



TUGAS AKHIR - TF 141581

**PERANCANGAN SISTEM PENGENDALIAN pH
PADA *CONTINUOUS STIRRED TANK REACTOR* (CSTR)
DENGAN MENGGUNAKAN ALGORITMA JARINGAN
SYARAF TIRUAN**

RIZKY KURNIASARI KUSUMA PRATIWI
NRP. 02311645000034

Dosen Pembimbing
Hendra Cordova, ST., MT.

DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2018



FINAL PROJECT - TF 141581

**DESIGN OF CONTROL SYSTEM pH
ON CONTINUOUS STIRRED TANK REACTOR (CSTR)
WITH NEURAL NETWORK ALGORITHM**

RIZKY KURNIASARI KUSUMA PRATIWI
NRP. 02311645000034

Lecturer
Hendra Cordova, ST., MT.

**DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2018**

PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Rizky Kurniasari Kusuma Pratiwi
NRP : 0231164500034
Departemen : Teknik Fisika FTI-ITS

Dengan ini menyatakan bahwa tugas akhir saya yang berjudul PERANCANGAN SISTEM PENGENDALIAN pH PADA *CONTINUOUS STIRRED TANK REACTOR* (CSTR) DENGAN MENGGUNAKAN ALGORITMA JARINGAN SYARAF TIRUAN adalah bebas dari 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, 27 Juli 2018
Yang membuat pernyataan,



(Rizky Kurniasari Kusuma Pratiwi)
NRP.0231164500034

LEMBAR PENGESAHAN I

PERANCANGAN SISTEM PENGENDALIAN pH
PADA *CONTINUOUS STIRRED TANK REACTOR* (CSTR)
DENGAN MENGGUNAKAN ALGORITMA JARINGAN
SYARAF TIRUAN

TUGAS AKHIR

Oleh :

RIZKY KURNIASARI KUSUMA PRATIWI
NRP. 02311645000034

Surabaya, 27 Juli 2018
Menyetujui,

Dosen Pembimbing



Hendra Cordova, S.T., M.T.
NIP. 19690530 199412 1 001



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

LEMBAR PENGESAHAN II

PERANCANGAN SISTEM PENGENDALIAN pH PADA *CONTINUOUS STIRRED TANK REACTOR* (CSTR) DENGAN MENGGUNAKAN ALGORITMA JARINGAN SYARAF TIRUAN

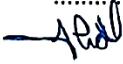
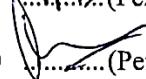
TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana
Pada
Bidang Studi Rekayasa Instrumentasi
Program Studi S1- Departemen Teknik Fisika
Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

RIZKY KURNIASARI KUSUMA PRATIWI
NRP. 0231164500034

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Hendra Cordova, S.T., M.T. (Pembimbing)
2. Ir. Matradji, M.Sc. (Ketua Penguji)
3. Totok Ruki Biyanto, Ph.D (Penguji I)
4. Gunawan Nugroho, S.T., M.T., Ph.D (Penguji II)

SURABAYA
27 JULI 2018

**PERANCANGAN SISTEM PENGENDALIAN pH
PADA *CONTINUOUS STIRRED TANK REACTOR* (CSTR)
DENGAN MENGGUNAKAN ALGORITMA JARINGAN
SYARAF TIRUAN**

Nama : Rizky Kurniasari Kusuma Pratiwi
NRP : 02311645000034
Jurusan : Teknik Fisika, FTI-ITS Surabaya
Dosen Pembimbing : Hendra Cordova, S.T., M.T.

ABSTRAK

Dalam suatu proses di industri, pengendalian variabel proses sangat penting dilakukan demi keberlangsungan proses produksi. Salah satu variabel proses yang penting dalam proses produksi adalah derajat keasamaan atau pH. Untuk memperoleh suatu larutan dengan keasamaan (pH) tertentu, diperlukan pencampuran antara larutan asam dengan basa dengan nilai tertentu. Proses tersebut juga dapat dilakukan pada tangki CSTR yang merupakan reaktor dimana berkerja dengan cara mengaduk larutan tersebut secara kontinyu sehingga menghasilkan produk yang diinginkan. Dalam perancangan sistem ini digunakan jaringan syaraf tiruan karena memiliki kemampuan yang dapat meniru kepakaran manusia sehingga dapat menyelesaikan sistem yang non-linear. Untuk merancang pengendalian pH dengan menggunakan jaringan syaraf tiruan diperlukan persamaan pemodelan plant dan pemodelan *controller*. Untuk pemodelan plant didapatkan nilai *error* sebesar 0.0027 dengan plant sebenarnya. Respon dari pengendalian pH dengan menggunakan IMC *Controller* dapat mengikuti *set point* sebesar pH 7, *settling time* 322 detik, *max. overshoot* 0%, *ess* sebesar 0.25% dan IAE sebesar 2800 namun apabila dibandingkan dengan jaringan syaraf tiruan, jaringan syaraf tiruan lebih cepat sedikit mencapai *set point* dengan *settling time* sebesar 315 detik, *max. overshoot* 2.3%, *ess* sebesar 2.3%, dan IAE sebesar 2446.

Kata Kunci : Pengendalian, pH, jaringan syaraf tiruan, IMC *controller*, *error*

**DESIGN OF CONTROL SYSTEM pH
ON CONTINUOUS STIRRED TANK REACTOR (CSTR)
WITH NEURAL NETWORK ALGORITHM**

Name : Rizky Kurniasari Kusuma Pratiwi
NRP : 02311645000034
Department : Teknik Fisika, FTI-ITS Surabaya
Lecturer : Hendra Cordova, S.T., M.T.

ABSTRACT

In a process in industry, the control of process variables is very important for the sake of continuity of production process. One of the important process variables in the production process is the degree of acidity or pH. To obtain a solution with a certain acidity (pH), it is necessary to mix between an acid solution and a base with a certain value. The process can also be carried out on a CSTR tank which is a reactor which works by stirring the solution continuously to produce the desired product. In the design of this system is used artificial neural network because it has the ability that can mimic human expertise so that it can solve a non-linear system. To design pH control using artificial neural network, plant modeling equations and controller modeling are required. For modeling the obtained value of error 0.0027 with actual plant. Response of pH control using IMC Controller can follow set point of pH 7, settling time 322s, max overshoot 0%, ess 0.25%, and IAE 2800 but when compared with neural network, neural network reaches set point faster with settling time of 315 s, max overshoot 14%, ess of 2.3%, and IAE 2446.

Keywords : Control, pH, Neural Network, IMC, controller, error

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT karena atas limpahan rahmat serta hidayah-Nya sehingga dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang diselenggarakan oleh Jurusan Teknik Fisika ITS dalam memenuhi Mata Kuliah Tugas Akhir dengan tepat waktu.

Dalam laporan ini membahas tentang **Perancangan Sistem Pengendalian pH Pada *Continuous Stirred Tank Reactor* (CSTR) Dengan Menggunakan Algoritma Jaringan Syaraf Tiruan**. Dalam kesempatan kali ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah SWT yang telah memberikan Rahmat dan Hidayah-Nya sehingga laporan ini dapat terselesaikan tepat pada waktunya.
2. Kedua Orang tua dan saudara yang sudah memberikan doa serta semangat.
3. Bapak Agus Muhamad Hatta, ST, MSi, Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Fisika ITS.
4. Bapak Hendra Cordova, ST, MT selaku Dosen pembimbing tugas akhir.
5. Bapak dan Ibu dosen Teknik Fisika yang telah memberikan ilmu selama kuliah.
6. Teman-teman Pejuang Tugas Akhir S1 Lintas Jalur Teknik Fisika Angkatan 2016.

Penulis menyadari bahwa banyak kekurangan dalam pembuatan laporan ini baik dari segi materi maupun penyajian. Untuk itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun serta semoga laporan ini bermanfaat bagi penulis sendiri khususnya dan pembaca pada umumnya.

Surabaya, 27 Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
TITLE OF PAGE	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME	v
LEMBAR PENGESAHAN I	vii
LEMBAR PENGESAHAN II	ix
ABSTRAK	xi
ABSTRACT	xiii
KATA PENGANTAR	xv
DAFTAR ISI	xvii
DAFTAR GAMBAR	xxi
DAFTAR TABEL	xxiii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan	2
1.3 Tujuan	3
1.4 Sistematika Laporan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Sistem Pengendalian Proses	5
2.2 Teori pH	7
2.3 Teori Asam Basa	7
2.4 Reaksi Penetralkan Asam Basa	9
2.5 <i>Internal Model Control</i> (IMC)	10
2.6 Jaringan Syaraf Tiruan	12
2.7 Pendekatan dengan FOPDT	16
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Langkah Perancangan Penelitian	19
3.2 Studi Literatur	20
3.3 Data Perancangan Model Matematis Sistem.....	20
3.4 Pemodelan Sistem <i>Open Loop</i>	20
3.5 Perancangan IMC <i>Controller</i>	23
3.6 Pemodelan <i>Plant</i> dengan JST.....	23
3.7 Pemodelan <i>Controller</i> dengan JST	24
3.8 Perancangan IMC JST.....	25

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Uji <i>Open Loop Plant</i>	27
4.2 Perancangan <i>IMC Controller</i>	27
4.3 Pengujian Pemodelan <i>Plant JST</i>	29
4.4 Pengujian Pemodelan <i>Controller JST</i>	32
4.5 Pengujian <i>Closed Loop IMC JST</i>	34
4.6 Perbandingan Respon antara <i>IMC</i> dengan <i>IMC JST</i>	35

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan	37
5.2 Saran.....	38

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BIOGRAFI PENULIS

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Diagram Blok Aliran Proses Pengendalian.....	6
Gambar 2.2	Proses Penetralan pH	9
Gambar 2.3	Proses Open Loop Kontrol IMC	11
Gambar 2.4	Struktur JST	13
Gambar 2.5	Model Neuron JST	13
Gambar 2.6	Struktur Neuron JST	14
Gambar 2.7	Arsitektur NARX	16
Gambar 2.8	Analisa Respon Dengan Metode FOPDT	17
Gambar 3.1	<i>Flowchart</i> Pengerjaan Tugas Akhir	19
Gambar 3.2	Permodelan Kesetimbangan Massa Pada Matlab ..	21
Gambar 3.3	Simulink Sistem <i>Open Loop</i>	22
Gambar 3.4	Perancangan IMC <i>Controller</i>	23
Gambar 3.5	Blok Diagram Pemodelan <i>Plant</i> JST	24
Gambar 3.6	Blok Diagram Pemodelan <i>Controller</i> JST	25
Gambar 3.7	Perancangan IMC JST	25

