



**TUGAS AKHIR - TF 181801**

**PERANCANGAN SISTEM NETRALISASI pH  
PADA *CONTINUOUS STIRRED-TANK  
REACTOR (CSTR)***

**AKBAR YOGI NUGROHO  
NRP 02311745000049**

**Dosen Pembimbing  
Hendra Cordova, ST, MT.**

**DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2019**



FINAL PROJECT - TF 181801

***DESIGN OF CONTROL SYSTEM  
NEUTRALIZATION pH IN CONTINUOUS  
STIRRED-TANK REACTOR (CSTR)***

**AKBAR YOGI NUGROHO  
NRP 02311745000049**

**Supervisor  
Hendra Cordova, ST, MT.**

**ENGINEERING PHYSICS DEPARTMENT  
Faculty of Industrial Technology  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2019**

## PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Akbar Yogi Nugroho

NRP : 02311745000049


Departemen : Teknik Fisika FTI-ITS

dengan ini menyatakan bahwa tugas akhir saya yang berjudul "PERANCANGAN SISTEM NETRALISASI pH PADA *CONTINUOUS STIRRED-TANK REACTOR (CSTR)*" 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, 26 Juli 2019  
Yang membuat pernyataan,



  
Akbar Yogi Nugroho  
NRP. 02311745000049

**PERANCANGAN SISTEM NETRALISASI pH PADA  
CONTINUOUS STIRRED-TANK REACTOR (CSTR)**

**TUGAS AKHIR**

**OLEH**

**Akbar Yogi Nugroho**  
**NRP. 02311745000049**

**Surabaya, 26 Juli 2019**

**Mengetahui,  
Dosen Pembimbing**



**Hendra Cordova, ST, MT.**  
**NIP. 19690530 199412 1 001**

**Menyetujui,  
Kepala Departemen Teknik Fisika FTI-ITS**



**Agus Muhammad Hatta, ST, MSi, Ph.D**  
**NIP. 19780902 200312 1 002**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**PERANCANGAN SISTEM NETRALISASI pH PADA  
CONTINUOUS STIRRED-TANK REACTOR(CSTR)**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar  
Sarjana Teknik  
pada


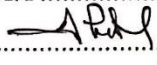

Program Studi S-1 Departemen Teknik Fisika  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**AKBAR YOGI NUGROHO**

**NRP 02311745000049**

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Hendra Cordova, S.T., M.T..... (Pembimbing)
2. Ir. Matradji, M.Sc..... (Ketua Penguji)
3. Moh. Kamalul Wafi, S.T., MSc.DIC/ (Penguji 1)

**SURABAYA**

**Juli, 2019**

# **PERANCANGAN SISTEM NETRALISASI pH PADA *CONTINUOUS STIRRED-TANK REACTOR (CSTR)***

**Nama Mahasiswa** : Akbar Yogi Nugroho  
**NRP** : 02311745000049  
**Departemen** : Teknik Fisika FTI-ITS  
**Dosen Pembimbing** : Hendra Cordova, ST., MT.

## **Abstrak**

Proses netralisasi pH adalah pencampuran antara larutan asam dan basa atau sebaliknya dengan karakteristiknya sering digambarkan oleh kurva titrasi dengan bentuk yang nonlinier, sehingga bila diterapkan skema control dengan bentuk yang linier, maka performansinya akan menurun terutama pada daerah nonlinier (pH: 5-7 dan 9-11). Hal tersebut dikarenakan juga penambahan kecil larutan titrasi akan menyebabkan penambahan yang drastis nilai pH. Penambahan salah satu larutan terhadap nilai pH yang dihasilkan pada pencampuran tersebut memiliki sifat nonlinear dan tergambar pada kurva titrasinya. Titrasi asam dan basa memiliki karakteristik yang nonlinear yang ditunjukkan melalui kurva titrasi pH sehingga nilai pH tidak berbanding lurus dengan penambahan larutan asam dan basa dengan jumlah tertentu. Penambahan sedikit saja larutan asam dan basa dapat menaikkan atau menurunkan nilai pH. Pada penelitian ini dilakukan perancangan pengendali linear yakni PID untuk mengatasi karakteristik nonlinear dari pH pada CSTR dimana didapatkan respon dari pengendalian pH dengan menggunakan PID dapat mengikuti set point sebesar pH 7, settling time 26,7s, *max overshoot* 47,2 %, dan error sebesar 0,14 sehingga nilai pH pada *plant* sebesar 6,99.

***Kata kunci: CSTR, PID, pengendalian pH***

## ***DESIGN OF CONTROL SYSTEM NEUTRALIZATION pH IN CONTINUOUS STIRRED-TANK REACTOR (CSTR)***

**Name** : Akbar Yogi Nugroho  
**NRP** : 02311745000049  
**Department** : *Engineering Physics, FTI,ITS*  
**Supervisor** : Hendra Cordova, ST., MT.

### **Abstract**

*The pH neutralization process is mixing between acid and alkaline solutions with its characteristics often described by titration curve with nonlinear shape, if the control scheme is applied in a linear form, the performance will decrease especially in the nonlinear area (pH: 5-7 and 9-11). This is because the small addition of the titration solution will cause a drastic addition in pH value. The addition of one solution to the pH value produced in the mixing has nonlinear nature and illustrated on the titration curve. Titration of acids and alkaline has nonlinear characteristics which are indicated by pH titration curves that the pH value is not directly proportional to the addition of a certain amount of acid and alkaline solution. Increase small amount of acid and base solution can increase or decrease the pH value. In this study, the linear controller PID was used to overcome the nonlinear characteristics of pH on CSTR where the response from pH control using PID could follow a set point of pH 7, settling time 26.7s, max overshoot 47.2%, and error 0.14 so the value pH at the plant is 6.99*

**Keywords:** *CSTR, PID, pH control*

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah robbil‘alamiin, puji syukur kepada Allah SWT sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “**PERANCANGAN SISTEM NETRALISASI pH PADA *CONTINUOUS STIRRED-TANK REACTOR (CSTR)***”. Penulis telah banyak mendapatkan bantuan dan penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Agus Muhamad Hatta, ST, MSi, Ph.D selaku Kepala Departemen Teknik Fisika
2. Bapak Hendra Cordova, ST.,MT. selaku dosen pembimbing yang senantiasa memberikan motivasi, bimbingan dan arahan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak dan Ibu dosen Teknik Fisika yang telah memberikan ilmu selama kuliah serta seluruh Staff Departemen Teknik Fisika yang telah membantu penulis dalam hal administrasi.
4. Kedua orang tua yang selalu memberikan dukungan doa dan motivasi.
5. Asisten Laboratorium Rekayasa Instrumentasi dan Kontrol serta yang senantiasa memberikan ruang dan tempat untuk pengerjaan tugas akhir.
6. Rekan-rekan angkatan F48 yang selalu memotivasi dan memberikan semangat, khususnya Gama, Ndog, dan Fatih.
7. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, terimakasih atas segala bantuan dan dukungannya.

Penulis menyadari bahwa penulisan laporan Tugas Akhir ini tidaklah sempurna. Oleh karena itu sangat diharapkan kritik dan saran yang membangun dari semua pihak sehingga mencapai sesuatu yang lebih baik lagi. Penulis juga berharap semoga laporan ini dapat menambah wawasan yang bermanfaat bagi pembacanya.

Surabaya, Juli 2019

Penulis.



## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>PAGE TITLE .....</b>	<b>ii</b>
<b>PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME.....</b>	<b>iii</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN.....</b>	<b>iv</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN.....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>vi</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>vii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xii</b>
<b>BAB I. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Permasalahan.....	3
1.3 Tujuan .....	3
1.4 Sistematika Laporan .....	3
<b>BAB II. TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>5</b>
2.1 Teori Derajat Keasaman (pH).....	5
2.2 Teori Asam Basa .....	6
2.3 Netralisasi Asam Basa .....	7
2.4 Titrasi Asam dan Basa .....	9
2.5 Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR) .....	11
2.6 Kontrol PID ( <i>Proportional Integral Derivative</i> ).....	13
2.7 Sistem Kontrol <i>Open Loop</i> .....	16
2.8 Sistem Kontrol <i>Close Loop</i> .....	17
<b>BAB III. METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>19</b>
3.1 Studi Literatur.....	20
3.2 Perancangan Model Matematis .....	20
<b>BAB IV. ANALISA DATA .....</b>	<b>25</b>
4.1 Analisa Data .....	25
4.2 Pembahasan.....	36
<b>BAB V. PENUTUP.....</b>	<b>39</b>
5.1 Kesimpulan.....	39

5.2 Saran..... 39

**DAFTAR PUSTAKA**

**LAMPIRAN**

**BIODATA PENULIS**

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Proses penetralan pH (Nur Saadah, 2018) .....	8
<b>Gambar 2.2</b>	Titration asam kuat dengan basa kuat (Radakrishnan, tanpa tahun) .....	9
<b>Gambar 2.3</b>	Titration asam lemah dengan basa kuat (Radakrishnan, tanpa tahun) .....	10
<b>Gambar 2.4</b>	Titration asam kuat dengan basa lemah (Radakrishnan, tanpa tahun) .....	10
<b>Gambar 2.5</b>	<i>Continuous stirred tank reactor</i> (CSTR) (Nur Saadah, 2018) .....	12
<b>Gambar 2.6</b>	Respon Sistem Dinamik (Ylen, 2001) .....	16
<b>Gambar 2.7</b>	Sistem Kontrol <i>Open Loop</i> (Ylen, 2001) .....	17
<b>Gambar 2.8</b>	Sistem Kontrol <i>Close Loop</i> (Ylen, 2001) .....	17
<b>Gambar 3.1</b>	<i>Flowchart</i> Metodologi Penelitian .....	19
<b>Gambar 3.2</b>	<i>Plant CSTR</i> (Ibrahim, 2008) .....	21
<b>Gambar 3.3</b>	Pemodelan Dinamik pada Simulink .....	22
<b>Gambar 3.4</b>	Diagram Blok Sistem <i>Open Loop</i> .....	24
<b>Gambar 3.5</b>	Diagram Blok Sistem <i>Close Loop</i> .....	24
<b>Gambar 4.1</b>	Hasil Uji <i>Open Loop</i> .....	25
<b>Gambar 4.2</b>	Hasil Uji pH 7 .....	27
<b>Gambar 4.3</b>	Hasil Uji pH 2-7 .....	28
<b>Gambar 4.4</b>	Hasil Uji pH 2-4 .....	28
<b>Gambar 4.5</b>	Hasil Uji pH 12-4 .....	29
<b>Gambar 4.6</b>	Hasil Uji <i>Disturbance</i> Naik pH 2-7 .....	31
<b>Gambar 4.7</b>	Hasil Uji <i>Disturbance</i> Naik pH 2-4 .....	31
<b>Gambar 4.8</b>	Hasil Uji <i>Disturbance</i> Naik pH 12-4 .....	32
<b>Gambar 4.9</b>	Hasil Uji <i>Disturbance</i> Turun pH 2-7 .....	34
<b>Gambar 4.10</b>	Hasil Uji <i>Disturbance</i> Turun pH 2-4 .....	34
<b>Gambar 4.11</b>	Hasil Uji <i>Disturbance</i> Turun pH 12-4 .....	35

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Asam Kuat dan Asam Lemah .....	6
<b>Tabel 2.2</b> Basa Kuat dan Basa Lemah .....	6
<b>Tabel 2.3</b> Respon PID Controller Terhadap Perubahan Konstanta.....	16
<b>Tabel 3.1</b> Data Perancangan .....	20
<b>Tabel 4.1</b> Hasil Respon Uji pH 7 .....	26
<b>Tabel 4.2</b> Hasil Respon Uji Variasi pH Asam-Basa.....	29
<b>Tabel 4.3</b> Hasil Respon Uji <i>Disturbance</i> Naik.....	32
<b>Tabel 4.4</b> Hasil Respon Uji <i>Disturbance</i> Turun.....	35

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Kegiatan industri dan teknologi yang ada saat ini senantiasa menghasilkan limbah yang menimbulkan masalah bagi lingkungan. Pencemaran ini dapat berupa pengeluaran bahan buangan cair, padat, gas, suara dan panas yang berlangsung selama proses produksi. Dari kelima jenis limbah industri tersebut, limbah cair merupakan jenis limbah yang perlu mendapat perhatian, karena volume yang sangat besar dan kuantitas polutannya yang beragam sehingga sangat berpotensi dalam membahayakan lingkungan perairan bila dibuang ke badan perairan tanpa perlakuan pengolahan (Middlebrooks, 1979). Industri pupuk termasuk dalam jenis industri yang dapat memberi kontribusi dalam pencemaran air. Limbah cair industri pupuk berasal dari unit amonia, unit urea dan unit utilitas. Limbah tersebut mengandung senyawa nitrogen dalam bentuk garam amonium, amonia bebas, nitrit, nitrat, asam fosfat dan senyawa-senyawa organik lainnya (Talahatu, 2004). Amonia dalam keadaan tidak terdisosiasi akan lebih berbahaya untuk biota perairan, juga dapat menimbulkan eutrofikasi. Daya racun amonia sangat berhubungan dengan pH dan gas CO<sub>2</sub> bebas. Peningkatan pH dan CO<sub>2</sub> di perairan akan meningkatkan daya racun ammonia (Pescod, 1973). Masalah utama dalam limbah cair pabrik pupuk adalah nilai fluktuatif pH yang relatif rendah (kisaran pH 4). Kondisi tersebut berdampak negatif pada biota pada badan perairan penerima limbah cair tersebut. Dampak nyata dari limbah tersebut terlihat dari vegetasi mangrove yang ada di pesisir lokasi limbah tersebut dibuang. Pabrik pupuk secara berkala melakukan revegetasi pada lahan tersebut. Menurut data statistik, setiap melakukan revegetasi hanya sekitar 38% mangrove yang dapat tumbuh (PT. Petrokimia Gresik, 2012). Padahal, secara ekologis mangrove dapat menjadi penahan abrasi, gelombang angin kencang, pengendali intrusi air laut dan tempat habitat berbagai jenis fauna (Huda, 2008). Selain itu, nilai pH yang rendah memiliki sifat korosifitas yang tinggi.

