



TUGAS AKHIR - TF 141581

**PERANCANGAN PID SEBAGAI PENGENDALI pH
BERBASIS *TUNING IMC* PADA *CONTINUOUS STIRRED
TANK REACTOR (CSTR)***

NOVIA NUR SA'ADAH

NRP. 2416 105 020

Dosen Pembimbing

Hendra Cordova, ST., MT.

NIP. 19690530 199412 1 001

PROGRAM STUDI S1 LINTAS JALUR TEKNIK FISIKA

DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA 2018



Final Project - TF 141581

**PID DESIGN AS A CONTROL pH BASED TUNING
IMC ON CONTINUOUS STIRRED TANK REACTOR
(CSTR**

NOVIA NUR SA'ADAH

NRP. 2416 105 020

Lecturer

Hendra Cordova, ST., MT.

NIP. 19690530 199412 1 001

***STUDY PROGRAM S1 ENGINEERING PHYSICS
DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA 2018***

PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Novia Nur Sa'adah
NRP : 02311645000020
Departemen/ Prodi : Teknik Fisika/ Lintas Jalur S1 Teknik Fisika
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri
Perguruan Tinggi : Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul "Perancangan PID Sebagai Pengendali pH Berbasis Tuning IMC pada Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)" adalah benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari karya orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat pada Tugas Akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, Juli 2018
Yang membuat pernyataan,



Novia Nur Sa'adah
NRP. 023116450000

LEMBAR PENGESAHAN I

TUGAS AKHIR

PERANCANGAN PID SEBAGAI PENGENDALI pH BERBASIS TUNING IMC PADA CONTINUOUS STIRRED TANK REACTOR (CSTR)

Oleh:

Novia Nur Sa'adah
NRP. 02311645000020

Surabaya, 27 Juli 2018
Mengetahui/Menyetujui,
Dosen Pembimbing



Hendra Cordova, ST, MT
NIPN. 19690530 199412 1 001

Kepala Departemen
Teknik Injika FTI-ITS



Agus Muhammad Hatta, ST, MSi, PhD
NIPN. 19380907 200312 1 002

LEMBAR PENGESAHAN II

PERANCANGAN PID SEBAGAI PENGENDALI pH BERBASIS TUNING IMC PADA CONTINUOUS STIRRED TANK REACTOR (CSTR)

TUGAS AKHIR

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

Oleh :

Novia Nur Sa'adah
NRP. 02311645000020

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

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

SURABAYA
JULI 2018

**PERANCANGAN PID SEBAGAI PENGENDALI
pH BERBASIS TUNING IMC
PADA CONTINUOUS STIRRED TANK REACTOR (CSTR)**

Nama Mahasiswa : Novia Nur Sa'adah
NRP : 02311645000020
Jurusan : Teknik Fisika FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Hendra Cordova, ST., MT.

Abstrak

Continuous stirred tank reactor (CSTR) merupakan suatu wadah yang di dalamnya terjadi reaksi kimia pembentukan atau penguraian. Dimana aliran massa masuk atau keluar berlangsung secara terus menerus (kontinyu). Didalam CSTR ini terjadi reaksi pencampuran antara larutan HCL dan KOH dimana larutan KOH akan dikendalikan menggunakan pengendalian PID yang berbasis tuning imc. PID IMC sendiri merupakan pengendalian yang hanya dapat dicapai jika sistem memuat parameter dari proses yang akan dikendalikan, baik secara implisit maupun eksplisit. Skema pengendali IMC menggunakan fungsi transfer dari plant untuk mencari fungsi transfer dari controller. Setelah mendapatkan fungsi controller kemudian dilakukan percobaan pengendalian pH pada *simulink matlab*. Diberikan variasi nilai pH sebesar 3 dan 7 dan diberikan variasi pada *tuning filter* (λ) sebesar 0.2, 0.4, dan 0.6. Setelah dilakukan percobaan didapatkan kesimpulan bahwa pengendalian pH dengan menggunakan sistem pengendalian *tuning imc based pid* menghasilkan respon yang baik dengan parameter *tuning filter* (λ) sebesar 0,2 .

Kata kunci : CSTR, PID IMC, pengendalian pH

**PID DESIGN AS A CONTROL
pH BASED TUNING IMC
ON CONTINUOUS STIRRED TANK REACTOR (CSTR)**

Name	: Novia Nur Sa'adah
NRP	: 02311645000020
Department	: Engineering Physics, FTL,ITS
Supervisor	: Hendra Cordova, ST., MT.

Abstract

Continuous stirred tank reactor (CSTR) is a container in which chemical reactions formation or decomposition. Where the flow of incoming or outgoing mass takes place continuously (continuous). In this CSTR there is a mixing reaction between the HCL and KOH solutions in which the KOH solution will be controlled using an IMC-based PID control. IMC PID is a control that can only be achieved if the system contains parameters of the process to be controlled, either implicitly or explicitly. IMC's control scheme uses the transfer function of the plant to find the transfer function of the controller. After getting the controller function then done experiment of pH control on simulink matlab. Given a variation of pH values of 3 and 7 and given variations on filter tuning (λ) of 0.2, 0.4, and 0.6. After the experiment, it was concluded that pH control using imc based pid tuning control system produces a good response with filter tuning parameters (λ) of 0.2

Keywords: CSTR, IMC PID, CONTROL pH

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya serta shalawat dan salam kepada Nabi Muhammad SAW sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “**PERANCANGAN PID SEBAGAI PENGENDALI pH BERBASIS TUNING IMC 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 Ketua Jurusan Teknik Fisika
2. Ibu dan bapak tercinta, serta kakak-kakak yang saya sayangi yang senantiasa memberikan dukungan, semangat dan do'a kepada penulis
3. Bapak Hendra Cordova, ST.,MT. selaku dosen pembimbing yang senantiasa memberikan motivasi, bimbingan dan arahan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Ibu Dyah Sawitri, ST., MT. selaku dosen wali yang telah sabar memberikan dukungan, bimbingan, serta ilmu yang sangat bermanfaat
5. Bapak dan Ibu dosen Teknik Fisika yang telah memberikan ilmu selama kuliah.
6. Seluruh Staf Jurusan Teknik Fisika yang telah membantu penulis dalam hal administrasi.
7. Teman-teman *Funlibin* (Santi, Mestika, Imah, Aisa, Piri, Mentari) yang telah banyak membantu dan menyemangati dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.
8. Teman-teman seperjuangan dalam mengerjakan Tugas Akhir Lintas Jalur 2016.
9. Teman-teman angkatan F48 yang selalu memotivasi dan memberikan semangat.
10. Asisten Laboratorium Rekayasa Instrumentasi dan Kontrol serta yang senantiasa memberikan ruang dan tempat untuk pengerjaan tugas akhir.