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Asam Kuat dan Asam Lemah	8
Tabel 2.2 Basa Kuat dan Basa Lemah	9
Tabel 3.1 Data Operasional Perancangan	16
Tabel 4.1 Hasil Respon Sistem IMC <i>Controller</i>	28
Tabel 4.2 Data Hasil Pelatihan dan Validasi	29
Tabel 4.3 Data Hasil Pelatihan dan Validasi	32
Tabel 4.4 Hasil Respon Sistem IMC JST	35
Tabel 4.5 Perbandingan Respon antara IMC dengan IMC JST ..	36

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam suatu proses di industri, pengendalian variabel proses sangat penting dilakukan demi keberlangsungan proses produksi. Salah satu variabel proses yang penting dalam proses produksi adalah derajat keasamaan atau pH. Untuk memperoleh suatu larutan dengan keasamaan (pH) tertentu, diperlukan pencampuran antara larutan asam dengan basa dengan nilai tertentu. Pencampuran antara larutan asam dengan basa ini disebut titrasi. Kurva titrasi memiliki bentuk yang khas, yaitu bentuk kurva “s”. Ditinjau dari bentuk kurvanya, hal ini menunjukkan bahwa proses pengendalian pH adalah salah satu proses pengendalian yang non-linier. Hal tersebut diakibatkan dengan adanya sedikit perubahan konsentrasi ion $[H^+]$ dapat mengubah nilai pH cukup signifikan, dalam hal ini pada saat menuju titik ekuivalen pada kurva tersebut, penambahan sedikit saja pada variabel manipulasi maka dapat mengubah keluaran pH secara drastis. [1]

Menurut Jin Young choi dan Jietae Lee , umumnya proses pengendalian pH terjadi pada ILFM (*In Line Flash Mixing*). Pada ILFM pencampuran aliran terjadi didalam pipa tanpa menggunakan tanki sebagai tempat terjadinya reaksi. Selain itu, proses tersebut juga dapat dilakukan pada tangki CSTR yang merupakan reaktor dimana terdapat percampuran antara larutan asam dengan basa yang berkerja dengan cara mengaduk larutan tersebut secara kontinyu sehingga menghasilkan produk yang diinginkan. Pada sistem pengendali ini dirancang dengan menyatukan elemen proses tangki *continue, control valve* sebagai actuator (elemen pengendali akhir), dan sensor pH. [2]

Pada tahun 2004, Hendra C. melakukan perancangan auto switch PID untuk proses netralisasi pH pada tangki Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR) serta penelitian tugas akhir padaq tahun 2011 oleh Syahrizal Ismail melakukan perancangan auto switch PID yang juga menggunakan dasar pengendali PID konvensional yang menawarkan sebuah penyelesaian pada proses

non-linier. Hal tersebut dapat dilihat pada mekanisme dari auto switch PID tersebut yang bekerja sebagai selektor. Selektor tersebut bekerja berdasarkan pembagian daerah *set point*, yang telah ditetapkan sebelumnya dari kurva s titrasi asam dan basa. Pada masing-masing pembagian daerah *set point* tersebut, selanjutnya dilakukan penalaan sehingga didapatkan parameter kendali untuk masing-masing daerah *set point* pH secara real time. Pada dua penelitian tersebut menggunakan larutan asam kuat HCL dan basa kuat NaOH, serta telah berhasil ditunjukkan bagaimana *auto switch* PID mampu mengatasi proses pengendalian pH dibandingkan dengan menggunakan pengendali PID biasa tanpa pembagian daerah *set point*. Namun, kedua penelitian tersebut masih menggunakan konsep PID yang kita ketahui hanya baik jika digunakan pada proses yang linier. [3]

Oleh karena itu, dalam perancangan sistem ini digunakan jaringan syaraf tiruan karena memiliki kemampuan yang dapat meniru dan mengotomatisasi kepakaran manusia yang dapat menjadikannya paling tepat untuk menyelesaikan sistem-sistem yang non-linear dan untuk mendapatkan nilai keluaran pH yang diinginkan. Serta dirancang pula sistem pengendalian pH berdasarkan plant *Continuous Stirred Tank Reactor* (CSTR) dengan besar laju aliran asam ini diatur tetap. *Control valve* difungsikan untuk mengatur laju aliran basa sebagai larutan yang akan mentitrasi larutan asam. *Control valve* ini menerima sinyal kontrol dari pengendali untuk membuka dan menutup sehingga besar laju aliran basa sesuai dengan jumlah yang dibutuhkan untuk mendapatkan nilai pH hasil titrasi seperti yang diinginkan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka rumusan masalah dalam Tugas Akhir ini, yaitu :

- a. Bagaimana cara merancang sistem pengendalian pH dengan menggunakan algoritma Jaringan Syaraf Tiruan?
- b. Bagaimana performansi dari sistem yang dihasilkan dari pengendalian pH tersebut?

1.3 Tujuan

Tujuan utama dalam perancangan ini, yaitu :

- a. Dapat merancang sistem pengendalian pH dengan menggunakan algoritma Jaringan Syaraf Tiruan.
- b. Menentukan nilai performansi dari sistem yang dihasilkan dari pengendalian pH tersebut.

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 dilakukan untuk mencapai tujuan dari penelitian Tugas Akhir ini yang meliputi perhitungan dan perancangan sistem pengendalian pH menggunakan algoritma jaringan syaraf tiruan yang telah dikaji.

BAB IV Pengujian dan Analisa Hasil Simulasi

Bab ini berisi tentang hasil simulasi yang diperoleh dari perancangan sistem pengendalian pH menggunakan algoritma jaringan syaraf tiruan yang didapatkan dalam BAB III, kemudian dilakukan analisa-analisa serta pembahasan yang berorientasi pada tujuan penelitian yang telah ditetapkan.

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.

(Halaman Ini Memang Dikongkan)

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Pengendalian Proses

Hampir semua proses di industri membutuhkan peralatan – peralatan otomatis untuk mengendalikan parameter – parameter prosesnya. Otomatisasi tidak hanya diperlukan demi kelancaran operasi, keamanan, ekonomi maupun mutu produk, tetapi lebih merupakan kebutuhan pokok. Suatu proses industri tidak akan dapat dijalankan tanpa bantuan sistem pengendalian. Parameter – parameter yang umum dikendalikan dalam suatu proses adalah tekanan (*pressure*), laju aliran (*flow*), suhu (*temperature*) dan permukaan zat cair (*level*). Gabungan serta alat – alat pengendalian otomatis itulah yang disebut sistem pengendalian proses (*process control system*). Sedangkan semua peralatan yang membentuk sistem pengendalian tersebut disebut instrumentasi pengendalian proses (*process control instrumentation*).

Istilah – istilah yang perlu diketahui dalam sistem otomatis adalah sebagai berikut:

- a. ***Proses/plant*** : komponen peralatan yang mempunyai suatu fungsi tertentu, contohnya *level* tangki.
- b. ***Controlled Variable*** : besaran atau variabel yang dikendalikan. Besaran ini pada diagram blok disebut juga dengan output proses atau *level* tangki..
- c. ***Manipulated Variable*** : input suatu proses yang dapat di manipulasi agar *controlled variable* sesuai dengan *set point*-nya.
- d. ***Disturbance*** : besaran lain (selain *manipulated variable*) yang dapat menyebabkan berubahnya *level* tangki diatas tangki yang dikendalikan
- e. ***Sensing Element*** : bagian paling ujung suatu sistem pengukuran, seperti *sensor level*.
- f. ***Transmitter*** : untuk membaca sinyal sensing element dan mengubah sinyal yang dapat dipahami oleh kontroller seperti *signal conditioning* (SC).
- g. ***Tranducer*** : unit pengalih sinyal.

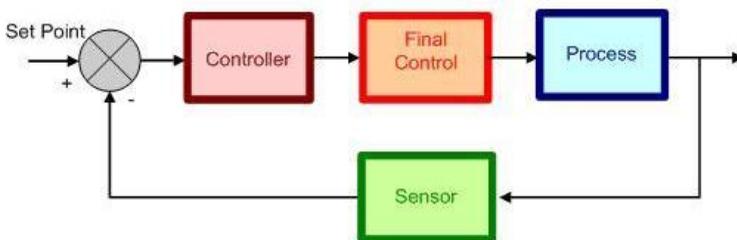
h. **Measurement Variable** : sinyal yang keluar transmitter. Jika dalam pengendalian *level*, sinyal yang keluar adalah berupa *level*.

i. **Set Point** : besar *process variable (level)* yang dikehendaki.

j. **Controller** : elemen yang melakukan tahapan mengukur - membandingkan - menghitung - mengkoreksi. *Proporsional Integral Derivatif* (PID) salah satu *controller* yang sering digunakan dalam industri.

k. **Final Control Element** : bagian akhir instrumentasi sistem pengendalian yang berfungsi untuk mengubah *measurement variable* dengan cara *manipulated variable*, berdasarkan perintah pengendali. Salah satu *final control element* yang digunakan dalam pengendalian *level* adalah *motorized valve*.

Secara garis besar suatu rangkaian pengendalian proses dibagi menjadi 4 langkah, yaitu : mengukur, membandingkan, menghitung, dan mengkoreksi. Langkah pertama yaitu mengukur merupakan tugas sensor. Langkah berikutnya adalah membandingkan apakah hasil pengukuran sensor sudah sesuai dengan apa yang dikehendaki. Apabila terjadi ketidaksesuaian antara *set point* dengan hasil pengukuran maka akan dilakukan perhitungan untuk menentukan aksi apa yang dilakukan supaya sesuai dengan *set point* yang diinginkan. Pada langkah kedua dan ketiga ini adalah tugas pengendali. Langkah terakhir adalah melakukan pengkoreksian yang merupakan tugas aktuator.