Proses netralisasi pH adalah pencampuran antara larutan asam dan basa atau sebaliknya dengan karakteristiknya sering digambarkan oleh kurva titrasi dengan bentuk yang nonlinier, sehingga bila diterapkan skema control dengan bentuk yang linier, maka performansinya akan menurun terutama pada daerah non-liner (pH: 5-7 dan 9-11). Hal tersebut dikarenakan juga penambahan kecil larutan titrasi akan menyebabkan penambahan yang drastis nilai pH. Berdasar permasalahan tersebut beberapa peneliti telah mengembangkan pengendalian yang menggunakan skema linier, non-liner sampai skema intelligent. Penambahan salah satu larutan terhadap nilai pH yang dihasilkan pada pencampuran tersebut memiliki sifat nonlinear (haris sanjaya), dan tergambar pada kurva titrasinya. Selain itu sifat karakteristik umum yang sering menjadi permasalahan dalam pengendaliannya berada pada kisaran pH netral (pH:6-8) yaitu penambahan sedikit saja larutan titrasinya akan menyebabkan kenaikan pH yang besar Hal itu dapat terlihat jelas pada kurva titrasi asam dan basa yang dibentuk proses tersebut. Penambahan sedikit saja volume dari salah satu larutan, dapat mengubah nilai pH secara signifikan, terutama saat menuju netral (Sanjaya, 2012).

Titrasi asam dan basa memiliki karakteristik yang nonlinear yang ditunjukkan melalui kurva titrasi pH sehingga nilai pH tidak berbanding lurus dengan penambahan larutan asam dan basa dengan jumlah tertentu. Penambahan sedikit saja larutan asam dan basa dapat menaikkan atau menurunkan nilai pH (Sanjaya, 2012).

Pada penelitian ini dilakukan perancangan pengendali linear yakni PID untuk mengatasi karakteristik nonlinear dari pH tersebut berdasarkan pada reaksi invarian sebagai pemodelan reaksi untuk titrasi basa kuat NaOH dan asam kuat H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dengan mempertimbangkan laju reaksi dari proses titrasi tersebut (Gustaffson, 1983). Sebelumnya, laju reaksi proses titrasi selalu diasumsikan sangat cepat padahal pada kenyataannya setiap reaksi kimia memiliki laju reaksi yang besarnya bergantung pada beberapa variabel salah satunya adalah konsentrasi dari komponen yang bereaksi dan temperatur. Sedangkan tempat terjadinya reaksi digunakan tangki CSTR (*Continuous Stirred Tank Reactor*) dimana tangki CSTR ini memiliki dua input *flow* H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dan

NaOH. Sistem pengendali PID kemudian diukur secara kuantitatif performansinya dengan variabel *settling time*, *maximum overshoot*, dan *error steady state* yang akan disimulasikan pada Simulink di Matlab yang dapat digunakan sebagai sarana pemodelan, simulasi dan analisis dari sistem dinamik dengan menggunakan antarmuka grafis. Dengan adanya penelitian ini diharapkan dapat mendapatkan suatu sistem dengan performansi yang lebih baik pada pengendalian pH.

## **1.2 Permasalahan**

Berdasarkan latar belakang diatas, maka permasalahan yang terdapat pada tugas akhir ini adalah dibutuhkan rancangan sistem netralisasi pH serta dampaknya dari segi kestabilan respon.

## **1.3 Tujuan**

Berdasarkan permasalahan yang ada didapatkan tujuan dari tugas akhir ini yaitu merancang sistem netralisasi pH pada CSTR plant serta mengetahui dampaknya dari segi kestabilan respon.

## **1.4 Sistematika Laporan**

Laporan tugas akhir ini akan disusun secara sistematis dibagi dalam beberapa bab, dengan perincian sebagai berikut:

### **BAB I Pendahuluan**

Bab ini berisikan penjelasan latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, dan sistematika laporan.

### **BAB II Tinjauan Pustaka**

Bab ini berisi penjelasan singkat tentang teori-teori yang digunakan dalam pengerjaan Tugas Akhir.

### **BAB III Metodologi Penelitian**

Bab ini berisi penjelasan detail mengenai langkah – langkah yang harus dillakukan untuk mencapai tujuan dari penelitian Tugas Akhir ini yang meliputi perhitungan dan perancangan sistem

pengendalian pH yang disimulasikan pada *software* Simulink di Matlab dengan menggunakan kontrol PID.

#### **BAB IV Pengujian dan Analisa Hasil Simulasi**

Bab ini berisi tentang hasil simulasi diperoleh dari perancangan sistem pengendalian pH yang disimulasikan pada *software* Simulink di Matlab dengan menggunakan kontrol PID yang didapatkan dalam BAB III, kemudian dilakukan analisa-analisa serta pembahasan.

#### **BAB V Kesimpulan dan Saran**

Bab ini berisi tentang kesimpulan pokok dari seluruh rangkaian penelitian yang telah dilakukan dan saran yang dapat dijadikan sebagai pengembangan penelitian selanjutnya.



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Teori Derajat Keasaman (pH)**

Derajat keasaman (pH) adalah acuan yang digunakan untuk menyatakan tingkat keasaman atau kebasaan yang dimiliki oleh suatu larutan. PH normal memiliki nilai 7 sementara bila nilai pH >7 menunjukkan zat tersebut memiliki sifat basa sedangkan nilai pH < 7 menunjukkan keasaman. pH 0 menunjukkan derajat keasaman yang tinggi, dan pH 14 menunjukkan derajat kebasaan tertinggi. Asam adalah suatu zat yang dapat memberi proton (ion H<sup>+</sup>) kepada zat lain (yang disebut basa), atau dapat menerima pasangan elektron bebas dari suatu basa. Suatu asam bereaksi dengan suatu basa dalam reaksi penetralan untuk membentuk garam sedangkan basa adalah senyawa kimia yang menyerap ion hydronium ketika dilarutkan dalam air. Basa adalah lawan dari asam, yaitu ditujukan untuk unsur/senyawa kimia yang memiliki pH lebih dari 7. Basa merupakan senyawa yang jika dilarutkan dalam air menghasilkan ion -OH(Sanjaya, 2012).

Umumnya indikator sederhana yang digunakan adalah kertas lakmus yang berubah menjadi merah bila keasamannya tinggi dan biru bila keasamannya rendah. Selain menggunakan kertas lakmus, indikator asam basa dapat diukur dengan pH meter yang bekerja berdasarkan prinsip elektrolit/konduktivitas suatu larutan. Istilah pH berasal dari "p", lambing matematika dari negative logaritma, dan "H", lambang kimia untuk unsur Hidrogen. Defenisi yang formal tentang pH adalah negatif logaritma dari aktivitas ion Hidrogen. pH adalah singkatan dari *power of Hydrogen*(Sanjaya, 2012).

Asam dan basa adalah besaran yang sering digunakan untuk pengolahan sesuatu zat, baik di industri maupun kehidupan sehari-hari. Pada bidang pertanian, keasaman pada waktu mengelola tanah pertanian perlu diketahui. Pada industri kimia, keasaman merupakan variabel yang menentukan, mulai dari pengolahan bahan baku, menentukan kualitas produksi yang diharapkan sampai pengendalian

limbah industri agar dapat mencegah pencemaran pada lingkungan (Sanjaya, 2012).

Beberapa contoh larutan asam kuat dan asam lemah dapat dilihat pada tabel 2.1 berikut:

**Tabel 2.1.** Asam Kuat dan Asam Lemah

Asam Kuat	Asam Lemah
HCl	HF
HBr	HCN
HI	CH <sub>3</sub> COOH
HNO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> S
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>
HClO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>
HClO <sub>4</sub>	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>
HCOOH	H <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub>

Beberapa contoh larutan basa kuat dan basa lemah dapat dilihat pada tabel 2.2 berikut:

**Tabel 2.2** Basa Kuat dan Basa Lemah

Basa Kuat	Basa Lemah
NaOH	NH <sub>3</sub>
KOH	N <sub>2</sub> H <sub>4</sub>
Ca(OH) <sub>2</sub>	NH <sub>2</sub> OH
Ba(OH) <sub>2</sub>	Al(OH) <sub>3</sub>

## 2.2 Teori Asam – Basa

Asam sebagai senyawa yang melarut ke dalam air untuk Terdapat dua teori yang digunakan untuk menjelaskan asam dan basa yakni teori Arrhenius dan Bronsted Lowry. Arrhenius mendefinisikan air untuk memberikan ion OH<sup>-</sup>. Contoh senyawa asam memberikan ion H<sup>+</sup> dan basa adalah senyawa yang melarut ke dalam adalah hydrogen klorida (HCl), hydrogen nitrat (HNO<sub>3</sub>), Hidrogen sulfat (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) dan asam asetat (HC<sub>2</sub>H<sub>3</sub>O<sub>2</sub>). Sedangkan contoh senyawa basa adalah natrium hidroksida (NaOH), kalium hidroksida (KOH), kalsium hidroksida Ca(OH)<sub>2</sub>, dan ammonia (NH<sub>3</sub>) (Cordova, 2007).

Pada contoh-contoh senyawa asam dan basa diatas terdapat senyawa yang dapat digolongkan dalam asam kuat dan basa kuat serta asam lemah dan basa lemah. Asam kuat dan basa kuat akan ter-ionkan seluruhnya dalam lartan air sedangkan asam dan basa lemah hanya sebagian yang terionkan. HCl dan NaOH yang termasuk ke dalam senyawa asam kuat dan basa kuat sedangkan  $\text{HC}_2\text{H}_3\text{O}_2$  dan  $\text{NH}_3$  tergolong asam dan basa lemah.

Teori bronsted Lowry mendefinisikan lain tentang asam dan basa. Teori ini menyatakan bahwa asam adalah pemberi proton (donor  $\text{H}^+$ ) sedangkan basa adalah penerima proton (akseptor  $\text{H}^+$ ).

### 2.3 Netralisasi Asam Basa

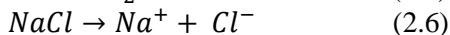
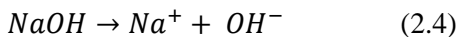
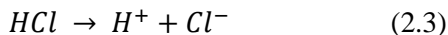
Dalam artian luas, reaksi penetralan adalah interaksi antara asam dan basa. Interaksi tersebut dapat terjadi antara asam kuat dengan basa kuat, asam lemah dengan basa kuat, atau asam lemah dengan basa lemah. Proses netralisasi melibatkan ion hidrogen ( $\text{H}^+$ ) dan ion hidroksida ( $\text{OH}^-$ ) yang apabila bereaksi akan menghasilkan air.