11. 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, Juni 2018

Penulis.

DAFTAR ISI

	Hal
HALAMAN JUDUL.....	i
PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME	v
LEMBAR PENGESAHAN.....	vii
ABSTRAK.....	xi
ABSTRACT	xiii
KATA PENGANTAR	xv
DAFTAR ISI.....	xvii
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL.....	xxi
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Permasalahan.....	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Sistematika Laporan	2
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Teori pH.....	5
2.2 Teori Asam Basa	6
2.3 Penetralan Asam Basa	7
2.4 Titrasi Asam Basa.....	9
2.5 Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR).....	12
2.6 <i>Proportional Integral Derivative</i> (PID).....	13
2.7 Internal Model Control (IMC).....	16
BAB III. METODOLOGI PENELITIAN.....	19
3.1 Studi Literatur.....	20
3.2 Perancangan Model Matematis.....	20
3.3 Uji <i>Open Loop</i>	22
3.4 Perancangan IMC Controller.....	23
3.5 Uji <i>Close Loop</i>	23
3.6 Pembuatan Laporan.....	24
BAB IV. ANALISA DATA.....	25
4.1 Analisa Data	25
4.1.1 Uji Open Loop.....	25
4.1.2 Uji Close Loop	25

4.2 Pembahasan	28
BAB V. PENUTUP	31
5.1 Kesimpulan	31
5.2 Saran	31

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN A (Syntax)

DAFTAR GAMBAR

		Hal
Gambar 2.1	Proses Penetralan pH	8
Gambar 2.2	Titrasi Asam Kuat dengan Basa Kuat	10
Gambar 2.3	Titrasi Asam Lemah dengan Basa Kuat	10
Gambar 2.4	Titrasi Asam kuat dengan Basa Lemah	11
Gambar 2.5	Titrasi Asam Lemah dengan Basa Lemah	11
Gambar 2.6	<i>Continuous stirred tank reactor</i> (CSTR)	12
Gambar 2.7	Respon Sistem	16
Gambar 2.8	Proses Open Loop Kontrol IMC	16
Gambar 3.1	<i>Flowchart</i> Metodologi	19
Gambar 3.2	Pemodelan Dinamik pada <i>Simulink</i>	21
Gambar 3.3	Sistem Open Loop	23
Gambar 3.4	Sistem Close Loop	24
Gambar 4.1	Hasil Uji Open Loop Plant	27
Gambar 4.2	Hasil Uji pH 3	28
Gambar 4.3	Hasil Uji pH 7	29

DAFTAR TABEL

	Hal
Tabel 2.1 Asam Kuat dan Asam Lemah	6
Tabel 2.2 Basa Kuat dan Basa Lemah	6
Tabel 2.3 Respon PID Controller Terhadap Perubahan Konstanta	15
Tabel 4.1 Hasil Respon Uji pH 3	29
Tabel 4.2 Hasil Respon Uji pH 7	30

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada beberapa proses di industri dibutuhkan suatu pengendali pH. Pengendali pH dimaksudkan untuk menjaga agar nilai pH sesuai dengan produk yang diinginkan. Industri yang membutuhkan pengendali pH antara lain adalah industri pengolahan limbah, industri penyedia air bersih, industri kimia dan terutama sekali industri yang hasil (produk) pengolahan proses akan dikonsumsi makhluk hidup. Nilai pH didapat dari proses titrasi asam dan basa. Titrasi asam dan basa memiliki karakteristik yang non linear 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 IMC untuk mengatasi karakteristik non linear dari pH tersebut berdasarkan pada reaksi invarian (Gustafsson dan Waller, 1983) sebagai pemodelan reaksi untuk pencampuran larutan $\text{HCL} + \text{KOH} \rightarrow \text{KCL} + \text{H}_2\text{O}$ dengan mempertimbangkan laju reaksi dari proses pencampuran tersebut. 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^[3].

Sedangkan tempat terjadinya reaksi digunakan tangki CSTR (*Continuous Stirred Tank Reactor*) dimana tangki CSTR ini akan memiliki dua input flow yaitu HCL dan KOH. Sistem pengendali PID IMC kemudian diukur secara kuantitatif performansinya dengan variabel rise time, settling time, peak time, maximum overshoot, dan error steady state.

1.2 Permasalahan

Berdasarkan latar belakang diatas, maka permasalahan yang terdapat pada tugas akhir ini adalah:

1. Bagaimana merancang sistem pengendalian pH dengan menggunakan *tuning imc based pid*?
2. Bagaimana performansi dari sistem yang dihasilkan dari pengendalian pH tersebut?

1.3 Tujuan

Berdasarkan permasalahan yang ada didapatkan tujuan dari tugas akhir ini yaitu:

1. Merancang sistem pengendalian pH dengan menggunakan *tuning imc based pid*.
2. Mengetahui 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 PID *tuning imc*.

BAB IV Pengujian dan Analisa Hasil Simulasi

Bab ini berisi tentang hasil simulasi yang diperoleh dari perancangan sistem pengendalian pH menggunakan PID *tuning imc* 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 sengaja dikosongkan

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Teori pH

pH atau derajat keasaman digunakan untuk menyatakan tingkat keasaman atau basa yang dimiliki oleh suatu zat, larutan atau benda. pH normal memiliki nilai 7 sementara bila nilai $\text{pH} > 7$ menunjukkan zat tersebut memiliki sifat basa sedangkan nilai $\text{pH} < 7$ 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^+) 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 hidronium 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 $-\text{OH}$.

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. Definisi yang formal tentang pH adalah negatif logaritma dari aktivitas ion Hidrogen. pH adalah singkatan dari *power of Hydrogen*^[5].

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.