Gambar 2.1 Diagram Blok Aliran Proses Pengendalian

2.2 Teori pH

Konsep eksponen ion hidrogen (pH) diperkenalkan oleh Sorrensen (1909) dengan tujuan untuk menghindari kerumitan penulisan angka dengan faktor 10 berpangkat negatif. Definisi dari konsep pH tersebut seperti pada persamaan dibawah ini :

$$\text{pH} = -\log[\text{H}^+] \quad (2.1)$$

Berdasarkan persamaan maka nilai pH sama dengan negatif logaritma dari ion hidrogen atau logaritma dari kebalikan konsentrasi ion hidrogen. Hal tersebut memudahkan sekali untuk menulis tingkat asam atau basa suatu larutan dengan pHnya. pH larutan bernilai 0–14. Dalam 1 molar larutan asam kuat berbasa satu, pH larutannya adalah 0 sedangkan 1 molar larutan basa kuat monovalen memiliki pH 14. [4]

2.3 Teori Asam Basa

Teori asam basa dari *Arrhenius* menyatakan bahwa molekul-molekul *elektrolit* selalu menghasilkan *ion-ion* negatif dan positif bila dilarutkan dalam air. Asam dinyatakan sebagai suatu senyawa yang dapat memberikan *ion hidrogen* (H^+) atau *ion hidronium* (H_3O^+) bila dilarutkan dalam air. Basa merupakan suatu senyawa yang dapat memberikan *ion hidroksi* (OH^-) bila dilarutkan dalam air. Bila HA diberi notasi asam 1 dan A^- adalah basa 1 serta H_2O basa 2 dan H_3O^+ asam 2, maka persamaan reaksi kesetimbangan diatas dapat ditulis :



Tetapan kesetimbangan disosiasi K adalah hasil kali konsentrasi ion hasil penguraian per konsentrasi pembentuknya. Tetapan kesetimbangan K untuk reaksi ini adalah sama dengan tetapan kesetimbangan untuk asam K_a .

$$K_a = \frac{[H_3O^+][A^-]}{[HA]} \quad (2.3)$$

Karena konsentrasi air sebagai pelarut tetap, Asam 1 dan basa 1 serta asam 2 dan basa 2 adalah pasangan-pasangan asam basa terkonjugasi. Demikian pula bila reaksi dibalik :



Tetapan kesetimbangan untuk reaksi ini adalah sama dengan tetapan kesetimbangan basa K_b , sehingga dapat ditulis :

$$K_b = \frac{[HA][OH^-]}{[A^-]} \quad (2.5)$$

bila K_a dikalikan dengan K_b akan didapatkan

$$\frac{[H_3O^+] + [A^-]}{HA} \times \frac{[HA][OH^-]}{A^-} = [H_3O^+][OH^-] \quad (2.6)$$

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 ₃ COOH
HNO ₃	H ₂ S
H ₂ SO ₄	H ₂ CO ₃
HClO ₃	H ₂ SO ₃
HClO ₄	H ₃ PO ₄
HCOOH	H ₂ C ₂ O ₄

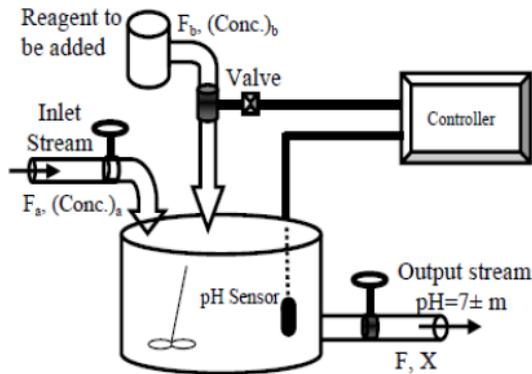
Beberapa contoh larutan basa kuat dan basa lemah dapat dilihat pada tabel 2.2 berikut :

Tabel 2.2 Basa Kuat dan Basa Lemah

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

2.4 Reaksi Penetralkan Asam Basa

Dalam artian luas, reaksi penetralkan adalah interaksi antara asam dan basa. Yang ditunjukkan oleh gambar 2.2 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. [5]



Gambar 2.2 Proses Penetralkan pH

Dinamika pencampuran ditulis sebagai berikut ini:

$$V \frac{dx_a}{dt} = F_a C_a - (F_a + F_b) x_a \quad (2.7)$$

$$V \frac{dx_b}{dt} = F_b C_b - (F_b + F_a) x_b \quad (2.8)$$

Dimana :

C_a : konsentrasi asam (Molar),

C_b : konsentrasi basa (Molar),

x_a : konsentrasi asam dalam larutan (Molar),

x_b : konsentrasi basa dalam larutan (Molar),

F_a : laju aliran asam (Liter/detik),

F_b : laju aliran basa (Liter/detik)

V : *volume* campuran (Liter/detik).

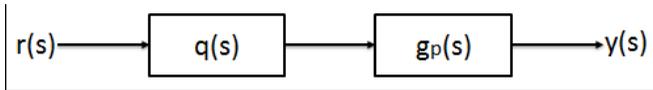
Persamaan diatas menggambarkan bagaimana konsentrasi dari asam dan komponen basa (x_a dan x_b , masing-masing) berubah secara dinamis pada laju masukan F_a dan F_b . [6]

2.5 Internal Model Control (IMC)

Internal model control (IMC) adalah pengendalian yang hanya dapat dicapai jika sistem memuat parameter dari proses yang akan dikendalikan, baik secara implisit maupun eksplisit. Dapat dikatakan juga bahwa IMC merupakan suatu metode yang dirancang untuk mengendalikan umpan balik dari keluaran suatu proses. Skema pengendali IMC menggunakan fungsi transfer dari plant untuk mencari fungsi transfer dari controller. Jika skema pengendali yang digunakan berdasarkan pada model dari plant, maka memungkinkan untuk mendapatkan pengendalian yang sempurna. IMC merupakan pengembangan dari algoritma kontrol yang memanfaatkan *inverse* dari model proses dengan mempunyai satu parameter tuning yaitu filter factor (λ). Pada pengendalian internal model control ini dapat digunakan untuk mengendalikan nilai disturbance yang langsung masuk ke dalam

proses dan metode tuning ini bisa digunakan untuk mengendalikan nilai set point pada plant yang akan dikendalikan.

Kontrol IMC merupakan controller yang menggunakan model dari proses sebagai acuan dari controller IMC itu sendiri. Gambar 2.3 merupakan contoh kontrol IMC pada proses open loop.



Gambar 2.3 Proses Open Loop Kontrol IMC

$q(s)$ merupakan controller dari proses dan g_p merupakan fungsi transfer dari model proses. Dari Gambar 2.3 didapatkan persamaan,

$$y(s) = g_p(s)q(s)r(s) \quad (2.9)$$

Untuk first order process $g_p(s) = \frac{k_p}{\tau s + 1}$, maka untuk persamaan 2.10, yaitu :

$$k_p = \frac{k_p k_q r(s)}{\tau s + 1} \quad (2.10)$$

Persamaan 2.10 adalah persamaan apabila proses dalam keadaan steady state atau statis. Pada proses yang dinamik, controller IMC yang digunakan adalah

$$q(s) = 1/G_p(s) \quad (2.11)$$

Untuk *first order process*, maka persamaan dari *controller* menjadi :

$$q(s) = \frac{\tau s + 1}{k_p} \quad (2.12)$$

Pada kontrol IMC, controller yang digunakan harus terdapat denominator polynomial.

Denominator polynomial pada IMC adalah berupa filter dengan persamaan :

$$f(s) = \frac{1}{\lambda s + 1} \quad (2.13)$$

Filter ini berguna untuk tuning parameter pada kontrol IMC. Dimana λ adalah parameter tuning filter untuk kontrol IMC. Nilai λ berfungsi untuk mencari respon kontrol IMC yang paling cepat. Untuk mencari respon yang paling cepat, nilai λ harus diperkecil. atau dengan kata lain, mencari nilai λ yang paling kecil untuk mendapatkan respon kontrol IMC yang paling cepat.

2.6 Jaringan Syaraf Tiruan

Jaringan saraf tiruan (JST) (Bahasa Inggris: *artificial neural network (ANN)*, atau juga disebut *simulated neural network (SNN)*, atau umumnya hanya disebut *neural network (NN)*), adalah jaringan dari sekelompok unit pemroses kecil yang dimodelkan berdasarkan jaringan saraf manusia / jaringan saraf biologis (JSB). JST dapat digunakan untuk memodelkan hubungan yang kompleks antara input dan output untuk menemukan pola-pola pada data.

Jaringan saraf tiruan telah dikembangkan sebagai turunan model matematika dari kesadaran manusia atau saraf biologis, karena berdasar pada asumsi bahwa :

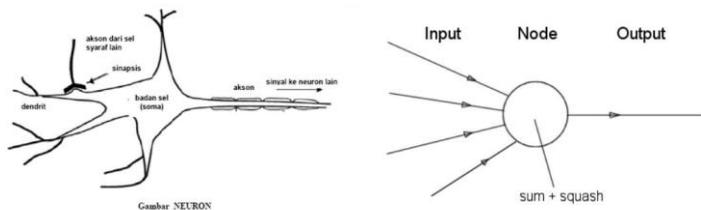
- Pemrosesan informasi terjadi pada beberapa elemen sederhana yang disebut *neuron*.
- Sinyal lewat diantara *neuron* menciptakan jaringan koneksi.
- Setiap koneksi penghubung memiliki bobot yang terhubung, yang dalam jaringan saraf tertentu mengalikan sinyal yang ditransmisikan.
- Setiap *neuron* mempunyai fungsi aktivasi (biasanya non linier) pada jaringan *inputnya* (jumlah dari bobot sinyal *input*) untuk menentukan sinyal *outputnya*.

Karakteristik dari jaringan saraf tiruan adalah :

- Pola hubungan antar *neuron* (yang menjadi arsitekturnya).
- Metode penentuan bobot dalam koneksi (disebut sebagai proses latihan, pembelajaran, atau Algoritma).
- Fungsi aktivasi.

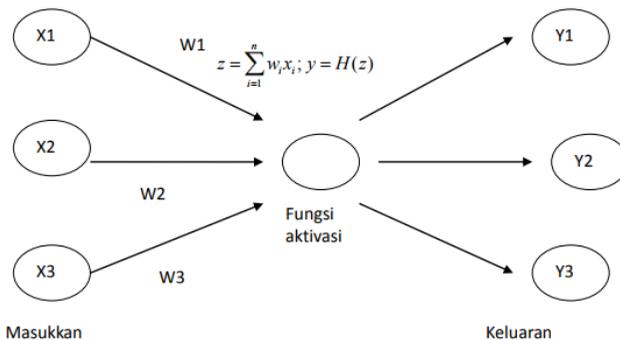
Struktur Jaringan Syaraf Tiruan

Struktur dasar jaringan syaraf biologis dan jaringan syaraf tiruan dapat dilihat pada gambar berikut



Gambar 2.4 Struktur JST

Model Neuron JST



Gambar 2.5 Model Neuron JST

Komponen Jaringan Syaraf

- Seperti halnya otak manusia, jaringan saraf juga terdiri dari beberapa *neuron*, dan ada hubungan antara *neuron-neuron* tersebut.

- *Neuron–neuron* tersebut akan mentransformasikan informasi yang diterima melalui sambungan keluarnya menuju ke *neuron–neuron* yang lain.
- Pada jaringan saraf, hubungan ini dikenal dengan nama bobot.
- Informasi tersebut disimpan pada nilai tertentu pada bobot tersebut.

Struktur Neuron Jaringan Syaraf Tiruan



Gambar 2.6 Struktur Neuron JST

- **Input** : $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ adalah sinyal yg masuk ke sel syaraf
- **Bobot (weight)** : $w_1, w_2, w_3, \dots, w_n$ adalah faktor bobot yang berhubungan dengan masing-masing node.
- **Threshold** : Nilai ambang internal dari node, dimana besarnya offset yang mempengaruhi aktivasi dari output node y .
- **Fungsi aktivasi** : Merupakan operasi matematik yang dikenakan pada sinyal output y . Ada beberapa fungsi aktivasi yang biasa dipakai dalam JST tergantung dari masalah yang akan diselesaikan.