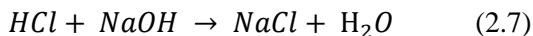
Dengan konstanta kesetimbangan untuk air ( $K_w$ ) sebesar  $1 \times 10^{-14}$  pada suhu  $25^\circ\text{C}$

$$K_w = [\text{H}^+][\text{OH}^-] \quad (2.2)$$

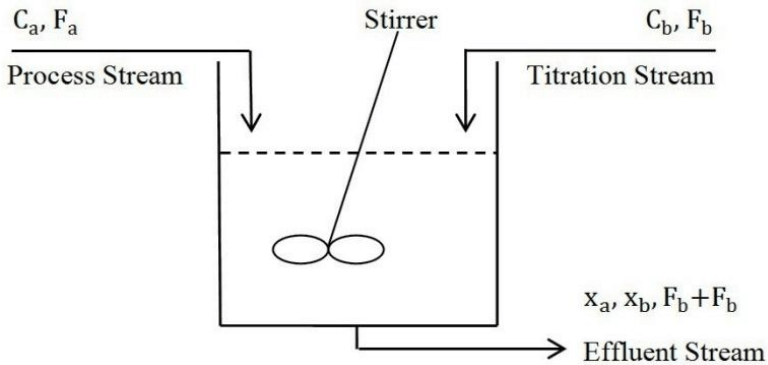
Sebagai contoh proses netralisasi adalah ketika HCl dicampurkan dengan NaOH



Reaksi keseluruhan dari pencampuran HCl dan NaOH adalah



Proses penetralan pH dengan mengasumsikan pencampuran sempurna pada *miniplant* simulasi penetralan pH yang memiliki dua masukan aliran: Aliran yang berpengaruh (asam) dan aliran titrasi (basa), dengan satu aliran pada keluaran, seperti Gambar 2.1 dibawah ini



**Gambar 2.1** Proses penetralan pH(Nur Saadah, 2018)

Dari persamaan 2.3 sampai 2.6 dapat dicari tetapan kesetimbangan asam ( $K_a$ ), tetapan kesetimbangan basa ( $K_b$ ), dan ketetapan kesetimbangan air ( $K_w$ ) yang dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$K_a = \frac{[H^+][Cl^-]}{[HCl]} \quad (2.8)$$

$$K_b = \frac{[Na^+][OH^-]}{[NaOH]} \quad (2.9)$$

$$K_w = [H^+][OH^-] = 10^{-14} \quad (2.10)$$

Dalam artian luas, reaksi penetralan adalah interaksi antara asam dan basa. Yang ditunjukkan oleh gambar 2.1 terdiri dari sebuah tangki pencampuran dengan dua aliran masukan dari asam kuat dan basa kuat

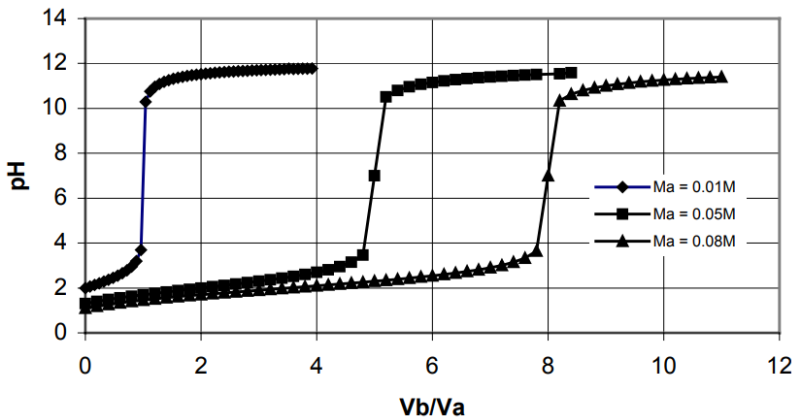
sampai larutan campuran stabil pada pH 7. Model ini mengasumsikan pencampuran sempurna(Kandulna, 2015).

## 2.4 Titrasi Asam dan Basa

Proses pencampuran larutan asam dan basa yang dilakukan secara bertahap, dalam aspek laboratorium dikenal sebagai proses titrasi. Titrasi adalah metode penetapan kadar suatu larutan dengan menggunakan larutan standar yang sudah diketahui konsentrasinya. Dalam hal ini, suatu larutan yang konsentrasinya telah diketahui secara pasti (larutan standar), ditambahkan secara bertahap ke larutan lain yang konsentrasinya tidak diketahui, sampai reaksi kimia antara kedua larutan tersebut berlangsung sempurna(Richana, 2007). Oleh karena ada empat jenis larutan asam dan basa, yaitu asam kuat, asam lemah, basa kuat, dan basa lemah, maka akan ada empat kemungkinan kombinasi campuran yaitu, asam-basa kuat, asam-basa lemah, asam kuat basa lemah, dan asam lemah basa kuat(Nur Saadah, 2018). Dalam setiap proses titrasi asam-basa akan menghasilkan suatu bentuk grafik reaksi yang disebut dengan kurva titrasi.

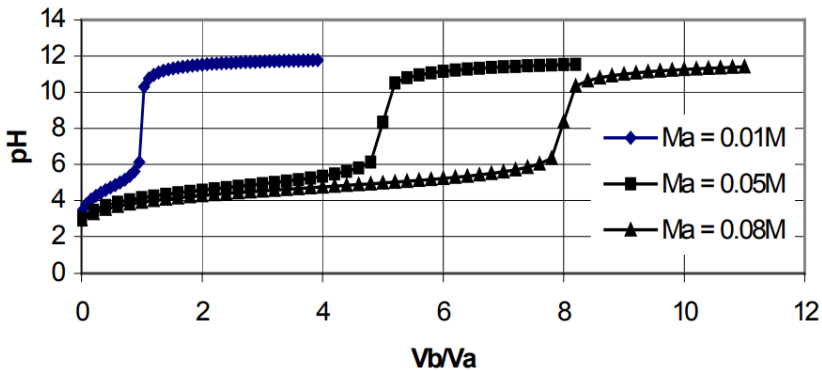
Terdapat beberapa grafik kurva titrasi, antara lain yaitu :

### 1. Asam Kuat dan Basa Kuat



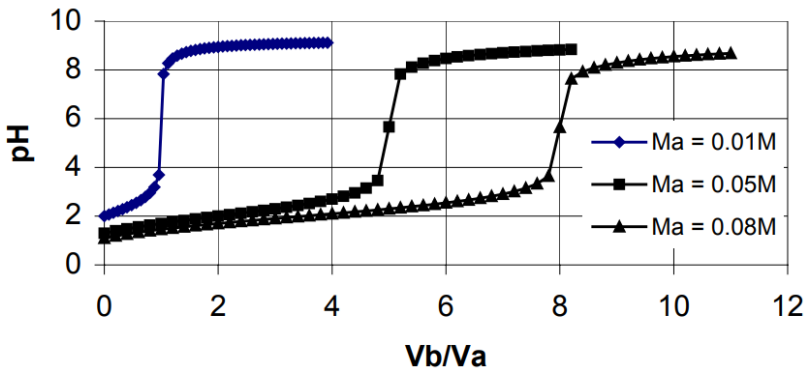
**Gambar 2.2** Titrasi asam kuat dengan basa kuat(Radhakrishnan, tanpa tahun)

## 2. Asam Lemah dengan Basa kuat



**Gambar 2.3** Titrasi asam lemah dengan basa kuat (Radhakrishnan, tanpa tahun)

## 3. Asam Kuat dengan Basa Lemah



**Gambar 2.4** Titrasi asam kuat dengan basa lemah (Radhakrishnan, tanpa tahun)

Kurva titrasi ini dapat digunakan sebagai acuan ketika kita akan melakukan pemodelan pH. Hal ini dikarenakan kurva tersebut menggambarkan pH sebagai fungsi dari perbedaan asam-basa. Secara eksperimen harga pH ditentukan oleh penambahan sejumlah volume dari asam basa dengan skala harga pH ditentukan oleh perbedaan asam-basa yang ditambahkan. Bentuk kurva titrasi ditentukan oleh partisipasi

masing-masing komponen kimia. Secara teoritis kurva titrasi memerlukan pengetahuan tentang konstanta kesetimbangan dan konsentrasi total asam dan basa. Kurva tersebut dapat dibentuk dari kesetimbangan muatan yang dihitung dari seluruh ion yang bermuatan di dalam suatu larutan. Kurva titrasi menunjukkan kebergantungan antara pH dan konsentrasi asam atau basa. Asam dan basa kuat terdisosiasi sempurna. Asam-basa lemah terdisosiasi hanya sebagian dan konsentrasi ion dihitung melalui konstanta kesetimbangan. Kurva titrasi adalah grafik sebagai fungsi pH dengan jumlah titran yang ditambahkan (Radhakrishnan, tanpa tahun).

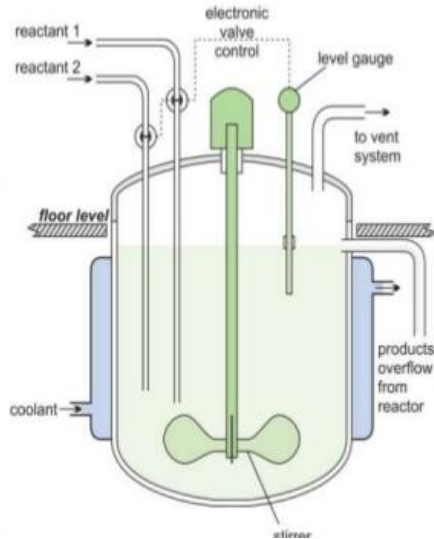
## 2.5 Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)

Reaktor adalah suatu alat proses tempat dimana terjadinya suatu reaksi berlangsung, baik itu reaksi kimia atau reaksi nuklir dan bukan secara fisika. Reaktor kimia adalah segala tempat terjadinya reaksi kimia, baik dalam ukuran kecil seperti tabung reaksi sampai ukuran yang besar seperti reaktor skala industri. Reaktor CSTR beroperasi pada kondisi *steady state* dan mudah dalam kontrol temperatur, tetapi waktu tinggal reaktan dalam reaktor ditentukan oleh laju alir dari umpan yang masuk atau keluar, maka waktu tinggal sangat terbatas sehingga sulit mencapai konversi reaktan pervolume reaktor yang tinggi karena dibutuhkan reaktor dengan volume yang sangat besar (Nur Saadah, 2018).

Reaktor adalah jantung dari proses kimia. Reaktor adalah suatu tempat proses dimana bahan-bahan diubah menjadi produk, dan perancangan reaktor untuk industri kimia harus mengikuti keperluan:

1. Faktor kimia : reaksi kimia.
2. Faktor transfer panas.
3. Faktor transfer massa.
4. Faktor keselamatan.

*Continuous Stirred Tank Reactor* adalah reaktor yang dirancang untuk mempelajari proses-proses penting dalam ilmu kimia. Reaktor jenis ini merupakan salah satu dari 3 tipe reaktor yang bisa bersifat *interchangeable* pada unit *service* reaktor.



**Gambar 2.5** *Continuous stirred tank reactor (CSTR)* (Nur Saadah, 2018)

Reaksi dimonitor oleh *probe* konduktivitas dari larutan yang berubah dengan konversi dari reaktan menjadi produk. Artinya ini merupakan proses titrasi yang tidak akurat dan tidak efisien dimana ini digunakan untuk memonitor perkembangan reaksi yang tidak begitu penting (Nur Saadah, 2018).

Reaksi yang terjadi adalah reaksi *safonifikasi* etil asetat dengan menggunakan NaOH yang dilakukan pada kondisi tekanan dan temperatur yang aman. *Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)* bisa berbentuk dalam tanki satu atau lebih dari satu dalam bentuk seri. *Continuous stirred tank reactor (CSTR)* adalah suatu wadah yang umumnya berbentuk silinder dengan diameter tertentu. Dimana di sekeliling wadah (reaktor) ini biasa dibiarkan terbuka (terjadi konveksi bebas antar reaktor dengan udara sekelilingnya), bisa juga diisolasi dengan bahan (isolator) tertentu, atau bisa juga dikelilingi (dialiri



sekelilingnya) dengan cairan pendingin/pemanas untuk menyerap panas yang timbul(Nur Saadah, 2018).

Sebagai salah satu reaktor kimia, di dalam CSTR terjadi reaksi kimia pembentukan atau penguraian. Dimana aliran massa masuk/keluar berlangsung secara terus menerus (kontinyu). Reaksi yang terjadi di dalam CSTR bisa berupa reaksi satu arah, reaksi bolak-balik, atau reaksi berantai.Karakteristik dari reaktor ini adalah beroperasi pada kondisi *steady state* dengan aliran reaktan dan produk secara kontinyu.Keuntungan dari reaktor ini adalah kualitas produk yang bagus, control yang otomatis dan tidak membutuhkan banyak tenaga operator.

Ciri utama dari CSTR adalah adanya proses pengadukan (*stirred*). Proses pengadukan ini diharapkan akan terjadi adanya distribusi sifat fisis dan kimiawi secara merata dari zat yang direaksikan di dalam reaktor. CSTR paling banyak digunakan di dunia industri proses. Contohnya adalah pada penanganan limbah.

