti terhadap osilasi yang terjadi. Untuk pengujian gabungan ini RMSE yang

dihasilkan oleh respon MRAC dalam mengikuti *model reference* adalah sebesar  $5,48 \times 10^{-3}$ , nilai tersebut tidak jauh dari nilai RMSE yang dihasilkan dari uji *noise* yaitu  $5,42 \times 10^{-3}$ . Nilai RMSE yang relatif kecil, menunjukkan bahwa respon MRAC tetap mampu bertahan dari gangguan serta *noise* yang diberikan untuk tetap dapat mengikuti *model reference*.

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini akan dijelaskan beberapa kesimpulan yang dapat diambil dari hasil penelitian dan pengujian yang telah dilakukan mengenai Perancangan Sistem Pengendalian *Level* Berbasis MRAC pada *Deaerator* serta saran untuk penelitian yang akan dilakukan selanjutnya

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat diperoleh beberapa kesimpulan diantaranya :

- a. *Model Reference* untuk sistem MRAC yang dirancang diperoleh dari hasil linierisasi sistem *close loop* kontrol PI dengan karakteristik respon yang dihasilkan adalah *maximum overshoot* sebesar 7,7 %, *rise time* sebesar 12 s, dan *Error Steady State* 0%
- b. Perancangan sistem pengendalian *level* berbasis MRAC dengan menggunakan gain adaptasi  $\gamma_1 = 0,0077$  dan  $\gamma_2 = 0,0001$  yang dipilih dengan metode *trial error* dengan karakteristik respon yang dapat mengikuti *model reference* dengan waktu adaptasi 94,5 s, *Maximum Overshoot* sebesar 4,1 %, *rise time* sebesar 33,8 s, dan *Error Steady State* 0%.
- c. Sistem MRAC yang dirancang mampu mengatasi gangguan lebih baik dari pada kontrol PI karena memiliki waktu untuk kembali ke keadaan normal lebih cepat yaitu 375s sedangkan kontrol PI membutuhkan waktu 641s
- d. Sistem MRAC yang dirancang memiliki kehandalan yang baik karena mampu mengikuti perubahan (*tracking*) *model reference* baik itu naik, turun, maupun kombinasi naik turun serta pengujian *noise* yang ditunjukkan dengan nilai RMSE yang relatif rendah yaitu  $2,582 \times 10^{-3}$ ,  $2,52 \times 10^{-3}$ ,  $2,462 \times 10^{-3}$ , dan  $5,42 \times 10^{-3}$  dari empat pengujian diatas secara berturut turut

## 5.2 Saran

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, terdapat saran yang dapat digunakan untuk melakukan pengembangan terhadap penelitian selanjutnya, yaitu diperlukannya metode optimasi untuk menentukan nilai *gain* adaptasi terbaik. Pengembangan dengan metode *neural network* ataupun *genetic algorithm* mungkin dapat digunakan

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Gomathy and Mrs. T.Anitha., "Deaerator Storage Tank Level & Deaerator Pressure Control Using SoftComputing," *IJSART*, vol. 1, no. 5, 2015.
- [2] Permana and Rizki B, "Desain Pengendalian Level Air pada Deaerator PT. Petrokimia Gresik menggunakan PI Nested Cascade," Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2016.
- [3] PT.Petrokimia,.
- [4] Sylvia and Amelia, "Perancangan dan Simulasi MRAC PID Control untuk Proses Pengendalian Temperatur pada Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2014.
- [5] P.P et al., "Design of Model Reference Adaptive Control For A Quadruple Tank System Using LabVIEW," *IEEE*, 2015.
- [6] Parekar, Narendra N, and dkk, "Modified MRAC for Controlling Water Level of Boiler System," *IEEE*, pp. 1537-1539, 2015.
- [7] Pankaj, Swarnkar, and dkk, "Comparative Analysis of MIT Rule and Lyapunov Rule in Model Reference Adaptive Control Scheme," *ISSN*, vol. 2, 2011.
- [8] Tahersima, Hanif, Saleh, Mohammadjafar, and dkk, "Design of Stable Model Reference Adaptive System via Lyapunov Rule for Control of a Chemical Reactor," *Australian Control Conference*, pp. 348-353, November 2013.
- [9] E.O, Stelian, and dkk, "Model Reference Adaptive Control Design for Slow Processes. A Case Study on Level Process Control," *ELSEVIER*, vol. 22, pp. 629-636, 2016.
- [10] Ilapilly, Chitti, Rosama, and D.Hepsida, "Tube Model Reference Adaptive Control for A Cylindrical Tank System," *IEEE*, 2015.
- [11] Indhumathi, K, Vijula, and D.Angelina, "Design of Model