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 9.2 berikut :

Tabel 2.2 Basa Kuat dan Basa Lemah

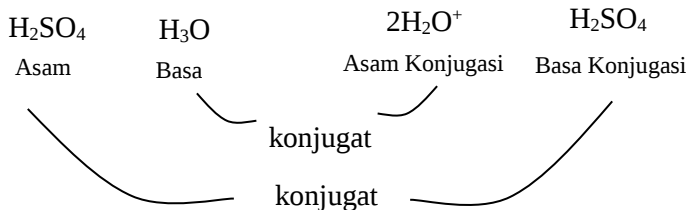
Basa Kuat	Basa Lemah
NaOH	NH ₃
KOH	N ₂ H ₄
Ca(OH) ₂	NH ₂ OH
Ba(OH) ₂	Al(OH) ₃

2.2 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⁻ [2]. Contoh senyawa asam memberikan ion H⁺ dan basa adalah senyawa yang melarut ke dalam air adalah hydrogen klorida (HCl), hydrogen nitrat (HNO₃), Hidrogen sulfat (H₂SO₄) dan asam asetat (HC₂H₃O₂). Sedangkan contoh senyawa basa adalah natrium hidroksida (NaOH), kalium Hidroksida (KOH), kalsium hidroksida Ca(OH)₂, dan ammonia (NH₃).

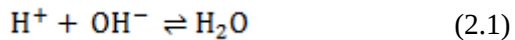
Pada contoh-contoh senyawa asam dan basa diatas terdapat senyawa yang dapat digolongkan dalam asam kuat dan basa kuat serta asam lemah dan basa lemah. Asam kuat dan basa kuat akan ter-ionkan seluruhnya dalam lartan air sedangkan asam dan basa lemah hanya sebagian yang terionkan. HCl dan NaOH yang termasuk ke dalam senyawa asam kuat dan basa kuat sedangkan $\text{HC}_2\text{H}_3\text{O}_2$ dan 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 H^+) sedangkan basa adalah penerima proton (akseptor H^+). Definisi ini menimbulkan adanya asam basa konjugat pada reaksi seperti contoh dibawah ini^[6]



2.3 Penetralan Asam Basa

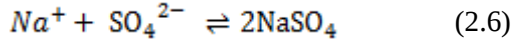
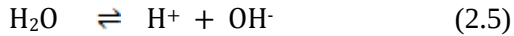
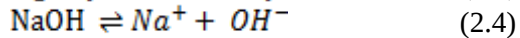
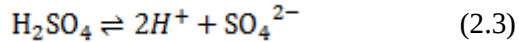
Dalam artian luas, reaksi penetralan adalah interaksi antara asam dan basa. Interaksi tersebut dapat terjadi antara asam kuat dengan basa kuat, asam lemah dengan basa kuat, atau asam lemah dengan basa lemah. Proses netralisasi melibatkan ion hidrogen (H^+) dan ion hidroksida (OH^-) yang apabila bereaksi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



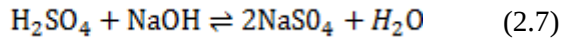
Dengan konstanta kesetimbangan untuk air (K_w) sebesar 1×10^{-14} pada suhu 25°C

$$K_w = K \cdot [\text{H}_2\text{O}]^2 = [\text{H}^+].[\text{OH}^-] \quad (2.2)$$

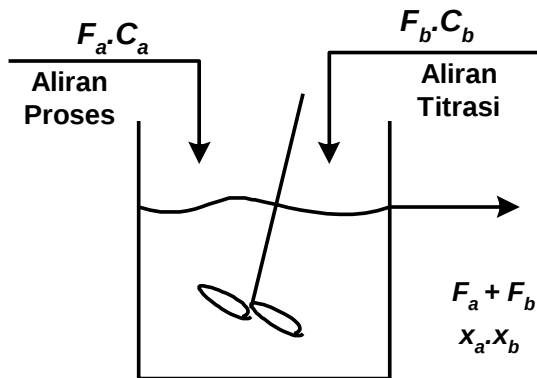
Sebagai contoh proses netralisasi adalah ketika NaOH dicampurkan dengan H_2SO_4



Reaksi keseluruhan dari pencampuran H_2SO_4 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^[4], seperti Gambar 2.1 dibawah ini



Gambar 2.1 Proses Penetralan pH

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 :

$$K_a = \frac{[2H^+][SO_4^{2-}]}{[H_2SO_4]} \quad (2.8)$$

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

$$K_w = [H^+][OH^-] = 1 \times 10^{-14} \quad (2.10)$$

2.4 Titrasi Asam dan Basa

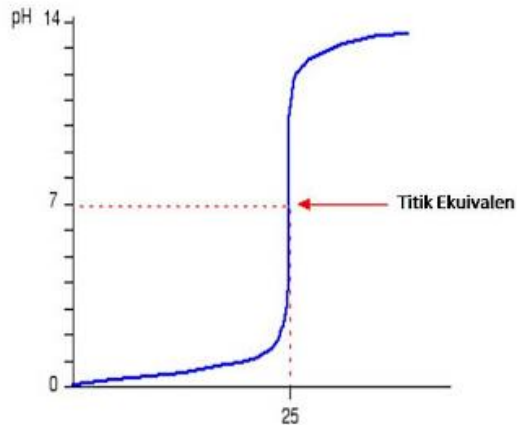
Proses pencampuran larutan asam dan basa yang dilakukan secara bertahap, dalam aspek laboratorium dikenal sebagai proses titrasi. Titrasi adalah metode penetapan kadar suatu larutan dengan menggunakan larutan standar yang sudah diketahui konsentrasinya. Dalam hal ini, suatu larutan yang konsentrasinya 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. 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. Dalam setiap proses titrasi asam-basa akan menghasilkan suatu bentuk grafik reaksi yang disebut dengan kurva titrasi.