## 2.6 Kontrol PID (*Proportional Integral Derivative*)

Didalam suatu sistem kontrol kita mengenal adanya beberapa macam aksi kontrol, diantaranya yaitu aksi kontrol proporsional, aksi kontrol integral dan aksi kontrol derivatif(Ylen, 2001). Masing-masing aksi kontrol ini mempunyai keunggulan-keunggulan tertentu, dimana aksi kontrol proporsional mempunyai keunggulan rise time yang cepat, aksi kontrol integral mempunyai keunggulan untuk memperkecil *error* dan aksi kontrol derivatif mempunyai keunggulan untuk memperkecil *error* atau meredam *overshoot*. Untuk itu agar kita dapat menghasilkan *output* dengan *risetime* yang cepat dan *error* yang kecil kita dapat menggabungkan ketiga aksi kontrol ini menjadi aksi kontrol PID. Parameter pengontrol *Proporsional Integral Derivative* (PID) selalu didasari atas tinjauan terhadap karakteristik yang diatur (*plant*). Dengan demikian bagaimanapun rumitnya suatu *plant*, perilaku *plant* tersebut harus diketahui terlebih dahulu sebelum pencarian parameter PID itu dilakukan agar memperoleh hasil yang diinginkan. Berikut merupakan penjelasan setiap parameter dari masing-masing kontrol dalam sistem pengendalian PID.

### 1. Kontrol Proporsional

Pengendali proporsional merupakan perkalian antara konstanta proporsional dengan masukannya. Perubahan pada sinyal masukan akan segera menyebabkan sistem secara langsung mengubah keluarannya sebesar konstanta pengalinya. Dalam kontroler tipe P ini, hubungan antara sinyal masukan dan sinyal keluaran adalah

$$\frac{U(s)}{E(s)} = Kp \quad (2.11)$$

Dalam perancangan sistem pengendali dengan kendali proporsional, harus memperhatikan karakteristik dari pengendali tipe-P ini agar menghasilkan sistem kontrol yang baik, yaitu:

1. Mengurangi waktu naik dan kesalahan keadaan tunak.
2. Overshoot tinggi yang sebanding dengan kenaikan nilai parameter  $Kp$ .
3. Mengurangi *Error Steady State* (beda antara setpoint dengan kontrol point).
4. Jika nilai  $Kp$  kecil, pengendali proporsional hanya mampu melakukan koreksi kesalahan yang kecil dan menyebabkan respon sistem yang lambat.

### 2. Kontrol Integral

Pengendali integral, sesuai dengan namanya mempunyai karakteristik seperti integral dimana keluarannya sangat dipengaruhi oleh perubahan yang sebanding dengan nilai sinyal kesalahan. Dalam pengendali integral, nilai masukan diubah pada laju proporsional dari sinyal pembangkit kesalahan. Sehingga:

$$\frac{du(t)}{dt} = Ki e(t) \quad (2.12)$$

Dengan  $Ki$  adalah konstanta integral. Fungsi alih dari *Controller* integral adalah sebagai berikut :

$$u(t) = \int_0^t e(t)dt \quad (2.13)$$

Dimana  $T_i$  adalah waktu integral, karakteristik pengendali integral adalah:

1. Menghilangkan offset.
2. Keluaran kontroler membutuhkan selang waktu tertentu, sehingga akan memperlambat respon.
3. Saat sinyal kesalahan nol, keluaran kontroler akan bertahan pada nilai sebelumnya.
4. Saat sinyal kesalahan tidak berharga nol, keluaran akan menghasilkan perubahan yang dipengaruhi oleh besarnya sinyal kesalahan dan nilai  $K_i$ .
5. *Overshoot* tinggi.
6. Mengurangi *risetime*.

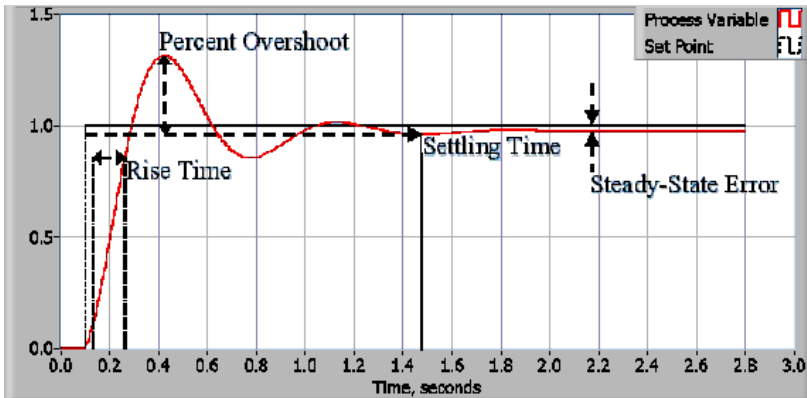
### 3. Kontrol Derivatif

Kontrol derivatif dapat disebut pengendali laju, karena output kontroler sebanding dengan laju perubahan sinyal *error*. Hubungan antara output kontrol derivatif  $u(t)$  dengan sinyal *error*  $e(t)$  terlihat pada persamaan berikut :

$$u(t) = K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2.13)$$

Kontrol derivatif tidak akan pernah digunakan sendirian, karena kontroler ini hanya akan aktif pada periode peralihan. Pada periode peralihan, kontrol derivatif menyebabkan adanya redaman pada sistem sehingga lebih memperkecil lonjakan. Seperti pada kontrol proporsional, kontrol derivatif juga tidak dapat menghilangkan *offset*.

Ada beberapa parameter dalam menentukan suatu sistem *close loop*, yaitu *ris time*, *overshoot*, *settling time*, dan *steady state error*. *Risetime* adalah waktu yang dibutuhkan respon untuk memotong sumbu *steady state* yang diukur mulai respon 10%-90% saat pertama kali sistem dijalankan. *Overshoot* adalah seberapa besar *peak level* lebih tinggi dari *steady state*, untuk membuat normal lagi *steady state*. *Settling time* adalah waktu yang dibutuhkan sistem untuk mengkonvergenkan *steady state*.



**Gambar 2.6** Respon Sistem Dinamik(Ylen, 2001)

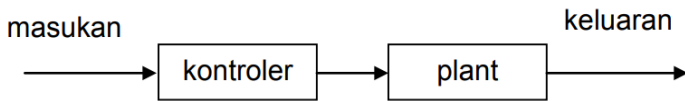
Berikut merupakan tabel kelebihan dan kekurangan masing-masing.

**Tabel 2.3** Respon PID Controller Terhadap Perubahan Konstanta

<i>Close Loop Response</i>	<i>Rise Time</i>	<i>Overshoot</i>	<i>Settling Time</i>	<i>SS Error</i>
$K_p$	<i>Decrease</i>	<i>Increase</i>	<i>Small change</i>	<i>Decrease</i>
$K_i$	<i>Decrease</i>	<i>Increase</i>	<i>Increase</i>	<i>Eliminate</i>
$K_d$	<i>Small change</i>	<i>Decrease</i>	<i>Decrease</i>	<i>Small change</i>

## 2.7 Sistem Kontrol *Open Loop*

Sistem kontrol *open loop* merupakan suatu sistem kontrol yang mempunyai karakteristik dimana nilai keluaran tidak memberikan pengaruh pada aksi kontrol. Dalam suatu sistem kontrol *open loop*, keluaran tidak dapat dibandingkan dengan masukan acuan. Jadi, untuk setiap masukan acuan berhubungan dengan operasi tertentu, sebagai akibat ketetapan dari sistem tergantung kalibrasi.

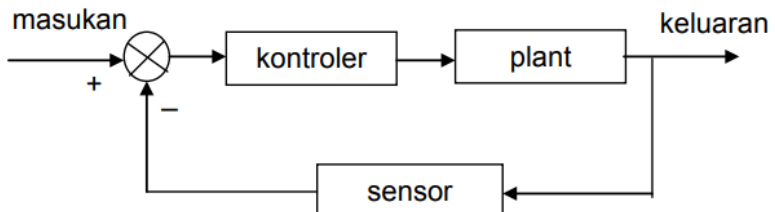


**Gambar 2.7** Sistem Kontrol *Open Loop*(Ylen, 2001)

Dengan adanya gangguan, sistem kontrol *open loop* tidak dapat melaksanakan tugas sesuai yang diharapkan. Sistem kontrol *open loop* dapat digunakan hanya jika hubungan antara masukan dan keluaran diketahui dan tidak terdapat gangguan internal maupun eksternal. Sistem kontrol *open loop* lebih sederhana, murah, dan mudah dalam desainnya, akan tetapi akan menjadi tidak stabil dan seringkali memiliki tingkat kesalahan yang besar bila diberikan gangguan dari luar.

## 2.8 Sistem Kontrol *Close Loop*

Sistem kontrol *close loop* adalah identik dengan sistem kontrol umpan balik, dimana nilai dari keluaran akan ikut mempengaruhi pada aksi kontrolnya.



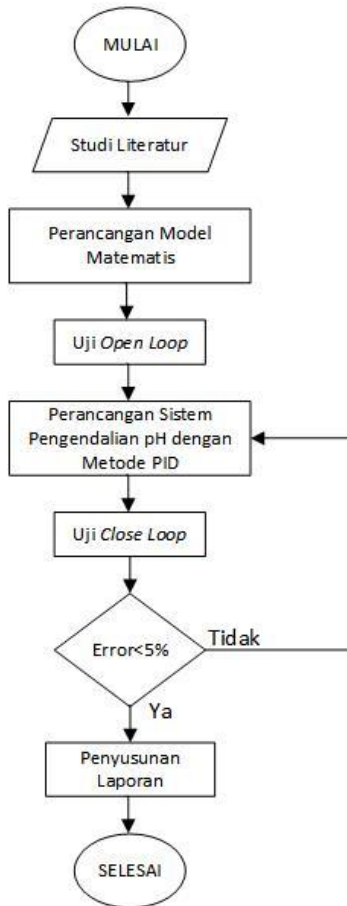
**Gambar 2.8** Sistem Kontrol *Close Loop*(Ylen, 2001)

Sistem kontrol *close loop* lebih rumit, mahal, dan sulit dalam desain. Akan tetapi tingkat kestabilannya yang relatif konstan dan tingkat kesalahannya yang kecil bila terdapat gangguan dari luar, membuat sistem kontrol ini lebih banyak menjadi pilihan para perancang sistem kontrol.

Sistem kontrol tertutup mempunyai banyak keunggulan dibanding sistem kontrol terbuka, yaitu mempunyai tingkat ketepatan yang lebih tinggi dan tidak peka terhadap gangguan dan perubahan pada lingkungan. Sistem kontrol loop tertutup adalah identik dengan sistem kontrol umpan balik, dimana nilai dari keluaran akan ikut mempengaruhi pada aksi kontrolnya.

### BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Langkah–langkah dalam tugas akhir ini digambarkan dalam diagram alir pada Gambar 3.1



**Gambar 3.1.** *Flowchart* Metodologi Penelitian

Dengan adanya *flowchart* metodologi penelitian yang telah digambarkan, maka penjelasan pada setiap langkah-langkah yang telah digambarkan adalah sebagai berikut:

### 3.1 Studi Literatur

Tahap awal pada *flowchart* ini dimulai dengan adanya studi literatur sebagai upaya pemahaman terhadap materi yang menunjang tugas akhir mengenai "Perancangan Sistem Netralisasi pH pada *Continuous Stirred-Tank Reactor (CSTR)*". Studi literatur ini dilakukan dengan mencari dan mempelajari informasi dari *thesis* maupun manual book mengenai sistem kontrol PID dan pencampuran pH pada *Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)*.

**Tabel 3.1** Data Perancangan

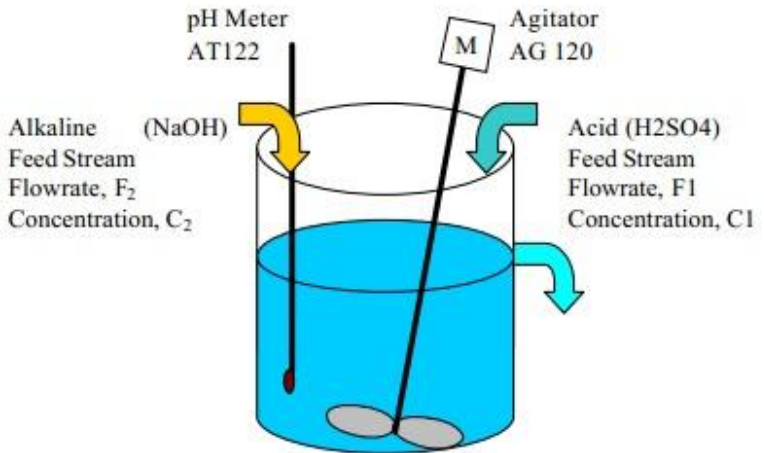
Data Operasional	Satuan
$F_1$	17,5 liter/detik
$F_2$	4-12 liter/detik
$C_1$	0,01 mol/liter
$C_2$	0,05 mol/liter
$V$	80 liter

### 3.2 Perancangan Model Matematis

Setelah melakukan studi literatur, selanjutnya adalah melakukan perancangan pemodelan statik dan dinamik. Pemodelan statik dilakukan untuk membuat model pencampuran larutan agar dapat menentukan nilai pH dari jumlah  $[H^+]$ . Kemudian pemodelan dinamik dilakukan untuk mengendalikan pH pada *Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)*.