- Reference Adaptive Controller for Conical Tank System," (*International Journal of Innovative Research in Technology*)IJIRT, vol. 1, no. 7, pp. 628-633, 2014.
- [12] Astrom, K.J, Wittenmark, and Bjorn, "Adaptive Control," *Second edition, Dover Publication*, 2008.
- [13] M.A et al., "Modified MRAC based on Lyapunov Theory for Improved Controller Efficiency," *IEEE*, pp. 989-995, 2016.
- [14] Jain, Priyank, Nigam, and Dr.M.J, "Design of a Model Reference Adaptive Controller Using Modified MIT Rule for a Second Order System," *Advance in Electronic and Electric Engineering*, vol. 3, pp. 477-484, 2013.
- [15] Katsuhiko, Ogata;, *Modern Control Engineering*. New Delhi: Prentice-Hall, 1981.
- [16] Opris and Ioana, "A Deaerator Mode," *Recent Advances in Electrical Engineering*, 2013.
- [17] Lu et al., "Scheduling Control of A Deaerator Plant," *ELSEVIER*, pp. 1541-1548, July 1998.
- [18] Abadi and Imam, "Simulasi Pengendalian Level Steam Drum Dengan Pengendali Pid Berbasis Fuzzy Gain Scheduling," *Jurnal Sains dan Teknologi EMAS*, vol. 18, 2008.
- [19] Munadi et al., "Model Reference Adaptive Control for DC Motor Based on Simulink," *IEEE*, 2016.



*Halaman ini memang sengaja dikosongkan*

## LAMPIRAN B-1

Data pengukuran proses pada pengendalian *level deaerator* PT.Petrokimia Gresik Jawa Timur Unit 101-U mulai 06 Maret 2017 – 09 Maret 2017

Date	Time	Qw (ton/hr)	Level (m)	Qo (ton/hr)
06/03	7:55	195,59	2,067	200,57
06/03	7:56	195,39	2,067	202,14
06/03	7:57	195,14	2,069	201,87
06/03	7:58	194,20	2,070	201,81
06/03	7:59	195,57	2,071	200,87
06/03	8:00	194,29	2,070	200,27
06/03	8:01	195,92	2,072	200,30
06/03	8:02	194,96	2,074	199,92
06/03	8:03	195,93	2,077	199,96
06/03	8:04	195,42	2,083	199,80
06/03	8:05	195,24	2,083	200,51
06/03	8:06	195,43	2,086	199,28
06/03	8:07	194,73	2,087	200,01
06/03	8:08	195,22	2,089	199,53
06/03	8:09	195,31	2,091	200,16
06/03	8:10	195,60	2,092	199,65
06/03	8:11	195,39	2,094	200,34
06/03	8:12	195,41	2,092	206,10
06/03	8:13	194,79	2,090	203,70
06/03	8:14	194,46	2,088	203,79
06/03	8:15	195,53	2,089	202,50
06/03	8:16	194,69	2,092	202,68
06/03	8:17	195,13	2,094	201,94
06/03	8:18	195,76	2,096	200,74
...	...	...	...	...
...	...	...	...	...
07/03	0:00	193,27	2,085	199,25

## LAMPIRAN B-2

Data pengukuran proses pada pengendalian *level deaerator* PT.Petrokimia Gresik Jawa Timur Unit 101-U mulai 06 Maret 2017 – 09 Maret 2017

<b>Date</b>	<b>Time</b>	<b>Qw (ton/hr)</b>	<b>Level (m)</b>	<b>Qo (ton/hr)</b>
07/03	0:14	193,50	2,085	200,49
07/03	0:15	192,73	2,085	200,23
07/03	0:16	192,28	2,086	199,41
07/03	0:17	193,04	2,086	199,53
07/03	0:18	192,23	2,087	199,54
07/03	0:19	193,11	2,086	199,81
07/03	0:20	193,40	2,086	199,86
07/03	0:21	192,56	2,087	199,67
07/03	0:22	191,58	2,086	200,45
07/03	0:23	190,80	2,084	200,43
07/03	0:24	190,12	2,084	200,10
07/03	0:25	190,41	2,081	200,38
07/03	0:26	190,08	2,079	199,90
07/03	0:27	190,02	2,077	200,53
07/03	0:28	190,70	2,075	199,66
07/03	0:29	190,88	2,073	199,82
07/03	0:30	189,52	2,071	200,28
07/03	0:31	191,57	2,068	199,61
07/03	0:32	190,02	2,066	200,05
07/03	0:33	189,28	2,064	199,24
07/03	0:34	190,58	2,061	199,73
07/03	0:35	190,31	2,060	199,19
07/03	0:36	190,07	2,059	199,00
07/03	0:37	190,37	2,057	199,59
07/03	0:38	189,12	2,054	200,02
...	...	...	...	...
...	...	...	...	...
08/03	23:10	187,75	2,231	196,01