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

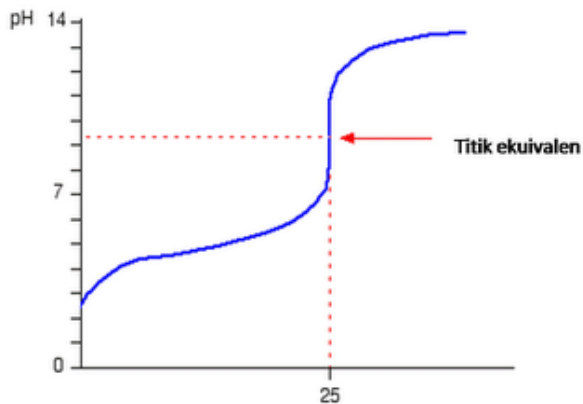
titrasi adalah grafik sebagai fungsi pH dengan jumlah titran yang ditambahkan. Terdapat beberapa grafik kurva titrasi, antara lain yaitu :

1. Asam Kuat dan Basa Kuat



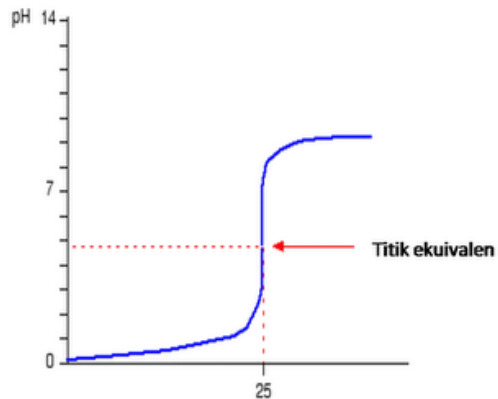
Gambar 2.2 Titrasi Asam Kuat dengan Basa Kuat

2. Asam Lemah dengan Basa kuat



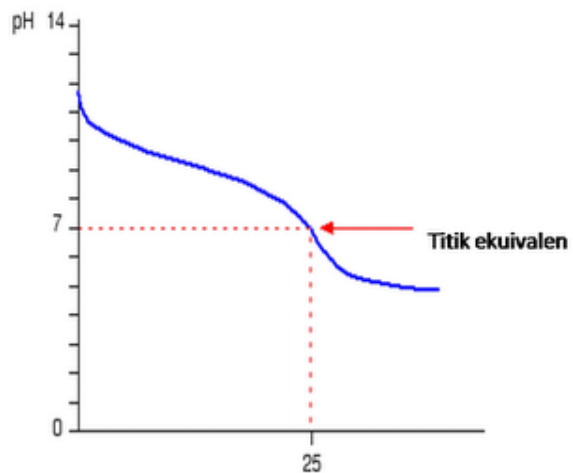
Gambar 2.3 Titrasi Asam Lemah dengan Basa Kuat

3. Asam Kuat dengan Basa Lemah



Gambar 2.4 Titrasi Asam kuat dengan Basa Lemah

4. Asam Lemah dengan Basa Lemah

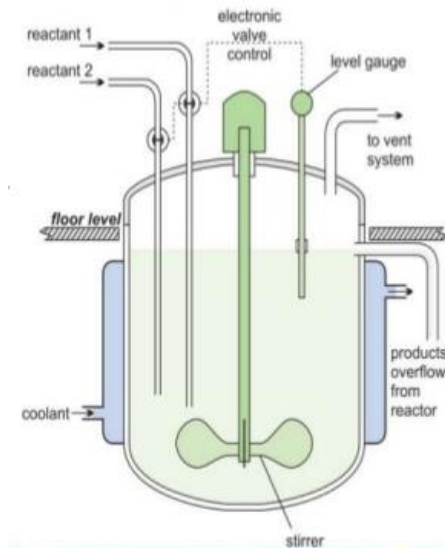


Gambar 2.5 Titrasi Asam Lemah dengan Basa Lemah

2.5 Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)

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. 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.

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



Gambar 2.6 *Continuous stirred tank reactor (CSTR)*

2.6 *Proportional Integral Derivative (PID)*

Didalam suatu sistem kontrol kita mengenal adanya beberapa macam aksi kontrol, diantaranya yaitu aksi kontrol proporsional, aksi kontrol integral dan aksi kontrol derivative. 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 control derivative 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 di atur (Plant). Dengan demikian bagaimanapun rumitnya suatu plant , prilaku plant tersebut harus di ketahui terlebih dahulu sebelum pencarian parameter PID itu dilakukan. Berikut penjelasan setiap parameter dari 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

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

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

1. Mengurangi waktu naik dan kesalahan keadaan tunak
2. Overshoot tinggi yang sebanding dengan kenaikan nilai parameter K_p

3. Mengurangi *Error Steady State* (beda antara setpoint dengan kontrol point)
4. Jika nilai K_p 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

$$\begin{aligned}\frac{du(t)}{dt} &= K_i e(t) \\ u(t) &= \int_0^t e(t) dt\end{aligned}\quad (2.12)$$

Dengan K_i adalah konstanta integral. Fungsi alih dari *Controller* integral adalah

$$\begin{aligned}\frac{U(s)}{E(s)} &= \frac{K_i}{s} \\ 1 + \frac{1}{T_i s}\end{aligned}\quad (2.13)$$

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 rise time

3. Control Derivatif

Control 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

$$u(t) = K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2.14)$$

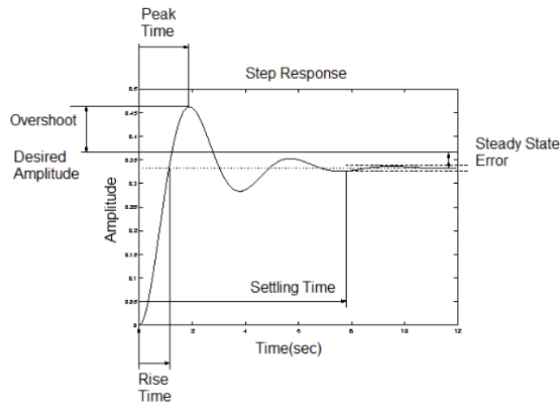
Kontrol derivatif tidak akan pernah digunakan sendirian, karena kontroler ini hanya akan aktif pada periode peralihan. Pada periode peralihan, *control derivatif* menyebabkan adanya redaman pada sistem sehingga lebih memperkecil lonjakan. Seperti pada *control proporsional*, *control derivatif* juga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

Ada beberapa parameter dalam menentukan suatu sistem close loop, yaitu rise time, overshoot, settling time, dan steady state error. *Rise time* 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 meng-konvergenkan *steady state*.