Ibrahim (2008) mengungkapkan reaksi antara larutan  $H_2SO_4$  dan NaOH yang terjadi didalam *Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)* dilakukan dengan cara larutan  $H_2SO_4$  mengalir secara konstan sehingga larutan NaOH berfungsi sebagai larutan pengendali. *Plant CSTR* sistem netralisasi pH yang digunakan dapat ditunjukkan pada Gambar (3.2) dan diperoleh rumus permodelan dinamik seperti pada persamaan rumus (3.1) dan (3.2).





**Gambar 3.2.** *Plant CSTR*(Ibrahim,2008)

Sehingga apabila persamaan (3.1) dan (3.2) diterapkan pada *matlab simulink* sebagai bentuk pemodelan dinamik, maka akan didapatkan hasil seperti ditunjukkan oleh Gambar (3.3)

$$V \frac{d\alpha}{dt} = F_1 C_1 - (F_1 + F_2)\alpha \quad (3.1)$$

$$V \frac{d\beta}{dt} = F_2 C_2 - (F_1 + F_2)\beta \quad (3.2)$$

Dimana:

$C_1$  : konsentrasi asam (Molar),

$C_2$  : konsentrasi basa (Molar),

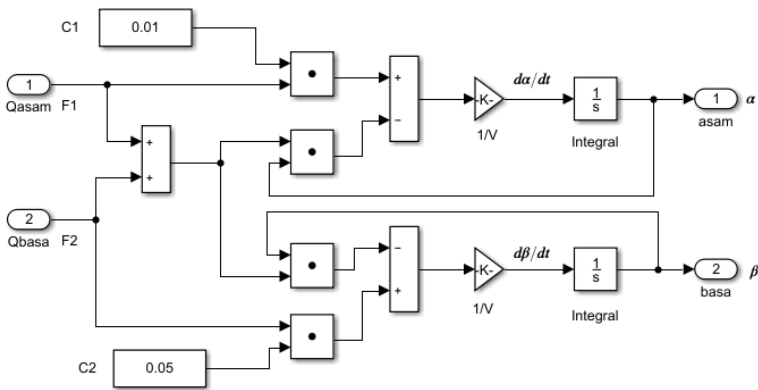
$\alpha$  : konsentrasi asam dalam larutan (Molar),

$\beta$  : konsentrasi basa dalam larutan (Molar),

$F_1$  : laju aliran asam (Liter/detik),

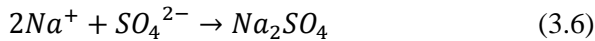
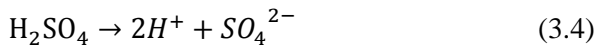
$F_2$  : laju aliran basa (Liter/detik)

$V$  : *volume* campuran (Liter).



**Gambar 3.3** Pemodelan Dinamik pada *Simulink*

Setelah didapatkan pemodelan dinamik, kemudian dicari pemodelan statik dari reaksi  $H_2SO_4$  dan  $NaOH$ , sehingga diperlukan persamaan kesetimbangan larutan  $H_2SO_4$  dan  $NaOH$  seperti berikut :



Dari persamaan kesetimbangan tersebut dapat dicari masing masing kesetimbangan antara asam dan basa seperti berikut :

$$K1 = \frac{[H^+][HSO_4^-]}{[H_2SO_4]} \quad (3.7)$$

$$K_2 = \frac{[H^+][SO_4^{-2}]}{[H_2SO_4]} \quad (3.8)$$

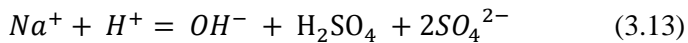
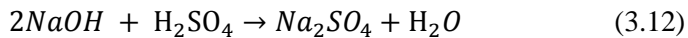
$$K_w = [H^+][OH^-] \quad (3.9)$$

Pemodelan statik reaksi kimia dilakukan berdasarkan konsep reaksi *invariant*. Pada sistem ini terdapat 2 reaksi *invariant* yang terjadi yaitu :

$$\alpha = [H_2SO_4] + [HSO_4^-] + [SO_4^{-2}] \quad (3.10)$$

$$\beta = [Na^+] \quad (3.11)$$

Berdasarkan persamaan netralitas elektrik maka dapat dihitung permodelan statik dari reaksi pencampuran larutan  $H_2SO_4$  dan NaOH seperti berikut :



Nilai pH diukur berdasarkan nilai konsentrasi ion *hydrogen*, maka nilai pH dapat dihitung menggunakan persamaan seperti berikut :

$$pH = -\log_{10}[H^+] \quad (3.14)$$

Dimana nilai konsentrasi dari ion positif *hydrogen* dapat dihitung menggunakan persamaan seperti berikut :

$$[H^+]^4 + \alpha_1[H^+]^3 + \alpha_2[H^+]^2 + \alpha_3[H^+] + \alpha_4 \quad (3.15)$$

Dimana koefisien  $\alpha_1$  hingga  $\alpha_4$  didefinisikan dengan persamaan sebagai berikut :

$$\alpha_1 = K_1 + \beta \quad (3.16)$$

$$\alpha_2 = \beta K_1 + K_1 K_2 - K_w - K_1 \alpha \quad (3.17)$$

$$\alpha_3 = \beta K_1 K_2 + K_1 K_w - 2K_1 K_2 \alpha \quad (3.18)$$

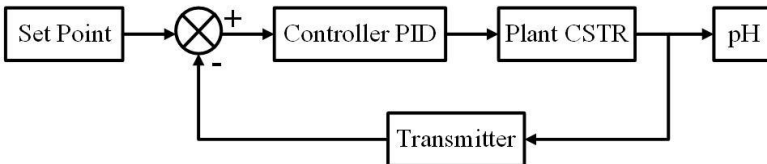
$$\alpha_3 = \beta K_1 K_2 + K_1 K_w - 2K_1 K_2 \alpha \quad (3.19)$$

Pengujian simulasi open loop berfungsi untuk mengamati model plant dari proses mixing. apakah nilai pH yang dihasilkan sama dengan set point yang sudah ditentukan. Selain itu, pengujian simulasi open loop juga digunakan untuk mengamati respon plant terhadap input, bagaimana respon sistem tersebut sebelum diberi *controller PID* pada simulink.



**Gambar 3.4** Diagram Blok Sistem Open Loop

Pengujian simulasi *close loop* input yang digunakan adalah laju aliran dari konsentrasi basa sedangkan data output-nya adalah pH. Pada uji close loop ini digunakan *controller PID*. PID digunakan untuk mengontrol plant agar hasil keluaran pada plant sesuai dengan input.



**Gambar 3.5** Diagram Blok Sistem Close Loop

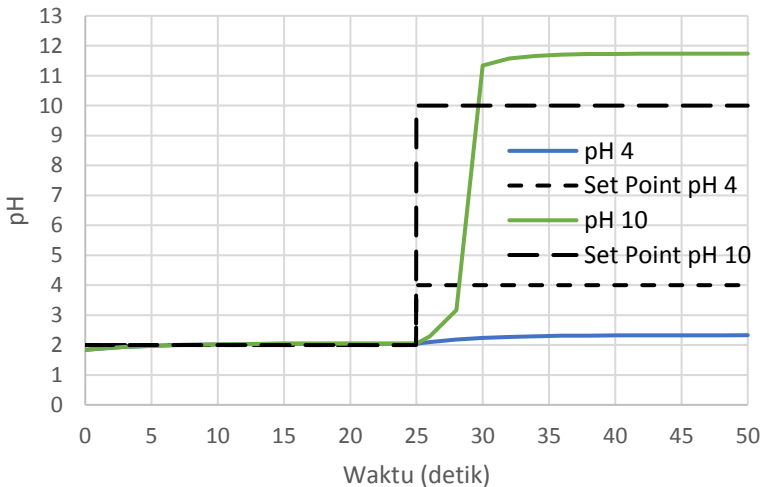
## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Analisa Data

Setelah dilakukan perancangan struktur sistem netralisasi pH pada *Continuous Stirred Tank Reaction (CSTR)*, maka pada bab ini akan dibahas mengenai hasil simulasi yang telah dilakukan.

#### 4.1.1 Uji *Open Loop*

Uji *open loop* dilakukan dengan diberikan variasi nilai input pH pada *flow* basa dari sistem netralisasi pH.



**Gambar 4.1** Hasil Uji *Open Loop*

Uji *open loop* bertujuan untuk mengetahui hasil respon pada *plant* sebelum diberi kontroler. Dari hasil respon yang didapatkan dari uji *plant* pada gambar (4.1) dapat diketahui bahwa nilai *input flow* basa dengan pH sebesar 2, 4 dan 10. Pada *input flow* basa pH 2 nilai pH yang dihasilkan sebesar 2,05, *input flow* basa pH 4 nilai pH yang dihasilkan

sebesar 2,33 dan pada *input flow* basa pH 10 nilai pH yang dihasilkan sebesar 11,74.

#### 4.1.2 Uji *Close Loop*

Pada pengujian *close loop* ini dilakukan dengan kondisi kontroler telah terpasang. Pada sistem *close loop* diberi kontroler PID agar sistem netralisasi dapat mencapai *set point* yang diinginkan dengan besar nilai *error* maksimum sebesar 5%.

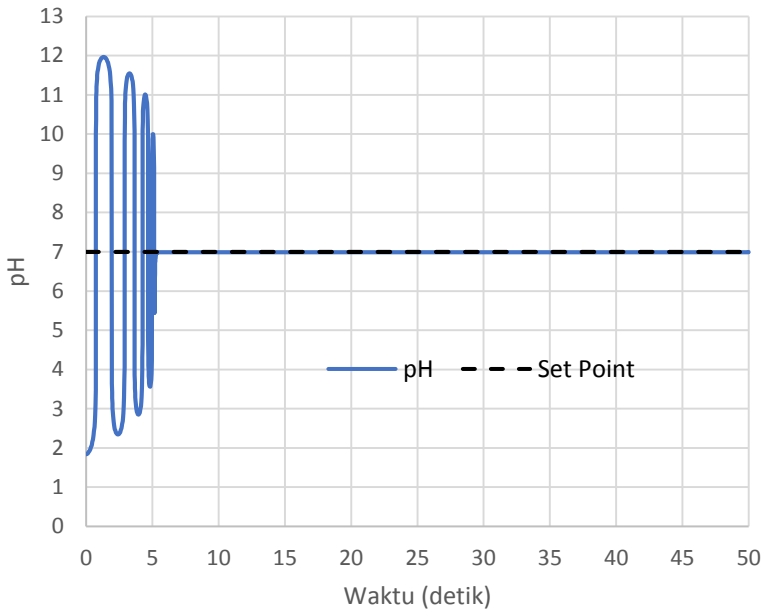
Besar nilai Kp, KI dan Kd ditentukan berdasarkan eksperimen dengan merubah nilai masing-masing parameter PID dan dilakukan variasi kombinasi dari parameter PID dimana hasil perbandingan masing-masing parameter dan variasi kombinasi PID telah dilampirkan.

Kombinasi parameter terbaik yakni menggunakan pengendalian PID. Berikut ini merupakan hasil respon *plant* ketika pH 7 dengan parameter *tunning* PID, Kp : 0,7642, KI : 18,9 dan Kd : 0,001.