### LAMPIRAN B-3

Data pengukuran proses pada pengendalian *level deaerator* PT.Petrokimia Gresik Jawa Timur Unit 101-U mulai 06 Maret 2017 – 09 Maret 2017

<b>Date</b>	<b>Time</b>	<b>Qw (ton/hr)</b>	<b>Level (m)</b>	<b>Qo (ton/hr)</b>
08/03	23:31	188,36	2,219	195,23
08/03	23:32	188,12	2,218	194,55
08/03	23:33	188,48	2,220	195,34
08/03	23:34	188,34	2,220	195,78
08/03	23:35	188,17	2,219	195,23
08/03	23:36	188,08	2,220	195,05
08/03	23:37	188,00	2,219	195,41
08/03	23:38	187,85	2,220	195,33
08/03	23:39	188,50	2,220	194,75
08/03	23:40	188,35	2,218	196,30
08/03	23:41	188,75	2,217	195,15
08/03	23:42	188,17	2,218	195,34
08/03	23:43	187,91	2,218	195,68
08/03	23:44	187,67	2,218	194,87
08/03	23:45	188,59	2,217	195,31
08/03	23:46	187,86	2,218	194,68
08/03	23:47	188,34	2,218	194,86
08/03	23:48	189,12	2,219	194,83
08/03	23:49	187,77	2,219	196,05
08/03	23:50	188,02	2,217	196,39
08/03	23:51	187,97	2,217	196,37
08/03	23:52	188,31	2,217	194,09
08/03	23:53	188,10	2,218	194,20
08/03	23:54	188,41	2,218	194,55
...	...	...	...	...
...	...	...	...	...
09/03	7:07	188,66	1,992	194,58

### LAMPIRAN B-4

Data pengukuran proses pada pengendalian *level deaerator* PT.Petrokimia Gresik Jawa Timur Unit 101-U mulai 06 Maret 2017 – 09 Maret 2017

Date	Time	Qw (ton/hr)	Level (m)	Qo (ton/hr)
09/03	7:27	188,38	1,997	192,70
09/03	7:28	188,03	1,998	194,39
09/03	7:29	188,28	1,999	193,55
09/03	7:30	187,38	1,999	194,55
09/03	7:31	188,71	2,000	196,23
09/03	7:32	187,92	1,999	196,05
09/03	7:33	188,23	1,998	195,14
09/03	7:34	187,99	1,998	194,71
09/03	7:35	189,06	1,999	195,26
09/03	7:36	188,15	1,999	194,93
09/03	7:37	188,18	1,999	194,16
09/03	7:38	188,32	2,001	193,93
09/03	7:39	187,95	2,001	194,27
09/03	7:40	187,84	2,000	193,96
09/03	7:41	188,15	2,002	194,67
09/03	7:42	187,68	2,002	193,62
09/03	7:43	188,30	2,002	193,83
09/03	7:44	188,20	2,002	194,23
09/03	7:45	188,33	2,002	193,74
09/03	7:46	189,31	2,004	194,06
09/03	7:47	187,96	2,004	194,67
09/03	7:48	188,08	2,004	194,68
09/03	7:49	188,33	2,003	195,87
09/03	7:50	188,10	2,002	194,91
<b>Max</b>		198,42	2,434	211,14
<b>Min</b>		184,64	1,775	191,09
<b>Rata-rata</b>		192,18	2,06	199,44
<b>Varian</b>		7,32	0,0202	7,242

## BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Donggala pada tanggal 5 Februari 1995. Pada tahun 2007, penulis menyelesaikan pendidikannya di SD Negeri 3 Boyolangu. Tahun 2010, penulis telah menyelesaikan pendidikan tingkat menengah pertama di SMP Negeri 1 Tulungagung. Tahun 2013 berhasil menyelesaikan pendidikan tingkat menengah atas di SMAN 1 Boyolangu. Penulis melanjutkan studi di Departemen Teknik Fisika Fakultas Teknologi Industri ITS Surabaya dengan NRP 2413100053. Penulis pernah melaksanakan Kerja Praktek di PT GMF AeroAsia Tangerang. Penulis mengambil bidang minat Rekayasa Instrumentasi. Penulis dapat dihubungi di email [nandapricilya@gmail.com](mailto:nandapricilya@gmail.com)