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>
Kp	<i>Decrease</i>	<i>Increase</i>	<i>Small change</i>	<i>Decrease</i>
Ki	<i>Decrease</i>	<i>Increase</i>	<i>Increase</i>	<i>Eliminate</i>
Kd	<i>Small change</i>	<i>Decrease</i>	<i>Decrease</i>	<i>Small change</i>



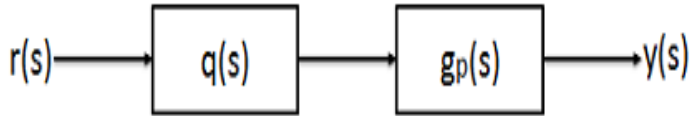
Gambar 2.7 Respon Sistem

2.7 Internal Model Control (IMC)

Internal model control (IMC) adalah metode pengendalian yang berdasarkan pada ketepatan suatu model dari suatu proses, yang menjadi pedoman untuk mendesain sistem pengendalian yang stabil^[1]. Pengendalian yang hanya dapat dicapai jika sistem memuat parameter dari proses yang akan dikendalikan. 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 kedalam 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 2.8 Proses Open Loop Kontrol IMC

$q(s)$ merupakan controller dari proses dan g_p merupakan fungsi transfer dari model proses.

Untuk *first order process*, didapatkan persamaan sebagai berikut :

$$g_p(s) = \frac{k_p}{\tau s + 1}, \quad (2.15)$$

Dimana;

$g_p(s)$ = Gain Proses

K_p = Gain plant

τs = Time constant

Pada proses yang dinamik, pengendali IMC yang digunakan adalah,

$$q(s) = \frac{1}{g_p(s)} \quad (2.16)$$

Dimana;

$q(s)$ = Pengendali (*internal model control*)

$g_p(s)$ = Gain proses

Untuk *first order process*, maka persamaan dari pengendali menjadi,

$$q(s) = \frac{\tau s + 1}{k_p} \quad (2.17)$$

Dimana;

$q(s)$ = Pengendali (*internal model control*)

$k_p(s)$ = *Gain plant*

τs = *Time constant*

Pada IMC terdapat *filter* dengan persamaan,

$$f(s) = \frac{1}{\lambda(s) + 1} \quad (2.18)$$

Dimana;

$f(s)$ = *Filter*

λ = *Parameter tuning filter (konstanta)*

Filter ini berguna untuk *tuning* parameter pada pengendali IMC. Dimana λ adalah parameter *tuning* filter untuk pengendali IMC, nilai *lambda* berfungsi untuk mencari respon pengendali 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 pengendali IMC yang paling cepat. Dari penambahan filter, didapatkan persamaan pengendali,

$$q(s) = \frac{1}{g_p(s)} = \frac{f(s)}{g_p(s)} \quad (2.19)$$

$$q(s) = \frac{\tau s + 1}{k_p} \cdot \frac{1}{\lambda(s) + 1} = \frac{\tau s + 1}{k_p(\lambda s + 1)} \quad (2.20)$$

Dimana:

$q(s)$ = Pengendali *IMC*

τs = *Time constant plant*

k_p = *Gain plant*

λ = *Parameter tuning filter* (konstanta)

2.8 Pendekatan dengan FOPDT

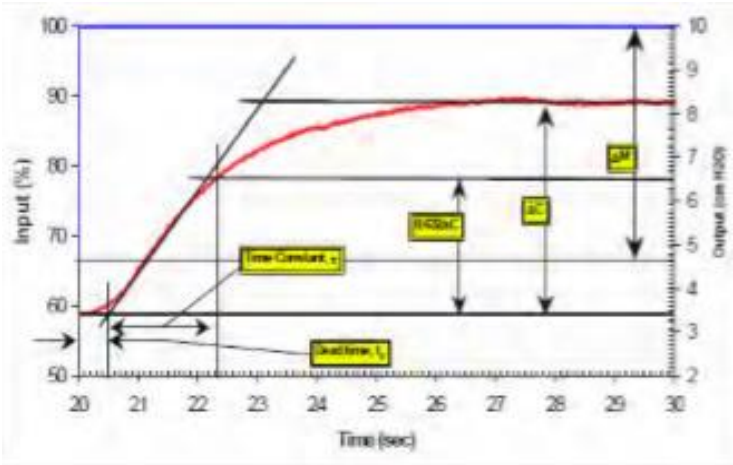
FOPDT (*First Order Plus Dead Time*) adalah sebuah metode untuk mendapatkan fungsi transfer proses dan parameter tuning. Persamaan fungsi transfer dari proses apabila terdapat dead time adalah

$$G_p(s) = \frac{K_p e^{-\theta s}}{\tau_p s + 1} \quad (2.21)$$

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 ouput dengan steady state input.
3. Kemudian time constant (τ) dari respon sistem merupakan 63% dari respon transien yang trdapat pada sistem setelah time delay.

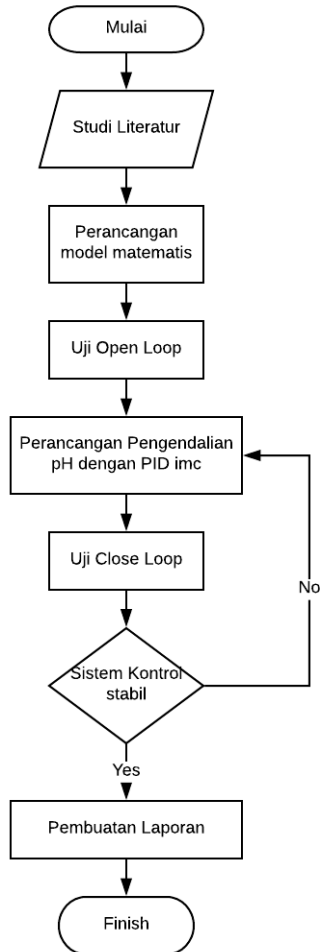
Parameter pada langkah – langkah metode FOPDT dapat digambarkan seperti pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Analisa Respon Dengan Metode FOPDT

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

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



Gambar 3.1. *Flowchart Metodologi*

Dengan adanya *flowchart* metodologi penelitian mengenai "perancangan pid sebagai pengendali ph berbasis *tuning imc* pada *continuous stirred tank reactor* (cstr)" yang telah digambarkan, maka adapun 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 pid sebagai pengendali ph berbasis *tuning imc* pada *continuous stirred tank reactor* (cstr) ". Studi literatur ini dilakukan dengan mencari dan mempelajari informasi dari *e-book* maupun *manual book* mengenai pid imc dan pencampuran pH pada *continuous stirred tank reactor* (cstr) .

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).