**Tabel 4.1** Hasil Respon Uji pH 7

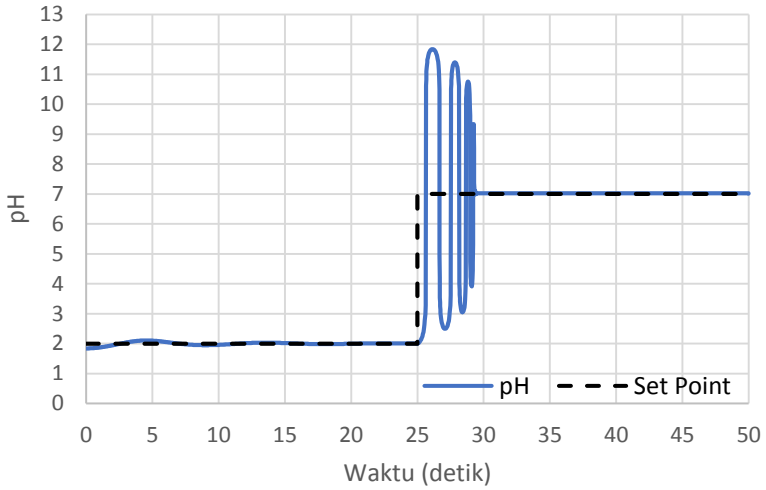
Jenis Uji	Karakteristik Dinamik	Nilai
<i>Set point</i> pH 7 (Gambar 4.2)	<i>Max Overshoot</i>	47,2 %
	<i>Settling time</i>	26,7 s
	<i>Error</i>	0,14 %

Dilakukan beberapa variasi parameter *set point*, yang berfungsi untuk menguji respon sistem setelah diberi kontroler. Nilai *set point* yang di gunakan sebanyak 2 variasi dan masing-masing *set point* dilakukan pada *set point* pH konstan sebesar 7 dan pH dengan input *set point* naik dan turun untuk mengetahui bagaimana respon *plant* ketika diberi pH asam dan basa. Berdasarkan hasil respon menggunakan *set point* pH 7 pada sistem netralisasi pH didapatkan nilai *overshoot*, *settling time*, *error steady state*, dan nilai respon pH seperti berikut pada tabel (4.1) dan pada gambar (4.2) dapat diketahui hasil respon dari pH 7 yang telah diberi kontroler PID dan respon pH yang dihasilkan stabil dan dapat memenuhi *set point*.

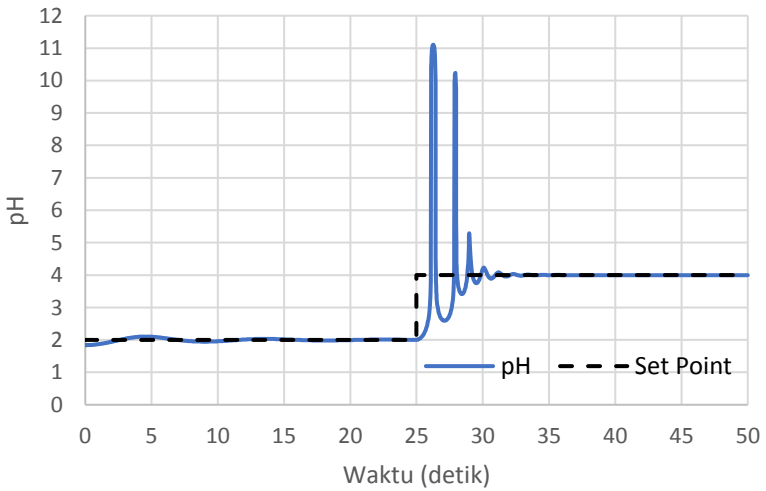


**Gambar 4.2** Hasil Uji pH 7

Setelah didapatkan hasil uji *close loop* dengan set point pH 7, kemudian dilakukan uji *close loop* dengan set point variasi pH asam dan basa dengan kondisi *input step* naik-turun dan sebaliknya. Setelah didapatkan hasil uji *close loop* dengan set point pH 7, kemudian dilakukan uji *close loop* dengan set point variasi pH asam dan basa dengan kondisi *input step* naik-turun dan sebaliknya. Hal ini dilakukan untuk menguji kestabilan sistem. Variasi *set point* pH asam dan basa dilakukan dengan 3 macam nilai variasi pH yakni sebesar pH 2-4, 2-7 dan 4-12. Berdasarkan gambar (4.3) sampai (4.5) dapat dihitung nilai karakteristik sistem dinamik berupa *maximum overshoot*, *settling time*, serta *error steady state* dan nilai respon pH sehingga dapat dilakukan perbandingan karakteristik sistem dinamik berdasarkan pada tabel (4.2).

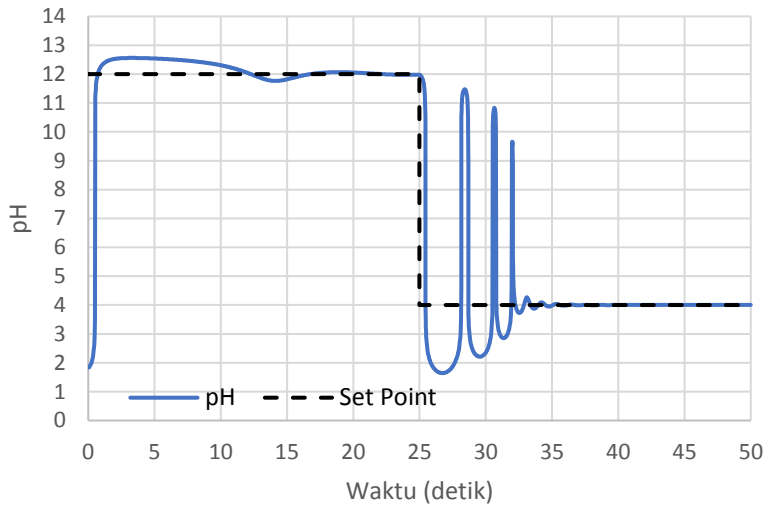


**Gambar 4.3** Hasil Uji pH 2-7



**Gambar 4.4** Hasil Uji pH 2-4





**Gambar 4.5** Hasil Uji pH 12-4

**Tabel 4.2** Hasil Respon Uji Variasi pH Asam-Basa

<b>Jenis Uji</b>	<b>Karakteristik Dinamik</b>	<b>Nilai</b>
<i>Set point</i> pH 2 (Gambar 4.3)	<i>Max Overshoot</i>	1,5 %
	<i>Settling time</i>	11,78 s
	<i>Error</i>	0 %
<i>Set point</i> pH 7 (Gambar 4.3)	<i>Max Overshoot</i>	54,6 %
	<i>Settling time</i>	31,9 s
	<i>Error</i>	0,14 %

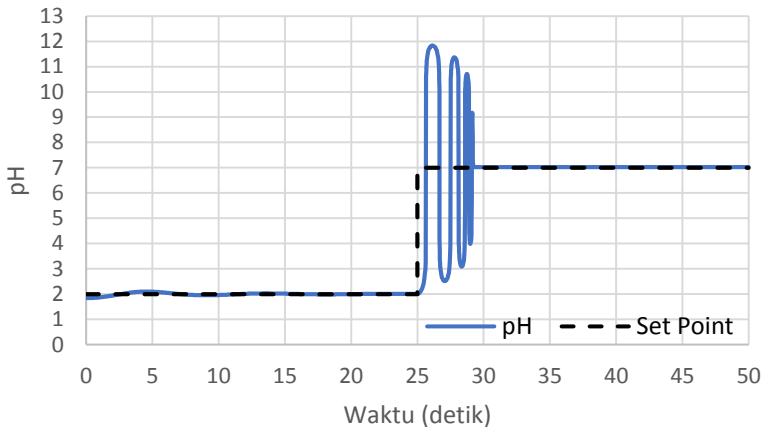
**Tabel 4.2** Hasil Respon Uji Variasi pH Asam-Basa(Lanjutan)

Jenis Uji	Karakteristik Dinamik	Nilai
Set point pH 2 (Gambar 4.4)	<i>Max Overshoot</i>	5 %
	<i>Settling time</i>	16,58 s
	<i>Error</i>	0 %
Set point pH 4 (Gambar 4.4)	<i>Max Overshoot</i>	54,6 %
	<i>Settling time</i>	31,9 s
	<i>Error</i>	0,14 %
Set point pH 12 (Gambar 4.5)	<i>Max Overshoot</i>	0,04 %
	<i>Settling time</i>	16,7 s
	<i>Error</i>	0,17 %
Set point pH 4 (Gambar 4.5)	<i>Max Overshoot</i>	187 %
	<i>Settling time</i>	15,84 s
	<i>Error</i>	0 %

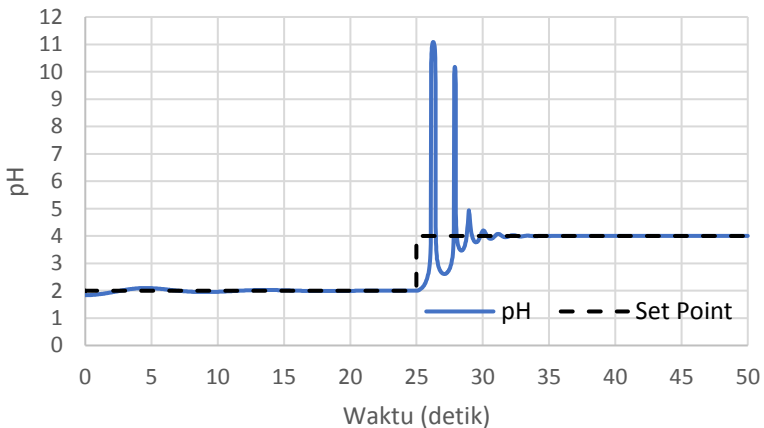
### 4.1.3 Uji *Disturbance*

Dilakukan uji *disturbance* untuk mengetahui kestabilan suatu sistem apabila sistem tersebut diberikan sebuah gangguan/*disturbance*. Gangguan/*disturbance* berupa penambahan nilai *flow* asam sebesar 10%. Dilakukan uji *disturbance* naik dengan set point variasi pH asam dan basa dengan *input step*. Variasi *set point* pH asam dan basa yakni sebesar pH 2-4, 2-7 dan 4-12. Berdasarkan gambar (4.6) sampai (4.8) dapat dihitung nilai karakteristik sistem dinamik berupa *maximum*

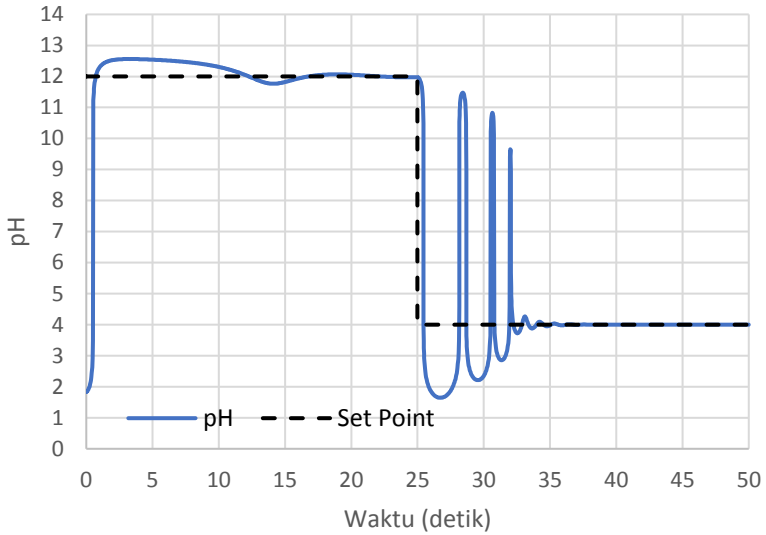
*overshoot*, *settling time*, serta *error steady state* dan nilai respon pH sehingga dapat dilakukan perbandingan pada tabel (4.3). Pada *set point* pH 2-4 diperoleh hasil nilai pH sebesar 4, pada *set point* pH 2-7 diperoleh hasil nilai pH sebesar 7,02, dan pada *set point* pH 4-12 diperoleh hasil pH sebesar 12.