2.6.1 Pemodelan dengan *Neural Network*

Pemodelan dengan *neural network*/jaringan saraf tiruan (JST) adalah pemodelan *black box* dimana input dipasangkan dengan output yang sesuai. Didalam jaringan saraf tiruan terdiri dari sambungan (*connections*) dan elemen pemrosesan (neuron). Untuk pemodelan sistem, ada beberapa keuntungan menggunakan jaringan saraf tiruan yaitu:

1. Sistem Non-linear. Jaringan saraf tiruan mempunyai kemampuan untuk memetakan hubungan yang tidak linier, sehingga sangat menjanjikan untuk mengatasi permasalahan kontrol nonlinear.
2. Pembelajaran dan beradaptasi. Jaringan saraf tiruan yang telah ditraining menggunakan satu set data akan mampu mengeluarkan output sama atau mendekati output pasangan input yang diberikan, bahkan mampu mengeluarkan output dengan input yang belum pernah dilatihkan. Jaringan saraf tiruan mampu juga dilatih on-line.
3. Sistem Multivariabel. Jaringan saraf tiruan juga dapat di aplikasikan untuk multi-variabel proses. Struktur jaringan saraf tiruan yang umum adalah multilayer perceptron (MLP). Gambar menggambarkan struktur MLP, yang terdiri dari input, hidden dan output layer.

Cybenko menunjukkan bahwa pemodelan untuk semua fungsi kontinyu dapat dicapai akurasi model yang diinginkan dengan menggunakan JST dengan struktur sebuah *hyperbolic tangent* pada *hidden neuron* dan sebuah linear pada *output neuron*. Dalam rangka menentukan bobot misalnya *output* y_i dihubungkan dengan *input* ϕ_i , maka memerlukan suatu usaha yang disebut pelatihan/pembelajaran (*training/learning*). Dalam *training* bobot disesuaikan agar memperoleh *output* jaringan yang sesuai dengan *output* proses atau target. Algoritma pembelajaran ini akan terus menyesuaikan bobot sampai target yang diinginkan tercapai.

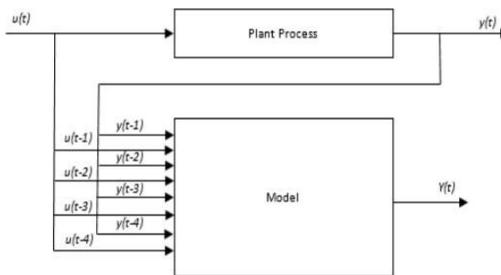
2.6.2 *Neural Network Non-Linier Auto-regresive with eXogenous Input (NN NARX)*

Bergantung pada konfigurasi aliran sinyalnya, NN dapat diklasifikasikan ke dalam *feedforward* NN dan recurrent NN. Dalam *feedforward* NN, output dihitung langsung dari input melalui koneksi *feedforward*. *Feedforward* NN sebagian besar adalah jaringan statis. Sedangkan *recurrent* NN sifatnya lebih

dinamis dan memiliki setidaknya satu tanggapan lingkaran. Oleh karena itu output jaringan bukanlah hasil dari proses input eksternal saja. NARX merupakan bagian dari recurrent NN. Sistemnya memiliki feedback yang terkoneksi kembali melampirkan beberapa lapisan jaringan. Arsitektur yang mencakup *Taped Delay Lines* (TDL) yang menahan pola dari input yang sudah masuk. Hal ini membuat sistem tersebut lebih cocok untuk prediksi ke depan (prediksi time-series) dari jaringan feedforward. Oleh karena itu lebih tepat untuk menggunakannya untuk pemodelan dinamis. Input biasanya berupa vektor masukan yang terjadi dalam urutan waktu tertentu. Sebuah model NARX secara umum didefinisikan oleh persamaan:

$$y(t) = f(y(t-1), y(t-2), \dots, y(t-n_i); u(t-1), u(t-2), \dots, u(t-n_i)) \quad (2.14)$$

Dimana $y(t)$ adalah nilai saat ini dari sinyal output yang dinyatakan dalam fungsi dari nilai sebelumnya dari sinyal output $y(t-1), y(t-2), \dots, y(t-n_i)$ dan nilai sebelumnya dari sinyal independen input $u(t-1), u(t-2), \dots, u(t-n_i)$. Adapun skema dari penggunaan data dengan arsitektur NARX dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Arsitektur NARX

2.7 Pendekatan dengan FOPDT

FOPDT (*First Order Plus Dead Time*) adalah sebuah metode untuk mendapatkan fungsi transfer proses dan parameter

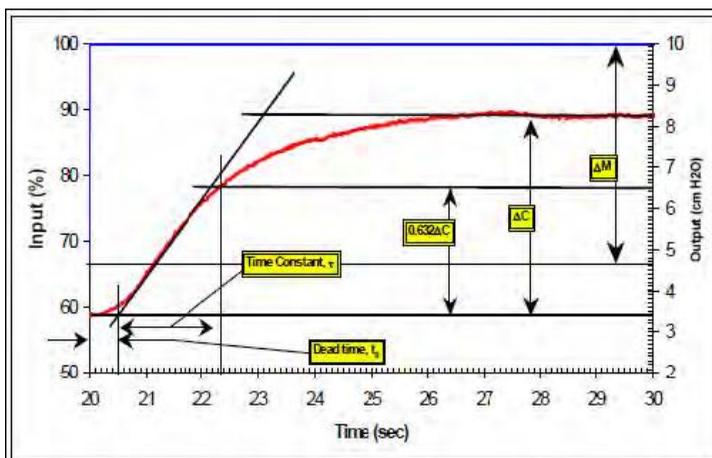
tuning. [7] Persamaan fungsi transfer dari proses apabila terdapat *dead time* adalah

$$Gp(s) = \frac{k_p e^{-\theta s}}{\tau_p s + 1} \quad (2.15)$$

Dimana θ adalah *time delay* yang terdapat pada respon proses. Pendekatan FOPDT dapat digunakan dengan *software* Ms.Excel dengan menganalisa respon sistem yang telah didapatkan. Langkah – langkah metode FOPDT adalah :

1. Menentukan perubahan *steady state output* (ΔC) dan perubahan *steady state input* (ΔM).
2. Mengitung *gain plant* (k) menggunakan parameter ΔC dan ΔM dengan membagi *steady state output* dengan *steady state input*.
3. Kemudian *time constant* (τ) dari respon sistem merupakan 63% dari respon transien yang terdapat pada sistem setelah *time delay*.

Parameter pada langkah – langkah metode FOPDT dapat digambarkan seperti pada Gambar 2.8.



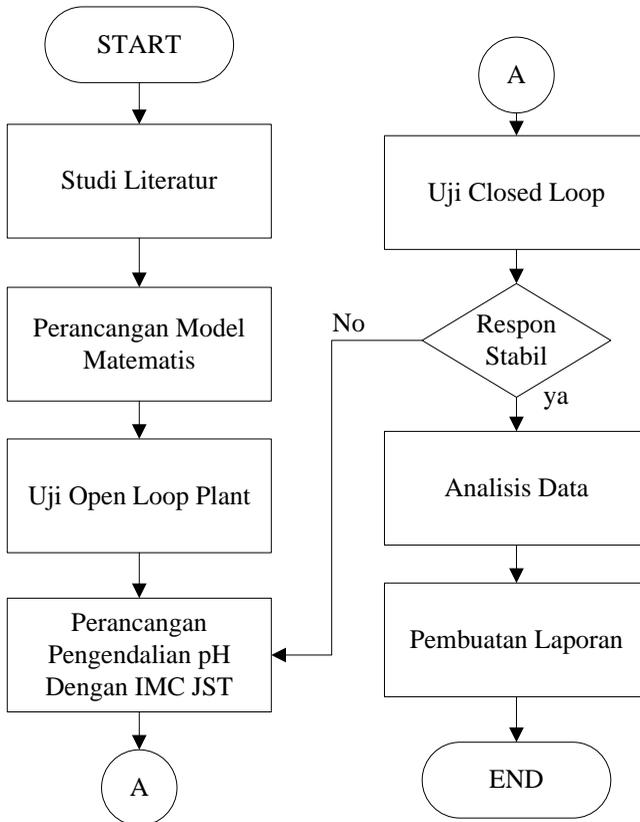
Gambar 2.8 Analisa Respon Dengan Metode FOPDT

(Halaman Ini Memang Dikongkan)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Langkah Perancangan Penelitian

Pada bab ini akan dijelaskan tentang tahapan pengerjaan tugas akhir mulai dari studi literatur, pemodelan sistem, perancangan sistem kendali pH dengan menggunakan algoritma jaringan syaraf tiruan, simulasi, dan uji performansi serta penyusunan laporan tugas akhir. Beberapa tahapan tersebut dapat dijelaskan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Flowchart Pengerjaan Tugas Akhir

3.2 Studi Literatur

Dalam hal ini penulis melakukan pencarian literatur baik melalui internet, textbook, dokumentasi, jurnal ilmiah, dan sebagainya yang berhubungan dengan pengendalian pH dan algoritma Jaringan Syaraf Tiruan.

3.3 Data Perancangan Model Matematis Sistem

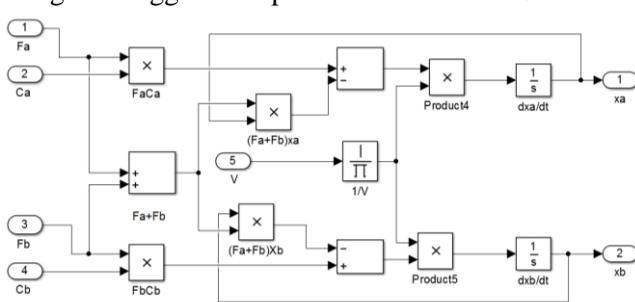
Adapun data operasional dari perancangan sistem ini, yaitu :

Tabel 3.1 Data Operasional Perancangan

Data Operasional	Satuan
Fa	0.16 l/detik
Fb	0.7 l/detik
Ca	0.01 mol/l
Cb	0.01 mol/l
V	25 l

3.4 Pemodelan Sistem Open Loop

Dari tabel 3.1, maka dapat ditulis persamaan matematis dari plant dengan menggunakan persamaan 2.7 dan 2.8.