Untuk reaksi antara larutan HCL dan KOH yang terjadi didalam *continuous stirred tank reactor* (cstr) dilakukan dengan cara larutan HCL mengalir secara konstan sehingga larutan KOH berfungsi sebagai larutan pengendali. Sehingga didapat rumus permodelan dinamik seperti pada rumus 3.1 dan 3.2

$$V \frac{dx_a}{dt} = F_a C_a - (F_a + F_b) x_a \quad (3.1)$$

$$V \frac{dx_b}{dt} = F_b C_b - (F_b + F_b) x_b \quad (3.2)$$

Dimana :

C_a : konsentrasi asam (Molar),

C_b : konsentrasi basa (Molar),

x_a : konsentrasi asam dalam larutan (Molar),

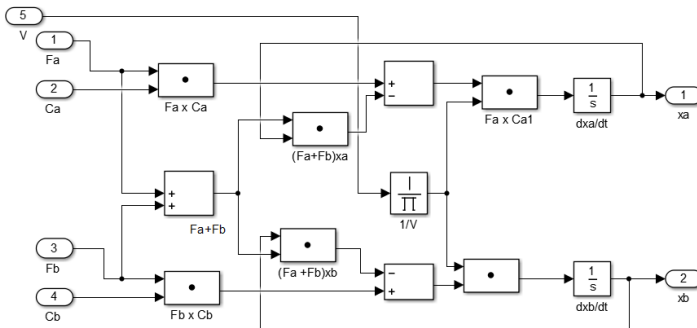
x_b : konsentrasi basa dalam larutan (Molar),

F_a : laju aliran asam (Liter/detik),

F_b : laju aliran basa (Liter/detik)

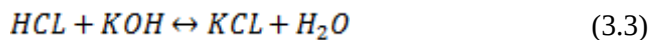
V : volume campuran (Liter/detik).

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



Gambar 3.2 Pemodelan Dinamik pada *Simulink*

Setelah didapatkan pemodelan dinamik, kemudian dicari pemodelan statik dari reaksi HCl dan KOH, sehingga diperlukan persamaan kesetimbangan larutan HCl dan KOH seperti berikut :



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

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

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

Pemodelan statik reaksi kimia dilakukan berdasarkan konsep reaksi *invariant*. Pada sistem ini terdapat 2 reaksi *invariant* yang terjadi yaitu (Wahyuni & Cordova, 2012):

$$Xa = [Cl] + [HCl] \quad (3.6)$$

$$Xb = [KOH] + [K] \quad (3.7)$$

Karena kedua larutan bersifat asam kuat maka:

$$Water = Xa + Xb \quad (3.8)$$

Berdasarkan persamaan kesetimbangan larutan dan persamaan reaksi *invariant* maka dapat dihitung permodelan statik dari reaksi pencampuran larutan HCl dan KOH seperti berikut:

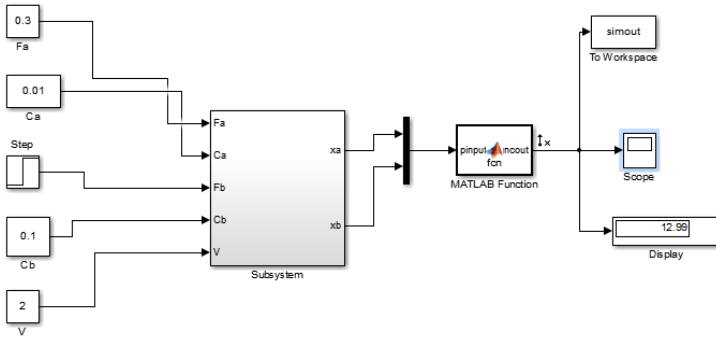
$$[H^+] + xb - \frac{Kw}{[H^+]} - xa = 0 \quad (3.9)$$

$$[H^+]^2 + xb[H^+] - xa[H^+] - kw = 0 \quad (3.10)$$

$$[H^+]^2 + (xb - xa)[H^+] - kw = 0 \quad (3.11)$$

3.3 Uji Open Loop

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* pada simulink.



Gambar 3.3 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 Constant*

$$\tau = 1,5 (t_{63\%} - t_{28\%}) \quad (3.12)$$

Dimana nilai $t_{63\%} - t_{28\%}$ sebesar 13,95331s sehingga nilai *time constant* sebesar 20,92997s.

3. *Time Delay*

$$\theta = t_{63\%} - \tau \quad (3.13)$$

Sehingga nilai *time delay* didapatkan sebesar 299,506s.

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

$$G_p(s) = \frac{0,7 e^{-299,506s}}{20,92997s + 1} \quad (3.14)$$

3.4 Perancangan IMC Controller

Dari hasil sistem uji open loop maka didapatkan fungsi transfer proses dengan metode FOPDT yang didapatkan pada persamaan 3.14. Dari hasil fungsi transfer tersebut, kemudian dilakukan perancangan fungsi transfer *controller* dari fungsi transfer *plant* yang telah didapatkan. Persamaan *controller* IMC sebagai berikut:

$$q(s) = 1/G_p(s).f(s) \quad (3.15)$$

$$q(s) = \frac{\tau s + 1}{k_p} \frac{1}{\lambda s + 1} \quad (3.16)$$

Maka dari persamaan 3.15 didapatkan nilai pengendali IMC sebesar,

$$\tilde{g}_{-p}^{-1} = \frac{20,92997s + 1}{0,7} e^{-299,506s} \quad (3.17)$$

Sehingga persamaan pengendali IMC menjadi,

$$q(s) = \frac{20,92997s + 1}{0,7} e^{-299,506s} \frac{1}{\lambda s + 1} \quad (3.18)$$