**Gambar 4.6** Hasil Uji *Disturbance* Naik pH 2-7



**Gambar 4.7** Hasil Uji *Disturbance* Naik pH 2-4



**Gambar 4.8** Hasil Uji *Disturbance* Naik pH 12-4

**Tabel 4.3** Hasil Respon Uji *Disturbance* Naik

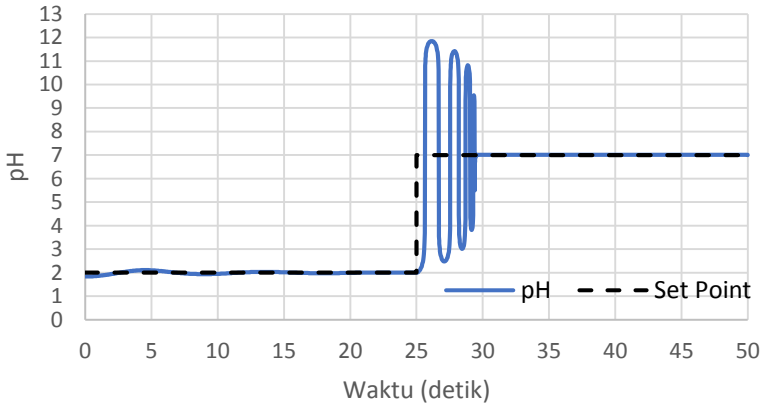
Jenis Uji <i>Disturbance</i> Naik	Karakteristik Dinamik	Nilai
Set point pH 2 (Gambar 4.6)	<i>Max Overshoot</i>	1,5 %
	<i>Settling time</i>	11,78 s
	<i>Error</i>	0 %
Set point pH 7 (Gambar 4.6)	<i>Max Overshoot</i>	54,6 %
	<i>Settling time</i>	31,9 s
	<i>Error</i>	0,28 %

**Tabel 4.3** Hasil Respon Uji *Disturbance* Naik(Lanjutan)

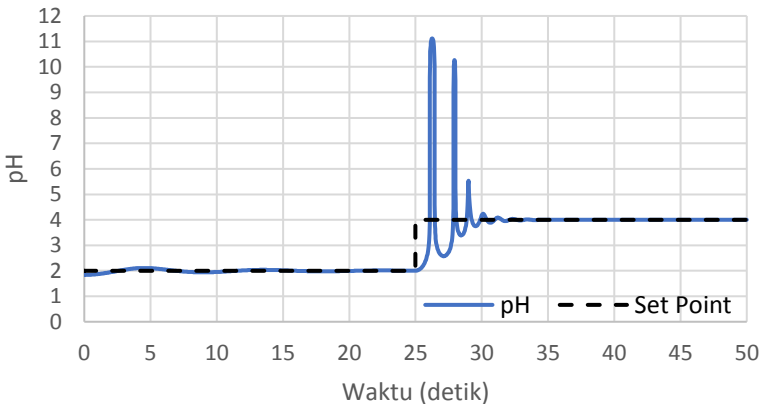
<b>Jenis Uji <i>Disturbance</i> Naik</b>	<b>Karakteristik Dinamik</b>	<b>Nilai</b>
<i>Set point</i> pH 2 (Gambar 4.7)	<i>Max Overshoot</i>	5 %
	<i>Settling time</i>	16,58 s
	<i>Error</i>	0 %
<i>Set point</i> pH 4 (Gambar 4.7)	<i>Max Overshoot</i>	51,4 %
	<i>Settling time</i>	27,4 s
	<i>Error</i>	0 %
<i>Set point</i> pH 12 (Gambar 4.8)	<i>Max Overshoot</i>	1,58 %
	<i>Settling time</i>	27 s
	<i>Error</i>	0 %
<i>Set point</i> pH 4 (Gambar 4.8)	<i>Max Overshoot</i>	187 %
	<i>Settling time</i>	15,84 s
	<i>Error</i>	0 %

Setelah dilakukan uji *disturbance* naik, juga uji *disturbance* turun dengan set point variasi pH asam dan basa dengan *input step* yang sama. Variasi *set point* pH asam dan basa yakni sebesar pH 2-4, 2-7 dan 12-4. Berdasarkan gambar (4.6) sampai (4.8) dapat dihitung nilai karakteristik sistem dinamik berupa *maximum overshoot*, *settling time*, serta *error steady state* dan nilai respon pH sehingga dapat dibandingkan pada tabel (4.4). Respon yang dihasilkan ketika sistem diberikan sebuah gangguan/*disturbance* menunjukkan sistem stabil dan

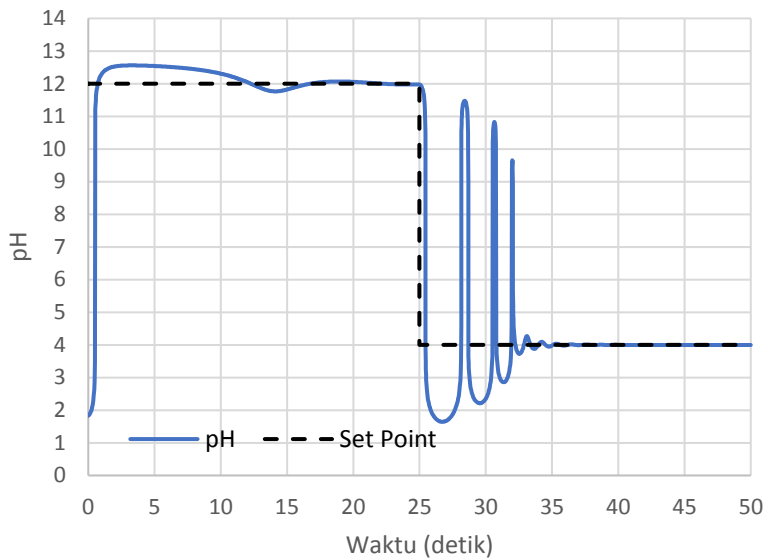
sesuai dengan *set point* yang diinginkan. Pada *set point* pH 2-4 diperoleh hasil nilai pH sebesar 4, pada *set point* pH 2-7 diperoleh hasil nilai pH sebesar 7.02, dan pada *set point* pH 12-4 diperoleh hasil pH sebesar 12. Berdasarkan hasil yang telah diperoleh hasil respon nilai pH setelah diberikan gangguan/*disturbance* naik dan turun dihasilkan nilai pH yang sesuai dengan *set point* yang diinginkan.



**Gambar 4.9** Hasil Uji *Disturbance* Turun pH 2-7



**Gambar 4.10** Hasil Uji *Disturbance* Turun pH 2-4



**Gambar 4.11** Hasil Uji *Disturbance* Turun pH 12-4

**Tabel 4.4** Hasil Respon Uji *Disturbance* Turun

<b>Jenis Uji <i>Disturbance</i> Turun</b>	<b>Karakteristik Dinamik</b>	<b>Nilai</b>
<i>Set point</i> pH 2 (Gambar 4.9)	<i>Max Overshoot</i>	1,5 %
	<i>Settling time</i>	11,78 s
	<i>Error</i>	0 %
<i>Set point</i> pH 7 (Gambar 4.9)	<i>Max Overshoot</i>	57,8%
	<i>Settling time</i>	36,3 s
	<i>Error</i>	0,14%

**Tabel 4.4** Hasil Respon Uji *Disturbance* Turun(Lanjutan)

<b>Jenis Uji <i>Disturbance</i> Turun</b>	<b>Karakteristik Dinamik</b>	<b>Nilai</b>
<i>Set point</i> pH 2 (Gambar 4.10)	<i>Max Overshoot</i>	5 %
	<i>Settling time</i>	16,58 s
	<i>Error</i>	0 %
<i>Set point</i> pH 4 (Gambar 4.10)	<i>Max Overshoot</i>	57,8 %
	<i>Settling time</i>	36,3 s
	<i>Error</i>	0 %
<i>Set point</i> pH 12 (Gambar 4.11)	<i>Max Overshoot</i>	54,6 %
	<i>Settling time</i>	31,9 s
	<i>Error</i>	0 %
<i>Set point</i> pH 4 (Gambar 4.11)	<i>Max Overshoot</i>	187 %
	<i>Settling time</i>	15,84 s
	<i>Error</i>	0 %

## 4.2 Pembahasan

Hasil uji dari simulasi *open loop* didapatkan nilai pada *input flow* basa pH 2 nilai pH yang dihasilkan sebesar 2,05, *input flow* basa pH 4 nilai pH yang dihasilkan sebesar 2,33 dan pada *input flow* basa pH 10 nilai pH yang dihasilkan sebesar 11,74. Hasil uji *open loop* berguna untuk mengetahui *range* dalam penentuan pengendalian netralisasi pH serta melihat hasil dari permodelan statik dan dinamik yang sudah sesuai dengan kurva titrasi. Pada uji simulasi *close loop*, dilakukan



beberapa variasi parameter *set point*, yang berfungsi untuk menguji respon sistem setelah diberi kontroler. Nilai *set point* yang di gunakan sebanyak 2 variasi dan masing-masing *set point* dilakukan pada set point pH konstan sebesar 7 dan pH dengan input *set point* naik-turun untuk mengetahui bagaimana respon *plant* ketika diberi pH asam dan basa. Dari variasi tersebut dapat diketahui dari tabel (4.2) bahwa masing-masing *set point* mempunyai nilai *overshoot*, *settling time*, dan *error* yang berbeda-beda. *Settling time* yang dibutuhkan pada masing-masing *set point* berbeda. *Settling time* yang paling baik terdapat pada *set point* 7(pH netral) dan pada *set point* naik turun pH 4-12. Dapat dilihat pada tabel (4.1) bahwa respon yang paling cepat mencapai *steady state* adalah respon yang diberi *set point* konstan bernilai pH 7. Sedangkan untuk *set point* naik-turun sebesar pH 2-4 dan pH 2-7 mencapai *steady state* dengan membutuhkan waktu yang sedikit lebih lama. Pada *set point* pH 7 dan pH 2-7 mempunyai nilai error sebesar 0.14 %.. Sedangkan pada *set point* pH 2-4 dan pH 12-4 tidak mempunyai nilai error. Pada pengendalian *plant close loop* tuning PID yang dilakukan dengan metode *trial and error* dimana diperoleh nilai tuning untuk Kp sebesar 0.7642, KI sebesar 18.9 dan Kd sebesar 0.001.

Setelah diperoleh hasil sistem yang stabil, pada sistem diperlukan adanya pengujian terhadap gangguan/*disturbance*. Uji *disturbance* bertujuan untuk menguji kestabilan pada sistem netralisasi pH pada *plant CSTR*. Gangguan/*disturbance* pada sistem ini berupa perubahan nilai laju aliran pada *flow* asam. Uji *disturbance* dilakukan 2 kali uji yaitu uji *disturbance* naik dan turun sebesar 10% dimana pada hal ini dilakukan penambahan pada *flow* asam yang berarti uji *disturbance* naik dan *flow* asam ditambah sebesar 1.75 Liter/detik sehingga nilai *flow* asam(F1) menjadi 19.25 Liter/detik. Dan dilakukan pengurangan pada *flow* asam yang berarti uji *disturbance* turun dan *flow* asam dikurangi sebesar 1.75 Liter/detik sehingga nilai *flow* asam(F1) menjadi 15.75 Liter/detik.

Uji variasi pengendalian dilakukan untuk mengetahui pengendalian yang tepat digunakan pada sistem. Pada rancangan sistem netralisasi pH pada *plant CSTR* digunakan sistem pengendalian PID.

Sistem ini digunakan karena memiliki respon yang paling stabil. Hal ini dapat dibuktikan dengan perbandingan variasi sistem pengendalian yang telah dilakukan. Uji variasi sistem pengendalian dilakukan 4 macam variasi yaitu uji kontrol proporsional(P), uji kontrol integral(I), uji kontrol proporsional integral(PI) yang merupakan gabungan dari sistem kontrol proporsional dan integral dan uji proporsional derivatif(PD) yang merupakan gabungan dari sistem kontrol proporsional dan derivatif. *Set point* pH asam dan basa yakni sebesar 2-7. Pada kontrol proporsional (P) memiliki keterbatasan sifat kontrol yang tidak dinamik. Pada kontrol integral(I) dapat memperbaiki sekaligus menghilangkan respon *steady state* tetapi apabila besar nilai pengendaliannya tidak tepat akan mengakibatkan respon sistem berosilasi. Sedangkan kontrol derivatif(D) dapat memperbaiki respon dan memprediksi error pada sistem. Sistem pengendalian kontrol proporsional(P), kontrol integral(I), kontrol proporsional integral(PI) dan kontrol proporsional derivatif(PD) memiliki hasil respon yang tidak stabil dikarenakan hasilnya berosilasi dan tidak dapat mencapai nilai *set point* yang diinginkan pada sistem. Berdasarkan hasil dari analisa respon sistem yang telah dihasilkan sistem pengendalian PID memiliki respon yang paling stabil dan mampu mencapai *set point* yang diinginkan pada sistem.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan analisa data yang telah dilakukan diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

- a. Diperoleh hasil simulasi berdasarkan persamaan pemodelan *plant* dan *controller* untuk merancang sistem netralisasi pH pada CSTR. Pada pemodelan *plant* diperoleh nilai error sebesar 0,14 %.
- b. Respon dari pengendalian sistem netralisasi pH yang terbaik dengan menggunakan sistem pengendalian PID yang dapat mengikuti set point sebesar pH 7. Karakteristik dinamik yang diperoleh yakni settling time 26,7s, *max overshoot* 47,2 %, dan error sebesar 0,14 sehingga nilai pH pada *plant* sebesar 6,99.