Gambar 3.2 Model Kestimbangan Massa Pada Matlab

Model dari proses titrasi menggunakan asam kuat dan basa kuat, yaitu HCL dan KOH, berikut persamaannya :



Dari persamaan 3.1 sampai 3.3 didapatkan tetapan

kesetimbangan asam (K_a), tetapan kesetimbangan basa (K_b), dan tetapan kesetimbangan air (K_w) yang dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$K_a = \frac{[Cl^-][H^+]}{[HCl]} \quad (3.4)$$

$$K_b = \frac{[K^+][OH^-]}{[KOH]} \quad (3.5)$$

$$K_w = [H^+][OH^-] = 1 \times 10^{-14} \quad (3.6)$$

$$[OH^-] = \frac{K_w}{[H^+]} \quad (3.7)$$

Dimana dari persamaan kesetimbangan massa (2.7) dan (2.8), didapatkan nilai konsentrasi asam dalam larutan dan konsentrasi basa dalam larutan, yaitu :

$$X_a = [Cl^-] + [HCl] \quad (3.8)$$

$$[Cl^-] = X_a - [HCl] \quad (3.9)$$

$$X_b = [KOH] + [K^+] \quad (3.10)$$

$$[K^+] = X_b - [KOH] \quad (3.11)$$

Pada titrasi asam dan basa, untuk mencapai kesetimbangan kimia, maka kondisi elektriknya harus berada pada kondisi netral disetiap waktu, yaitu :

$$[K^+] + [H^+] = [Cl^-] + [OH^-] \quad (3.12)$$

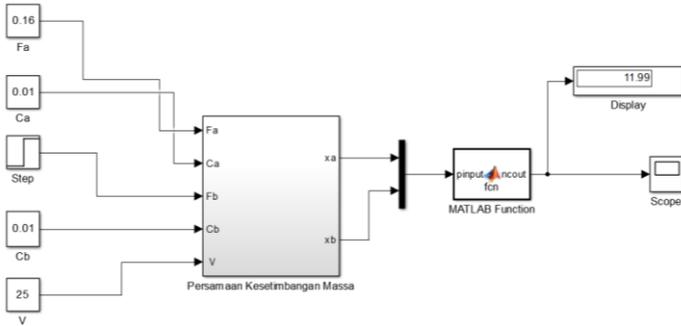
Dari persamaan (3.12) tersebut dapat disubstitusi dengan persamaan (3.7), (3.9), dan (3.11) serta HCl dan KOH merupakan asam kuat dan basa kuat yang terdisosiasi sempurna jika direaksikan, maka konsentrasi HCl dan KOH adalah nol, sehingga didapatkan persamaan : [8]

$$[H^+] + X_b - \frac{K_w}{[H^+]} - X_a = 0 \quad (3.12)$$

$$[H^+]^2 + X_b[H^+] - X_a[H^+] - K_w = 0 \quad (3.13)$$

$$[H^+]^2 + (Xb - Xa)[H^+] - kw = 0 \quad (3.14)$$

Sehingga dapat disimulasikan uji open loop gain plant untuk mengetahui respon sebelum diberi *controller* pada simulink matlab yang ditunjukkan pada gambar 3.2, yaitu :



Gambar 3.3 Simulink Sistem *Open Loop*

Dari hasil sistem uji *open loop* maka dengan menggunakan pendekatan matematis dengan metode FOPDT, didapatkan fungsi transfer proses, yaitu :

1. $K_p = 0.7$
2. *Time Constan*

$$\tau = 1,5(t_{63\%} - t_{28\%}) \quad (3.15)$$

Dimana nilai $t_{63\%} - t_{28\%}$ sebesar 13.24682 s sehingga nilai *time constan* sebesar 20.923 s.

3. *Time Delay*

$$\theta = t_{63\%} - \tau \quad (3.16)$$

Sehingga nilai dari time delay sebesar 299.5 s.

Dari pendekatan matematis dengan metode FOPDT, didapatkan fungsi transfer proses yaitu :

$$Gp(s) = \frac{0.7 e^{-299.5s}}{20.923s + 1}$$

3.5 Perancangan IMC Controller

Perancangan kontrol IMC dilakukan dengan merancang fungsi transfer *controller* dari fungsi transfer *plant* yang telah didapatkan. Persamaan *controller* IMC sebagai berikut :

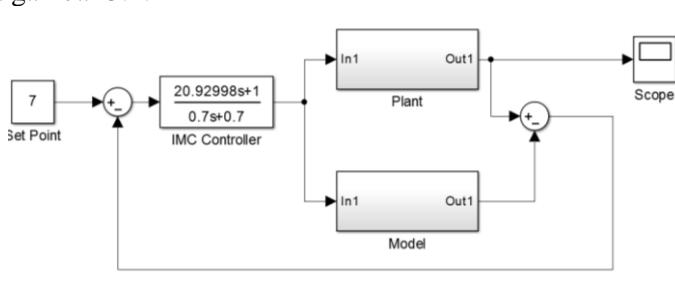
$$q(s) = 1/Gp(s).f(s) \quad (3.17)$$

$$q(s) = \frac{\tau s + 1}{k_p} \frac{1}{\lambda s + 1} \quad (3.18)$$

Maka dari persamaan 3.4 didapatkan fungsi transfer controller IMC dengan λ yang digunakan sebesar 1, yaitu :

$$q(s) = \frac{20.923s e^{-299.5}}{0.7s + 0.7}$$

Berikut ini merupakan hasil perancangan IMC JST dimana pemodelan plant dan pemodelan controller dijadikan satu seperti pada gambar 3.4.

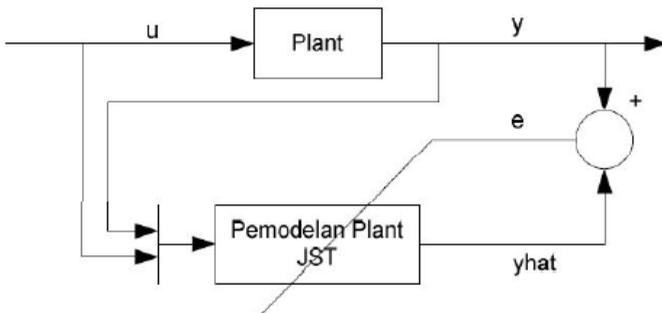


Gambar 3.4 Perancangan IMC Controller

3.6 Pemodelan Plant dengan JST

Pada penelitian ini input yang digunakan adalah laju aliran dari Adapun proses pemodelannya ada dua tahap, yaitu training dan validasi. Arsitektur JST yang dipakai adalah *Multi Layer Perceptron*, yang terdiri dari *input layer*, *hidden layer*, dan *output layer*. Fungsi aktivasi pada hidden layer menggunakan tangen *hyperbolic* sedangkan pada output layer menggunakan fungsi aktivasi linier. Algoritma JST yang digunakan adalah Levenberg

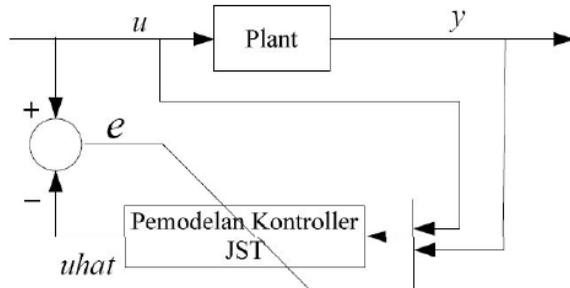
Marquardt. Struktur model JST yang dipakai adalah NNARX (*Neural Network AutoRegresive with eXternal Input*). Gambar 3.3 menunjukkan bahwa tidak ada *feedback* pada proses pemodelan. Variabel “ u ” merupakan data input *plant*, sedangkan “ y ” merupakan data output *plant*. Data-data tersebut terlebih dahulu dinormalisasi untuk kemudian dimodelkan dengan JST. Kedua data ini dilatih dengan JST dan kemudian divalidasi, sehingga menghasilkan data output JST (variabel “ \hat{y} ”). *Output* JST dibandingkan dengan output *plant* sehingga menghasilkan error “ e ”. Nilai error ini yang dipakai untuk meng-*update* nilai bobot JST secara terus menerus atau biasa disebut dengan proses iterasi. Proses iterasi dilakukan terus sampai didapatkan nilai output model JST paling bagus.



Gambar 3.5 Blok Diagram Pemodelan *Plant* dengan JST

3.7 Pemodelan *Controller* dengan JST

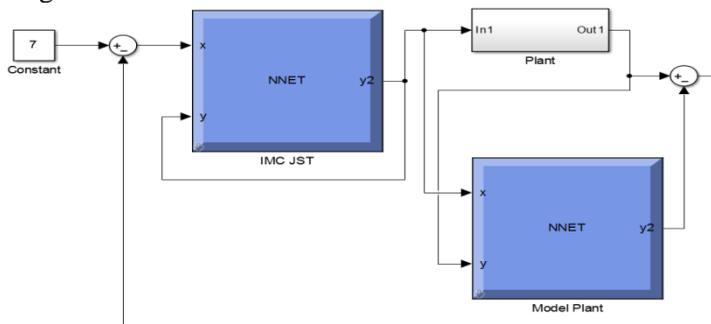
Pada pemodelan kontroler, data input output yang dipakai adalah kebalikan dari pemodelan *plant*. Data input yang dipakai adalah pH *input* dan MV sebagai data *output*. Pada gambar 3.5 terlihat bahwa pemodelan kontroler JST menghasilkan output yang ditunjukkan dengan variabel “ \hat{u} ”. Nilai output model kontroler “ \hat{u} ” dibandingkan dengan input *plant* yang ditunjukkan dengan variabel “ u ”, sehingga diperoleh suatu nilai error “ e ”. Selanjutnya langkah pemodelan kontroler sama dengan pemodelan *plant*.



Gambar 3.6 Blok Diagram Pemodelan *Controller* JST

3.8 Perancangan IMC JST

Berikut ini merupakan hasil perancangan IMC JST dimana pemodelan plant dan pemodelan *controller* dijadikan satu seperti pada gambar 3.6.



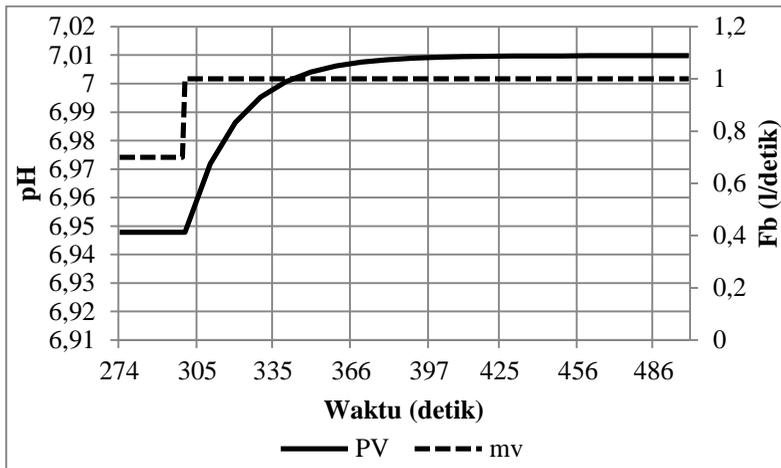
Gambar 3.7 Perancangan IMC JST

(Halaman Ini Memang Dikongkan)

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Uji Open Loop Plant

Uji *open loop* bertujuan untuk mengetahui respon dari *plant* sebelum menggunakan *controller*. Simulasi dilakukan dengan menggunakan *software* MatLab. Berikut ini adalah hasil uji *open loop plant* yang ditunjukkan pada Gambar 4.1.