Parameter *tunning* IMC yaitu λ , berfungsi untuk mendapatkan respon yang terbaik. Nilai λ yang di gunakan sebanyak 3 variasi. Maka fungsi transfer pengendali IMC adalah sebagai berikut :

$$\lambda = 0,2 \quad (3.19)$$

$$q(s) = \frac{20,92997s + 1}{0,7} e^{-299,506s} \frac{1}{0.2s + 1} \quad (3.20)$$

$$q(s) = \frac{20,92997s+1}{0,14s+0,7} e^{-299,506s} \quad (3.21)$$

$$\lambda = 0,4 \quad (3.22)$$

$$q(s) = \frac{20,92997s+1}{0,7} e^{-299,506s} \frac{1}{0,4s+1} \quad (3.23)$$

$$q(s) = \frac{20,92997+1}{0,28s+0,7} e^{-299,506s} \quad (3.24)$$

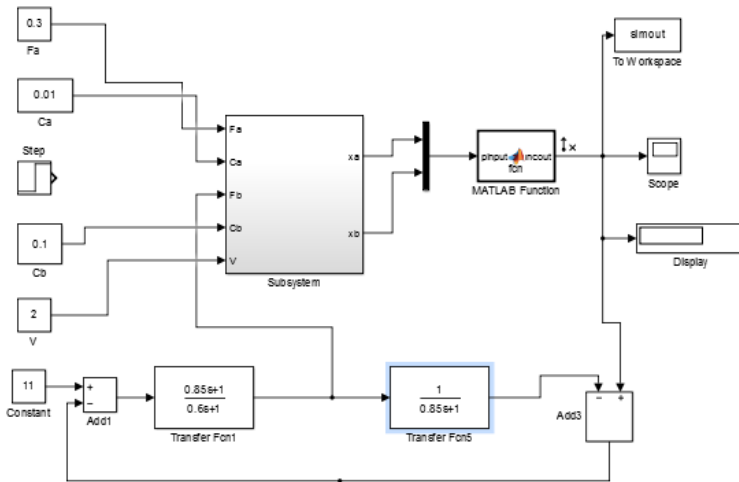
$$\lambda = 0,6 \quad (3.25)$$

$$q(s) = \frac{20,92997s+1}{0,7} e^{-299,506s} \frac{1}{0,6s+1} \quad (3.26)$$

$$q(s) = \frac{20,92997s+1}{0,42s+0,7} e^{-299,506s} \quad (3.27)$$

3.5 Uji Close 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 IMC. PID IMC digunakan untuk mengontrol plant agar hasil keluaran pada plant sesuai dengan input.



Gambar 3.4 Sistem Close Loop

3.6 Pembuatan Laporan

Setelah semua hasil yang diinginkan tercapai kemudian semua hasil mulai dari studi literatur sampai dengan analisa data dan kesimpulan dicantumkan dalam sebuah laporan.

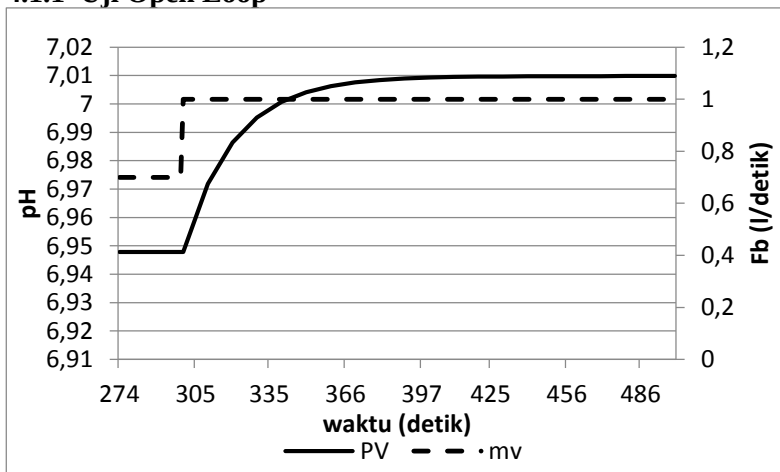
BAB IV

ANALISA DATA

4.1 Analisa Data

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

4.1.1 Uji Open Loop



Gambar 4.1 Hasil Uji Open Loop Plant

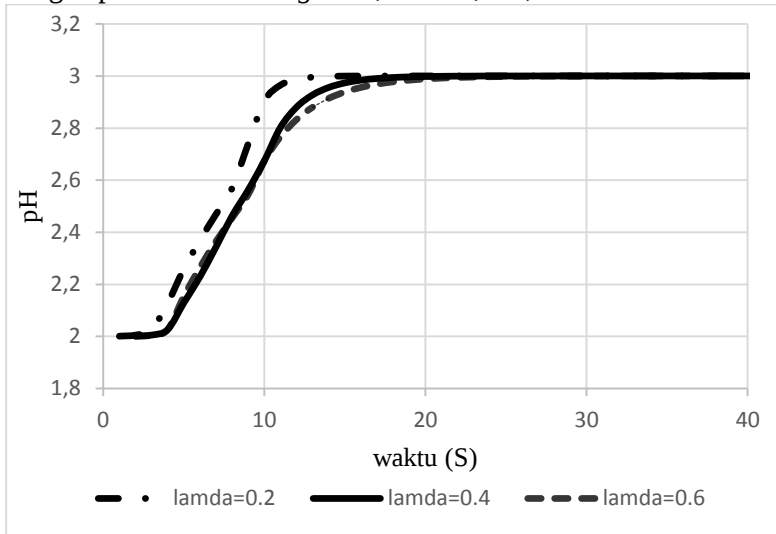
Uji *open loop* bertujuan untuk mengetahui hasil respon pada *plant* sebelum diberi *controller*. Dari hasil respon yang didapatkan dari uji *plant* pada gambar lampiran c dapat diketahui bahwa nilai awal pada pH adalah sebesar 2 dan pH maksimal sebesar 7,01 dikarenakan asam kuat dan basa kuat memiliki konsentrasi sebesar 0.1M.

4.1.2 Uji Close Loop

Pada pengujian *close loop* ini dilakukan dengan kondisi *controller* telah terpasang. Dilakukan beberapa variasi parameter *tuning* IMC yaitu λ , yang berfungsi untuk mendapatkan respon

dengan nilai terbaik. Nilai λ yang di gunakan sebanyak 3 variasi dan masing-masing λ dilakukan pada set point pH 3 dan pH 7 untuk mengetahui bagaimana respon *plant* ketika diberi pH asam dan basa.