#### **5.2 Saran**

Berdasarkan kesimpulan yang telah didapat saran yang dapat diberikan untuk menunjang penelitian ke depan yakni sebagai berikut :

- a. Dapat dilakukan pemodelan dengan variasi sistem pengendalian agar dapat dilakukan perbandingan sehingga diperoleh sistem pengendalian yang lebih tepat pada *plant*.
- b. Dapat diaplikasikan dalam *real plant* baik dalam skala kecil maupun besar.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR PUSTAKA

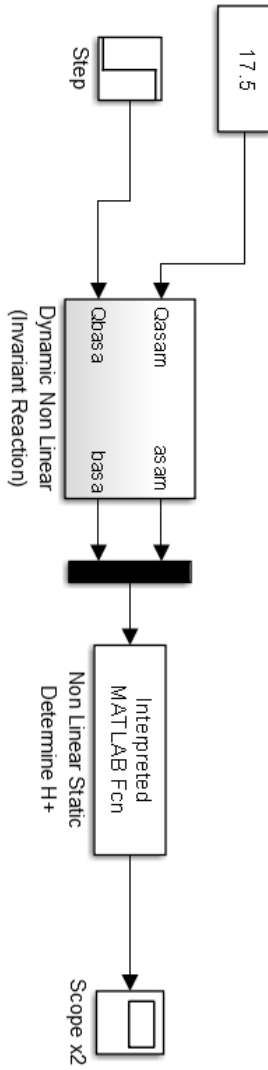
- [1] Cordova, H. 2007. **Analisa Simulasi  $H^+$  pada Pengendalian Penetralan pH Larutan HCL-NaOH Menggunakan Metode Gabungan Elektronitas Non-Linear Statik dan Dinamika Reaksi Invarian**, Teknik Fisika, FTI, ITS.
- [2] Gustaffson, T. K. & Waller, K. V. 1983, *Dynamic Modelling and Reaction Invariant Control of pH, Department Of Chemical Engineering, Abo Akademi Finland.*
- [3] Huda, N. 2008. **Strategi Kebijakan Pengelolaan Mangrove Berkelanjutan di Wilayah Pesisir Kabupaten Tanjung Jabung Timur Jambi**. Tesis. Program Pascasarjana. Universitas Diponegoro. Semarang.
- [4] Ibrahim, Rosdiazli. 2008. *Practical Modelling and Control Implementation Studies On A pH Neutralization Process Pilot Plant. Thesis. Doctor of Philosophy. Department of Electronics and Electrical Engineering Faculty of Engineering University of Glasgow.*
- [5] Kandulna, Ruben. 2015. *Design of PID Controller for FOPDT and IPDT System, Department of Electrical Engineering, National Institute of Technology, Rourkela.*
- [6] Middlebrooks, E.J. 1979. *Industrial Pollution Control. volume I : Agroindustries Jhon Willey & Sons. New York.*
- [7] Nur Saadah, Novia. 2018. **Perancangan PID Sebagai Pengendali pH Berbasis Tuning IMC pada Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)**. Teknik Fisika, FTI, ITS.
- [8] Pescod, M. 1973. *Investigation of Rational Effluent and Steam Standard for Tropical Countries*. AIT. Bangkok.
- [9] PT. Petrokimia Gresik. 2012. Data Perusahaan. Gresik.

- [10] Radhakrishnan, Vyidianath R. *Wiener Type Model for pH Neutralization Process*. Department of Chemical Engineering University Technology Petronas 31750 Tronoh, Malaysia.
- [11] Richana, Nur, Tun Tedja Irawadi, dkk. 2007. **Ekstraksi Xilan Dari Tongkol Jagung**. Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Kampus Dramaga Bogor.
- [12] Sanjaya, Haris. 2012. **Rancang Bangun Kontrol pH Menggunakan PID Berbasis Tuning Damping Ratio**, Teknik Fisika, FTI, ITS.
- [13] Talahatu, A. 2004. **Analisa Finansial Unit Pengolahan Limbah Cair PT Pupuk Kujang Dengan mikroalga Chlorella**. Departemen Teknologi Hasil Perikanan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan IPB. Bogor.
- [14] Ylen, J. P. 2001, *Measuring, Modeling, and Controlling the pH Value and the Dynamic Chemical State*, Helsinki University of Technology Control Engineering Laboratory.

## LAMPIRAN

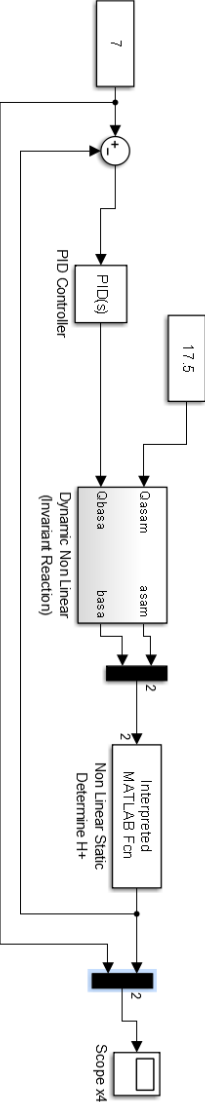
```
function funcout = H_Root_A1(pinput)
y1=pinput(:);
x1=y1(1,:);
x2=y1(2,:);
k1=1e3;
k2=1.2e-2;
kw=1e-14;
a1=k1+x2;
a2=(x2*k1)+(k1*k2)-kw-(k1*x1);
a3=(x2*k1*k2)-(k1*kw)-(2*k1*k2*x1);
a4=-(k1*k2*kw);
p=[a1 a2 a3 a4];
r=roots(p);
for i=1:3
    if r(i,1)>0
        H=r(i,1);
    end
end
Hplus=max(H);
pH =-log10(Hplus);
funcout=pH;
```

## LAMPIRAN SIMULASI *OPEN LOOP*

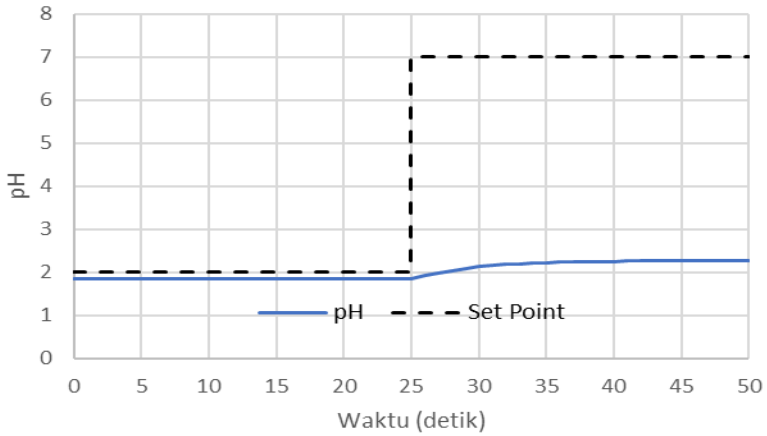




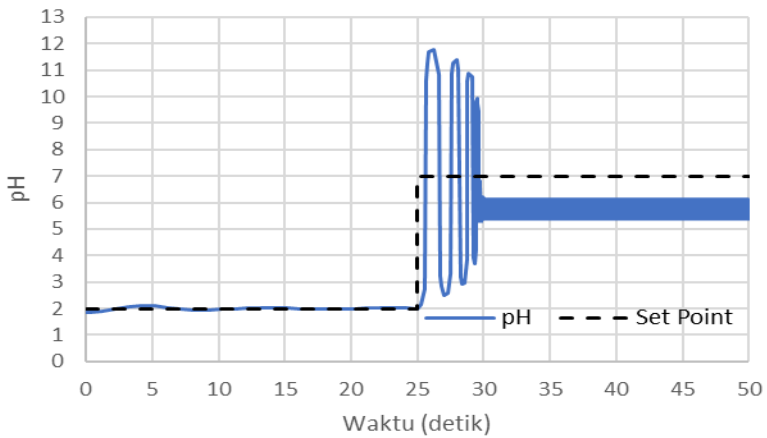
# LAMPIRAN SIMULASI *CLOSE LOOP*



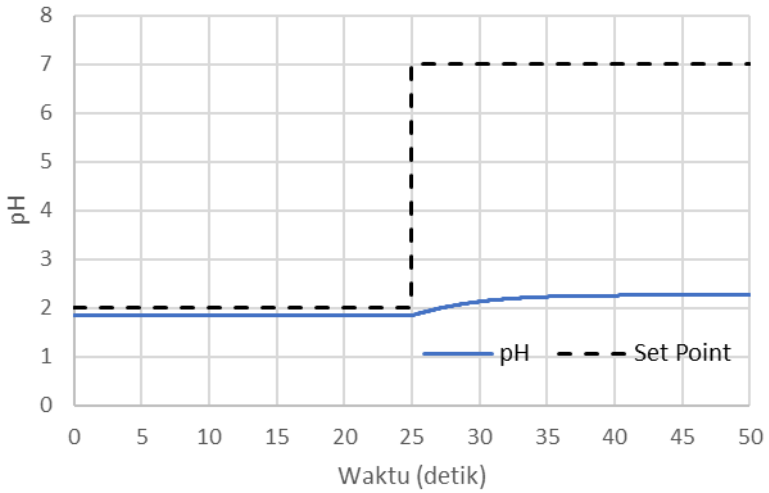
## LAMPIRAN UJI VARIASI PARAMETER SISTEM PENGENDALIAN PID



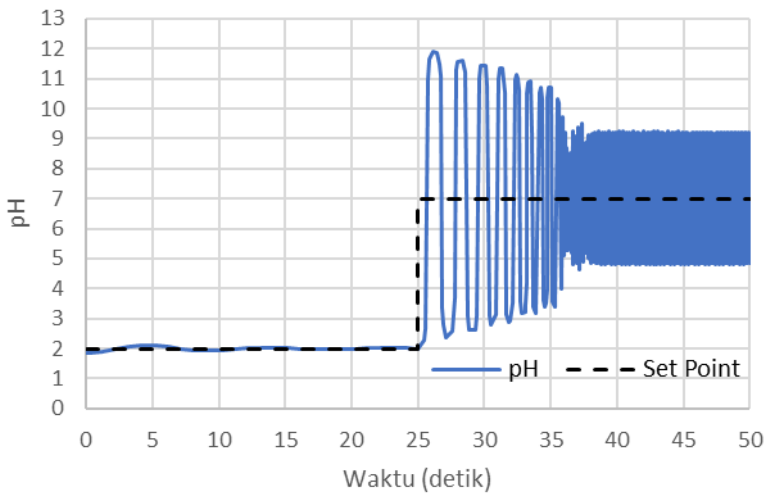
Hasil Uji Kontrol P



Hasil Uji Kontrol PI



Hasil Uji Kontrol PD



Hasil Uji Kontrol I

Hasil Respon Uji Variasi Pengendalian

<b>Jenis Uji</b>	<b>Karakteristik Dinamik</b>	<b>Nilai</b>
Kontrol P	<i>Max Overshoot</i>	0 %
	<i>Settling time</i>	16.6 s
	<i>Error</i>	67.6 %
Kontrol I	<i>Max Overshoot</i>	57.1 %
	<i>Settling time</i>	32.35 s
	<i>Error</i>	31 %
Kontrol PI	<i>Max Overshoot</i>	54.6 %
	<i>Settling time</i>	31.9 s
	<i>Error</i>	0 %
Kontrol PD	<i>Max Overshoot</i>	0 %
	<i>Settling time</i>	16.6
	<i>Error</i>	67.6 %

## BIODATA PENULIS



Penulis bernama Akbar Yogi Nugroho. dilahirkan di kota Surabaya, 12 Mei 1995. Penulis menyelesaikan Taman Kanak-kanak pada tahun 2001 di TK Kartika V-60 di Mojokerto. Sekolah Dasar pada tahun 2007 di SDN Magersari I Mojokerto, pada tahun 2010 penulis menamatkan SMP Negeri 1 Mojokerto, dan pada tahun 2013 penulis menamatkan sekolah menengah atas di SMA Negeri 1 Sooko Mojokerto. Penulis mempunyai minat terhadap bidang organisasi. Dari semenjak dibangku SMA hingga sekarang dibangku kuliah, penulis juga memiliki minat di bidang olahraga terutama di bidang basket, yang sampai saat ini sedang menekuni profesi pelatih basket. Pada tahun 2019 ini, penulis mampu menyelesaikan gelar sarjana teknik di Jurusan Teknik Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis berhasil menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “PERANCANGAN SISTEM NETRALISASI pH PADA *CONTINUOUS STIRRED-TANK REACTOR (CSTR)*”. Bagi pembaca yang memiliki kritik, saran, atau ingin berdiskusi lebih lanjut mengenai tugas akhir ini, dapat menghubungi penulis melalui email [akbarigoy@gmail.com](mailto:akbarigoy@gmail.com).