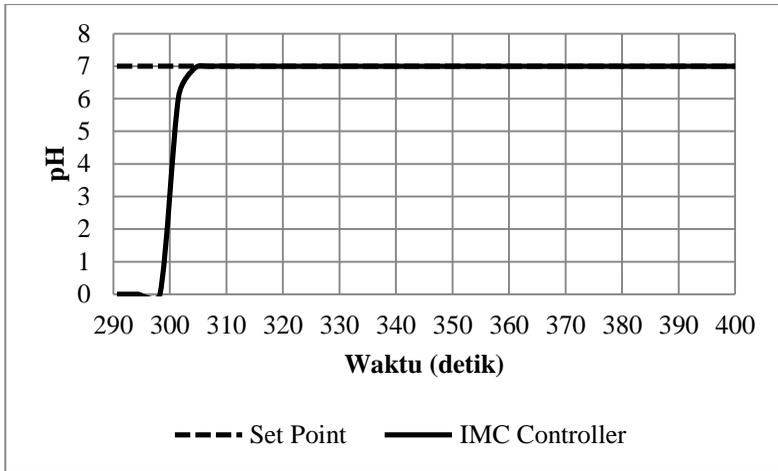


Gambar 4.1 Hasil Uji *Open Loop Plant*

Dari Gambar 4.1, apabila nilai laju aliran dari basa (F_b) sebesar 0.7 l/detik dinaikkan menjadi 1 l/detik pada waktu 300 detik serta asam kuat dan basa kuat yang memiliki konsentrasi sebesar 0.01 M sehingga mendapatkan nilai pH awal sebesar 2 dan pH maksimal sebesar 7.01.

4.2 Pengujian IMC Controller

Simulasi ini bertujuan untuk mendapatkan respon sistem dengan parameter tuning *controller* terbaik. Simulasi dilakukan dengan menggunakan *software* MatLab. Berikut ini merupakan hasil respon kontrol IMC dapat dilihat pada Gambar 4.2.



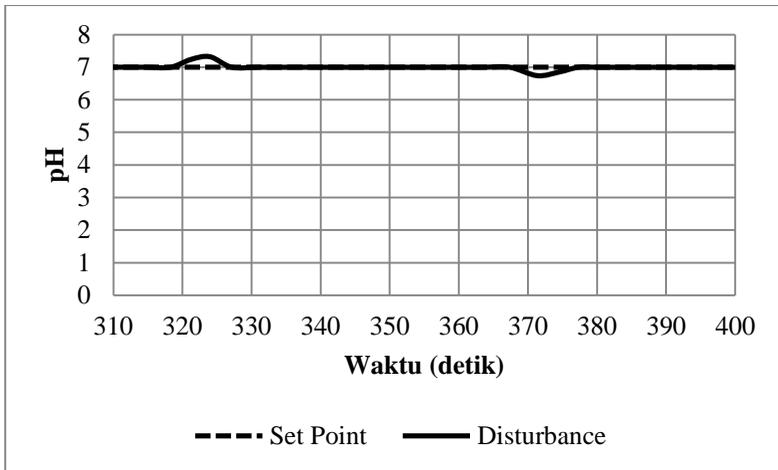
Gambar 4.2 Hasil Uji Respon IMC Controller

Dari Gambar 4.2, dengan menggunakan *set point* sebesar 7 pada sistem pengendalian pH menggunakan IMC controller didapatkan nilai *maximum overshoot*, *settling time*, *error steady state* dan IAE yang ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Respon Sistem IMC Controller

Jenis Uji	Bagian yang diamati	Nilai
<i>Set Point = 7</i>	<i>Max. Overshoot</i>	0%
	<i>Settling time</i>	322 detik
	<i>Error Steady State</i>	0.25%
	IAE	2800

Berikut ini adalah pengujian respon dengan menggunakan *disturbance* dimana nilai dari laju aliran dari asam (Fa) sebesar 0,16 l/detik dinaikkan menjadi sebesar 0.1 pada waktu 321 detik dan diturunkan sebanyak 0.1 pada waktu 371 detik yang ditunjukkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Hasil Uji Respon dengan *Disturbance*

4.3 Pengujian Pemodelan *Plant JST*

Pada pemodelan *plant JST*, data yang diambil seluruhnya berjumlah 135 sampel, dimana 70% data digunakan untuk pelatihan dan 30% data sisanya digunakan untuk validasi model *neural network* yang telah didapat. Maksimum epoch di set sebanyak 1000 kali iterasi dengan nilai input *delay* sebesar 2 detik. Kemudian dilakukan variasi perubahan *hidden neurons* mulai dari 5 hingga 12 *hidden neurons* pada *hidden layer* untuk mendapatkan hasil pelatihan dan validasi terbaik. Berikut ini adalah data dari masing-masing pelatihan dan validasi dari variasi *hidden neurons* yang ditunjukkan pada Tabel 4.2.

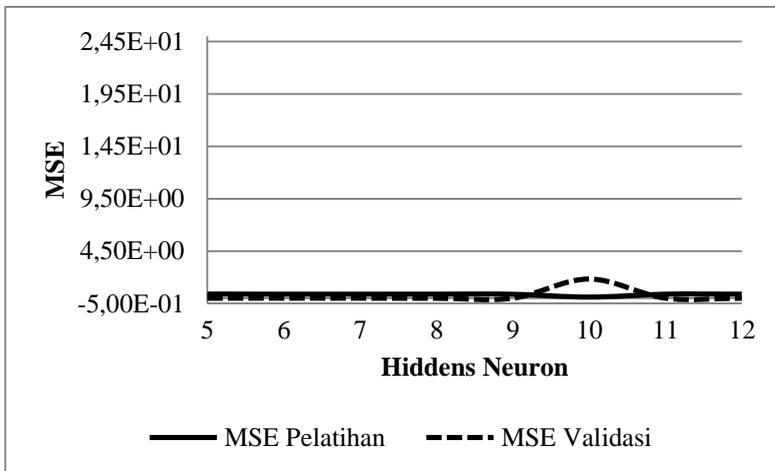
Tabel 4.2 Data Hasil Pelatihan dan Validasi

<i>Hidden Neurons</i>	MSE Pelatihan	MSE Validasi	<i>Epoch</i>
5	4.01703e-1	3.80630e-3	24
6	3.88985e-1	8.36638e-3	19
7	3.89577e-1	7.37799e-3	11
8	3.92348e-1	7.79009e-4	4
9	3.819149e-1	4.90073e-3	41

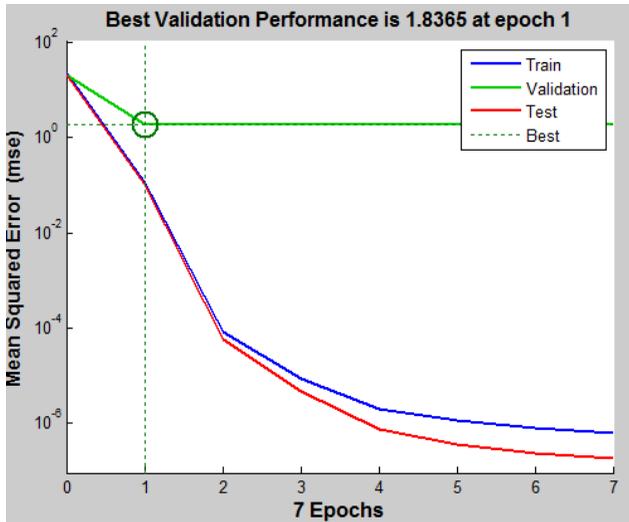
Lanjutan Tabel 4.2

<i>Hidden Neurons</i>	MSE Pelatihan	MSE Validasi	<i>Epoch</i>
10	1.12523e-1	1.83652e-0	1
11	3.90039e-1	4.61288e-3	3
12	3.89823e-1	5.72641e-3	19

Dari Tabel 4.2, maka hubungan antara nilai MSE dengan jumlah *hidden neurons* baik pada tahap pelatihan maupun validasi pada model JST yang ditunjukkan pada Gambar 4.4.

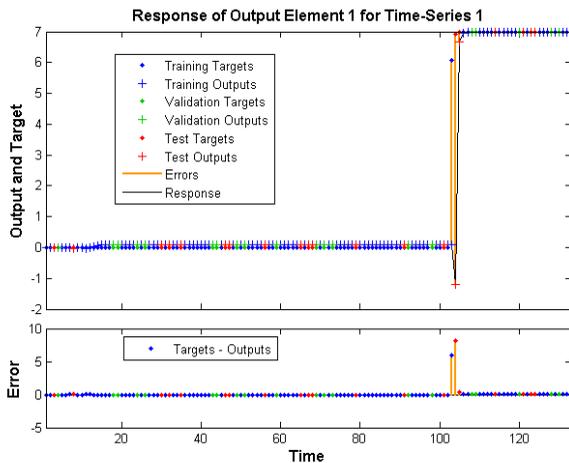
**Gambar 4.4** *Hidden Neurons* terhadap Pelatihan dan Validasi

Dari Gambar 4.4 menunjukkan bahwa secara umum proses pemodelan *plant* JST ini berjalan dengan baik, dikarenakan nilai-nilai MSE baik pada tahap pelatihan maupun validasi didapatkan nilai yang kecil. Kemudian dari grafik diatas juga dapat dilihat bahwa pemodelan *plant* JST terbaik didapatkan pada *hidden neurons* 10 dengan rincian MSE pelatihan sebesar 1.12523e-1 dan nilai MSE validasi sebesar 1.83652e-0, dari kedua nilai tersebut didapatkan pada epoch ke-1. Untuk performa model *plant* JST dengan *hidden neurons* 10 yang ditunjukkan pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Performa Model *Plant JST*

Berikut ini grafik respon *time-series* dari model *plant JST* dengan *hidden neurons* sebanyak 10 ditunjukkan pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Respon *Time-Series* Pelatihan dan Validasi

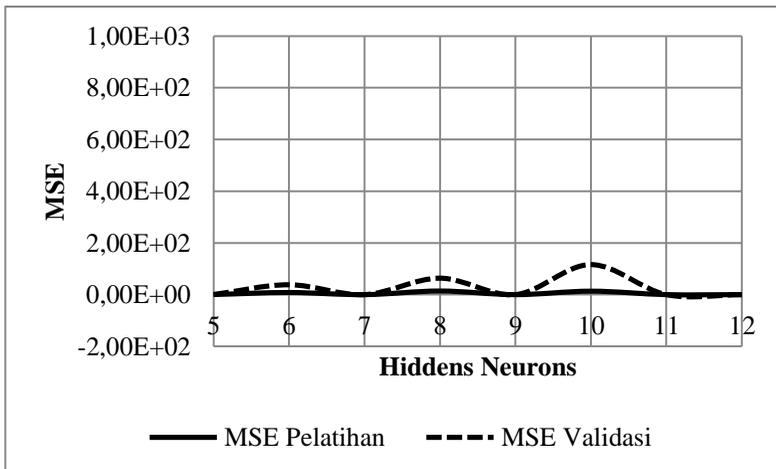
4.4 Pengujian Pemodelan *Controller JST*

Pada pemodelan *controller JST*, data yang diambil seluruhnya berjumlah 135 sampel, dimana 70% data digunakan untuk pelatihan dan 30% data sisanya digunakan untuk validasi model *neural network* yang telah didapat. Berikut ini adalah data dari masing-masing pelatihan dan validasi dari variasi *hidden neurons* yang ditunjukkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Data Hasil Pelatihan dan Validasi *Controller JST*

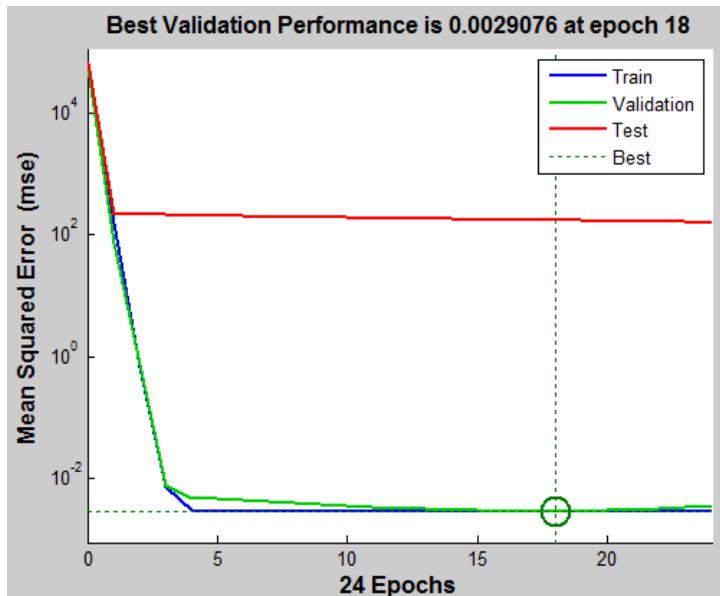
<i>Hidden Neurons</i>	MSE Pelatihan	MSE Validasi	<i>Epoch</i>
5	4,20E-01	3,91E-01	4
6	8,18E+00	3,82E+01	3
7	3,21E-03	2,20E-03	6
8	1,39E+01	6,37E+01	3
9	2,60E-03	1,05E-02	5
10	1,33E+01	1,16E+02	1
11	2,96E-03	2,91E-03	18
12	2,93E-03	1,54E-02	11

Dari Tabel 4.3 dapat dibuat garfik yang ditunjukkan pada Gambar 4.7.



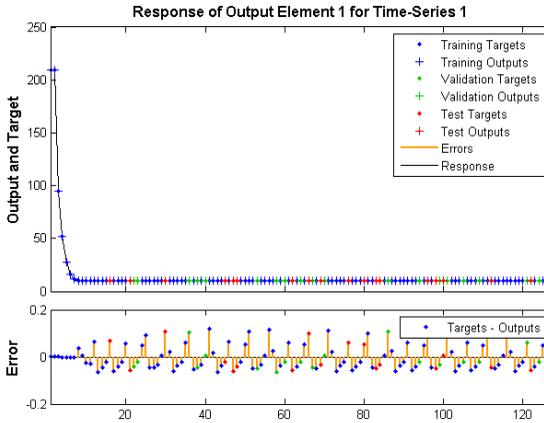
Gambar 4.7 *Hidden Neurons* terhadap Pelatihan dan Validasi

Dari Gambar 4.7 menunjukkan bahwa secara umum proses pemodelan *controller* JST ini berjalan dengan baik, dikarenakan nilai-nilai MSE baik pada tahap pelatihan maupun validasi didapatkan nilai yang kecil. Kemudian dari grafik diatas juga dapat dilihat bahwa pemodelan *controller* JST terbaik didapatkan pada *hidden neurons* 11 dengan rincian MSE pelatihan sebesar $2.95973e-3$ dan nilai MSE validasi sebesar $2.90763e-3$, dari kedua nilai tersebut didapatkan pada epoch ke-18. Untuk performa model *controller* JST dengan *hidden neurons* 11 yang ditunjukkan pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Performa Model *Controller* JST

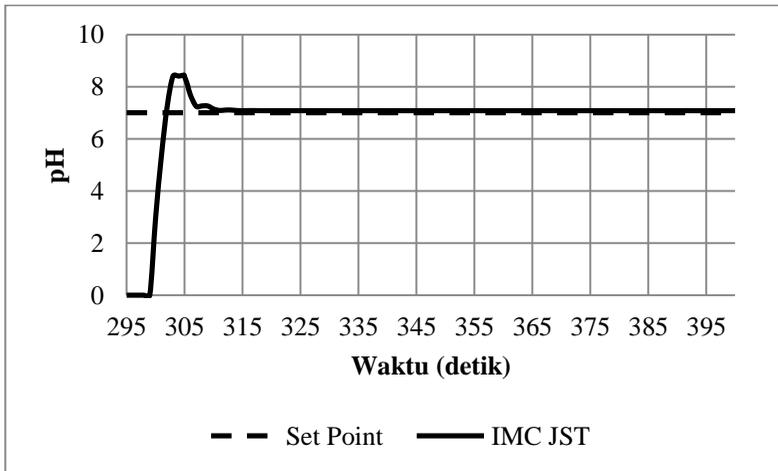
Berikut ini grafik respon *time-series* dari model *controller* JST dengan *hidden neurons* sebanyak 11 ditunjukkan pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Respon *Time-Series* Pelatihan dan Validasi

4.5 Pengujian *Closed Loop* IMC JST

Simulasi kontrol dengan JST bertujuan untuk mendapatkan respon sistem dengan parameter tuning *controller* terbaik. Simulasi dilakukan dengan menggunakan *software* MatLab. Berikut ini merupakan hasil respon yang ditunjukkan pada Gambar 4.10.



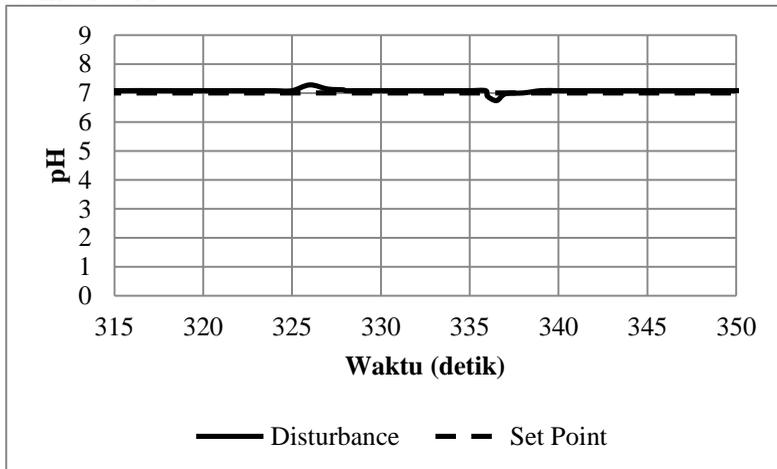
Gambar 4.10 Hasil Uji Respon *Closed Loop* JST

Dari Gambar 4.10, dengan menggunakan *set point* sebesar 7 pada sistem pengendalian pH menggunakan IMC JST didapatkan nilai *maximum overshoot*, *settling time*, *error steady state*, dan IAE yang ditunjukkan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil Respon Sistem IMC JST

Jenis Uji	Bagian yang diamati	Nilai
<i>Set Point = 7</i>	<i>Max. Overshoot</i>	14%
	<i>Settling time</i>	315 detik
	<i>Error Steady State</i>	2.3%
	IAE	2800

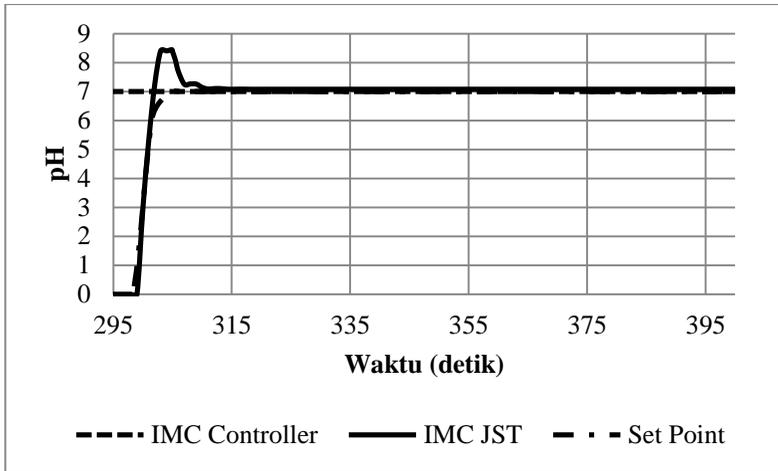
Berikut ini merupakan pengujian respon dengan menggunakan *disturbance* dimana nilai F_a sebesar 0,16 l/detik dinaikkan sebanyak 0,1 pada waktu 326 detik dan diturunkan sebanyak 0,1 pada waktu 338 detik yang ditunjukkan pada Gambar 4.11.



Gambar 4.11 Hasil Uji Respon IMC JST dengan *Disturbance*

4.6 Perbandingan antara IMC dengan IMC JST

Berikut ini merupakan hasil perbandingan hasil perbandingan antara IMC *Controller* dengan IMC JST dapat ditunjukkan pada Gambar 4.12.



Gambar 4.12 Perbandingan IMC dengan IMC JST

Dari Gambar 4.12, dengan menggunakan *set point* sebesar 7 pada sistem pengendalian pH pada masing-masing jenis *controller* didapatkan nilai *maximum overshoot*, *settling time*, *error steady state*, dan IAE seperti berikut pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Perbandingan Respon antara IMC dengan IMC JST

	Jenis Controller	Bagian yang diamati	Nilai
<i>Set Point = 7</i>	IMC Controller	<i>Max. Overshoot</i>	0%
		<i>Settling time</i>	322 detik
		<i>Error Steady State</i>	0.25%
		IAE	2800
	IMC JST	<i>Max. Overshoot</i>	14%
		<i>Settling time</i>	315 detik
		<i>Error Steady State</i>	2.3%
		IAE	2800

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang dapat diambil, yaitu :

- a. Diperlukan persamaan pemodelan plant dan pemodelan *controller* untuk merancang pengendalian pH dengan menggunakan jaringan syaraf tiruan. Untuk pemodelan plant didapatkan nilai *error* sebesar 0.0027 dengan *plant* sebenarnya.
- b. Respon dari pengendalian pH dengan menggunakan IMC *Controller* dapat mengikuti *set point* sebesar pH 7, *settling time* 322 detik, *max. overshoot* 0%, *ess* sebesar 0,25%, dan IAE sebesar 2800 namun apabila dibandingkan dengan jaringan syaraf tiruan, jaringan syaraf tiruan lebih cepat sedikit mencapai *set point* dengan *settling time* sebesar 315 detik, *max. overshoot* 14%, *ess* sebesar 2.3%, dan IAE sebesar 2446.

5.2 Saran

Adapun saran yang diberikan, yaitu :

- a. Dapat dilakukan uji *disturbance* serta variasi pH.
- b. Dapat diaplikasikan dalam *real plant*.

(Halaman Ini Memang Dikongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Aziz, Husein. 2002. *Effect Of Valve Characteristic To The Controbility Of pH*. Malaysia: Universitas Teknologi MARA
- [2] Fihir. 2011. *Perancangan PID Sebagai Pengendali pH Pada Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- [3] Fista Rachma D. 2013. *Rancang Bangun Kontrol Logika Fuzzy-PID pada Plant Pengendalian pH (Studi Kasus: Konsentrasi Asam Lemah dan Basa Kuat)* . Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- [4] Warin Gushena. 2013. *Rancang Bangun Pengendalian pH Pada Inline Flash Mixing Menggunakan Metode Neural Network Controller*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- [5] Prasad, Parvathy. 2016. *An Evaluation Of pH Neutralization Control Using IMC Strategy And Artificial Intelligence*. Engineering and Technology Research
- [6] I. G. Horn, J. R. Arulandu, C. J. Gombas, J. G. VanAntwerp, and R. D. Braatz, "Improved filterdesign in internal model control," *Industrial & engineering chemistry research*, vol. 35, pp. 3437-3441, 1996.
- [7] Claudio Garcia and Rodrigo Juliani Correa De Godoy. *Modelling and Simulation of pH Neutralization Plant Including the Process Instrumentation*. Escola Polit cnica da Universidade de S o Paulo: Brazil
- [8] Ahmmed Saadi Ibrehem. 2011. *Modified Mathematical Model For Neutralization System In Stirred Tank Reactor*. Department Chemical and Petroleum Engineering, UCSI-University, 56000 Kuala Lumpur, MALAYSIA

LAMPIRAN A
(DATA OPEN LOOP PLANT)

Tabel A.1 *Data Open Loop Plant*

Waktu (detik)	Nilai pH	Fb (liter/detik)
274,306091	6,947805	0,7
284,306091	6,947832	0,7
294,306091	6,94785	0,7
300	6,947858	0,7
300	6,947858	1
300	6,947858	1
310	6,971905	1
320	6,98637	1
330	6,995224	1
340	7,000701	1
350	7,004109	1
360	7,006238	1
370	7,007572	1
380	7,008408	1
390	7,008933	1
400	7,009263	1
410	7,009471	1
420	7,009601	1
430	7,009683	1
440	7,009734	1
450	7,009767	1
460	7,009787	1
470	7,0098	1
480	7,009808	1
490	7,009813	1
500	7,009816	1

LAMPIRAN B
(DATA CLOSED LOOP IMC CONTROLLER)

Tabel B.1 *Data Closed Loop IMC Controller*

Waktu (detik)	Nilai pH	Set Point = 7
290,6507649	0	7
294,3898488	0	7
298,2596826	0	7
301,5600979	6,07152594	7
304,3500822	6,93024449	7
307,2230717	6,99519355	7
310,685727	6,99925029	7
314,6307714	6,99860891	7
318,2714094	6,99807543	7
321,2342857	6,99777778	7
323,9574543	6,99737419	7
327,0931255	6,99698783	7
330,8940223	6,99726432	7
334,8102032	6,99791309	7
338,0841848	6,99794427	7
340,8200984	6,99755827	7
343,6695487	6,99707391	7
347,163714	6,99695346	7
351,1675014	6,99769261	7
354,8166277	6,99806729	7
357,7380243	6,9977697	7
360,4223128	6,99724709	7
363,560906	6,99681165	7
367,4069629	6,99728771	7
371,3573115	6,9980662	7
374,6126045	6,99799751	7
377,3100303	6,99746384	7

Lanjutan Tabel B.1

Waktu (detik)	Nilai pH	Set Point = 7
380,1421421	6,99687622	7
383,6568951	6,99684357	7
387,7016615	6,99784027	7
390,5956827	6,99815323	7
393,4897039	6,99787777	7
396,9992253	6,99703505	7
400	6,99658887	7

LAMPIRAN C
(DATA DISTURBANCE PADA IMC CONTROLLER)

Tabel C.1 Data *Disturbance* Pada IMC Controller

Waktu (detik)	<i>Disturbance</i>	Set Point = 7
310,685727	6,999250289	7
314,6307714	6,998608908	7
318,2714094	6,998075427	7
321,2342857	7,23876	7
323,9574543	7,322	7
327,0931255	7,0000999	7
330,8940223	6,99726432	7
334,8102032	6,997913094	7
338,0841848	6,99794427	7
340,8200984	6,997558267	7
343,6695487	6,997073915	7
347,163714	6,996953464	7
351,1675014	6,99769261	7
354,8166277	6,998067286	7
357,7380243	6,997769699	7
360,4223128	6,997247092	7
363,560906	6,996811653	7
367,4069629	6,997287708	7
371,3573115	6,73986	7
374,6126045	6,856799	7
377,3100303	6,997463841	7
380,1421421	6,996876224	7
383,6568951	6,996843574	7
387,7016615	6,997840265	7
390,5956827	6,998153229	7
393,4897039	6,997877769	7
396,9992253	6,99703505	7
400	6,996588871	7

LAMPIRAN D
(DATA *CLOSED LOOP* PADA IMC JST)

Tabel D.1 *Data Closed Loop* Pada IMC JST

Waktu (detik)	Nilai PH	Set Point = 7
295	0	7
296	0	7
297	0	7
298	0	7
299	0	7
300	2,9587875	7
301	5,3383366	7
302	7,2402988	7
303	8,402089	7
304	8,4023402	7
304,900451	8,4453578	7
305	8,3837885	7
305,4977452	8,0759417	7
306	7,6834922	7
307	7,2500115	7
308	7,2629877	7
309	7,2585971	7
310	7,1432051	7
311	7,0873714	7
312	7,1017878	7
313	7,1032764	7
314	7,0847205	7
315	7	7
316	7	7
317	7	7
318	7	7
319	7	7
320	7	7

Lanjutan Tabel D.1

Waktu (detik)	Nilai PH	<i>Set Point = 7</i>
321	7	7
322	7	7
323	7	7
324	7	7
325	7	7
326	7	7
327	7	7
327,8922181	7	7
328	7	7
328,5389095	7	7
329	7	7
330	7	7
331	7	7
331,8871135	7	7
332	7	7
332,5644327	7	7
333	7	7
334	7	7
335	7	7
335,8975425	7	7
336	7	7
336,5122877	7	7
337	7	7
338	7	7
339	7	7
339,8914457	7	7
340	7	7

Lanjutan Tabel D.1

Waktu (detik)	Nilai PH	<i>Set Point = 7</i>
340,5427715	7	7
341	7	7
342	7	7
343	7	7
344	7	7
345	7	7
346	7	7
347	7	7
348	7	7
349	7	7
350	7	7
351	7	7
351,9000466	7	7
352	7	7
352,499767	7	7
353	7	7
354	7	7
355	7	7
355,9003906	7	7
356	7	7
356,498047	7	7
357	7	7
358	7	7
359	7	7
360	7	7
361	7	7
362	7	7

LAMPIRAN E
(DATA *DISTURBANCE* PADA IMC JST)

Tabel E.1 Data *Disturbance* Pada IMC JST

Waktu (detik)	<i>Disturbance</i>	<i>Set Point = 7</i>
315	7,077859509	7
316	7,081927996	7
317	7,082329721	7
318	7,079286491	7
319	7,078505923	7
320	7,079395653	7
321	7,07944378	7
322	7,07893086	7
323	7,078855718	7
324	7,079030677	7
325	7,079029604	7
326	7,278941951	7
327	7,137893825	7
327,8922181	7,107896887	7
328	7,078970715	7
328,5389095	7,078978658	7
329	7,078968262	7
330	7,07895326	7
331	7,078954125	7
331,8871135	7,078959663	7
332	7,078959924	7
332,5644327	7,078960852	7
333	7,078959038	7
334	7,078956489	7
335	7,078956888	7

Lanjutan Tabel E.1

Waktu (detik)	<i>Disturbance</i>	<i>Set Point = 7</i>
336	6,887895789	7
336,5122877	6,73678958	7
337	6,969989577	7
338	6,99997	7
339	7,078957337	7
339,8914457	7,078957505	7
340	7,078957507	7
340,5427715	7,078957512	7
341	7,07895745	7
342	7,07895738	7
343	7,078957406	7
344	7,078957434	7
345	7,078957421	7

LAMPIRAN F
(SYNTAX MATLAB)

```
function funcout = fcn(pinput)
yl=pinput(:);
xa=yl(1);
xb=yl(2);
kw=1e-14;
a = 1;
b = (xb-xa);
c = (-kw);
D = b^2-4*a*c;
H = (-b+sqrt(D))/2*a;
pH = -log10(H);
funcout = pH;
```


BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Kediri, 13 Januari 1995. Diberi nama terbaik dari kedua orang tua, yaitu **Rizky Kurniasari Kusuma Pratiwi** biasa dipanggil dengan sebutan Nia atau Rizky. Alamat rumah di Kediri, yaitu Dusun Bibis, Desa Baye, Kecamatan Kayen Kidul, Kabupaten Kediri. Penulis telah menyelesaikan Sekolah Dasar pada tahun 2007 di SDN Baye, tahun 2010 di SMPN 1 Pagu, tahun 2013 di SMAN

8 Kediri serta pada tahun 2016 penulis mampu menyelesaikan gelar Ahli Madya di Program Studi D3 Metrologi dan Instrumentasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. Pada bulan Agustus 2017 penulis telah menyelesaikan kerja praktik di Pabrik Gula Pesantren Baru, Kediri tentang Studi Pengaruh Penambahan Air Imbibisi Pada Stasiun Gilingan Terhadap Kehilangan Ampas. Pada tahun 2018 ini, penulis mampu menyelesaikan gelar Sarjana di Departemen Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. Penulis menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “**PERANCANGAN SISTEM PENGENDALIAN pH PADA *CONTINUOUS STIRRED TANK REACTOR (CSTR)* DENGAN MENGGUNAKAN ALGORITMA JARINGAN SYARAF TIRUAN**”. Bagi pembaca yang memiliki kritik, saran atau ingin berdiskusi lebih lanjut mengenai tugas akhir ini, dapat menghubungi penulis melalui email :

rizkykurniasarikusumapратиwi@yahoo.com.