Berikut ini merupakan hasil respon *plant* ketika pH 3 dan 7 dengan parameter *tunning IMC*, $\lambda = 0.2, 0.4, \text{ dan } 0.6$:



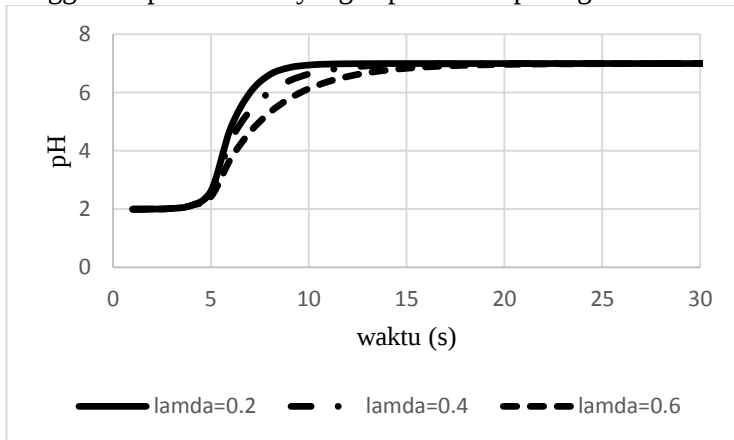
Gambar 4.2 Hasil Uji pH 3

Dari gambar 4.2 dapat diketahui hasil respon dari pH 3 yang telah diberi *controller imc* . Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa respon dengan *tuning filter* (λ) sebesar 0,2 mempunyai respon yang lebih baik jika dibandingkan dengan respon yang diberi *tuning filter* (λ) sebesar 0,4 dan 0,6. Dari hasil respon menggunakan set pont pH 3 pada sistem pengendalian pH didapatkan perbandingan nilai *overshoot*, *settling time*, *error steady state*, *integral absolute error*, dan nilai respon pH seperti berikut pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Respon Uji pH 3

Jenis Uji	Bagian yang diamati	Nilai
$\lambda = 0.2$	<i>Set point</i>	3
	<i>Max Overshoot</i>	0 %
	<i>Settling time</i>	11 s
	<i>Error</i>	0 %
	<i>IAE</i>	0.3039
$\lambda = 0.4$	<i>Set point</i>	3
	<i>Max Overshoot</i>	0 %
	<i>Settling time</i>	15 s
	<i>Error</i>	0 %
	<i>IAE</i>	0.6064
$\lambda = 0.6$	<i>Set point</i>	3
	<i>Max Overshoot</i>	0 %
	<i>Settling time</i>	18 s
	<i>Error</i>	0 %
	<i>IAE</i>	0.8341

Setelah didapatkan hasil uji *close loop* dengan set point pH 3, kemudian dilakukan uji *close loop* dengan set point pH 7 sehingga didapatkan hasil yang dapat dilihat pada gambar 4.3.

**Gambar 4.3** Hasil Uji pH 7

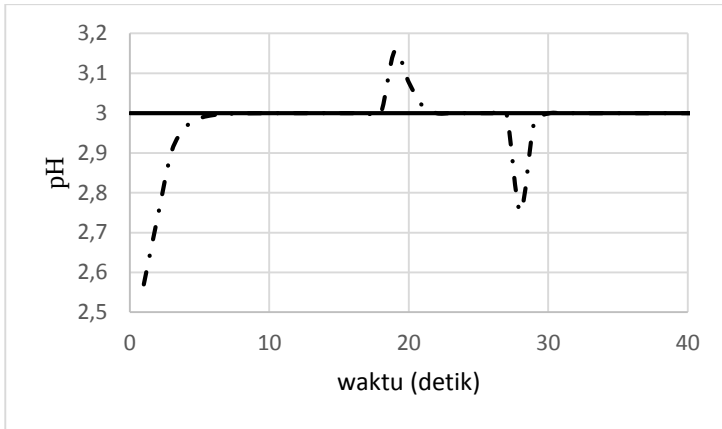
Dari gambar 4.3 dapat dilihat bahwa respon terbaik yaitu respon dengan *tuning filter* (λ) sebesar 0,2 dimana respon tersebut dapat mencapai *settling time* lebih cepat dibanding respon dengan *tuning filter* (λ) sebesar 0,4 dan 0,6. Dari hasil respon menggunakan set point pH 7 pada sistem pengendalian pH menggunakan *tuning imc based pid*, didapatkan perbandingan nilai *overshoot*, *settling time*, *error steady state* dan nilai respon pH seperti berikut pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil Respon Uji pH 7

Jenis Uji	Bagian yang diamati	Nilai
$\lambda = 0.2$	<i>Set point</i>	7
	<i>Max Overshoot</i>	0 %
	<i>Settling time</i>	11 s
	<i>Error</i>	0 %
	<i>IAE</i>	0.3039
$\lambda = 0.4$	<i>Set point</i>	7
	<i>Max Overshoot</i>	0 %
	<i>Settling time</i>	15 s
	<i>Error</i>	0 %
	<i>IAE</i>	0.6064
$\lambda = 0.6$	<i>Set point</i>	7
	<i>Max Overshoot</i>	0 %
	<i>Settling time</i>	18 s
	<i>Error</i>	0 %
	<i>IAE</i>	0.8341

4.1.3 Uji Disturbance

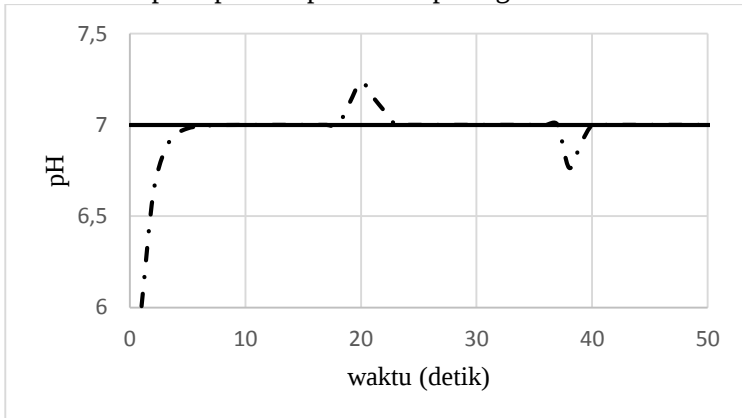
Setelah melakukan uji *close loop* maka didapatkan respon yang paling bagus yaitu pada *tuning filter* (λ) sebesar 0,2. Kemudian dilakukan uji *disturbance* untuk mengetahui respon sistem dengan menggunakan *tuning filter* (λ) sebesar 0,2 jika sistem tersebut diberi *disturbance*.



Gambar 4.4 Hasil Uji *Disturbance* pada pH 3

Pada uji *disturbance* pada pH 3 dengan *tuning filter* (λ) sebesar 0,2 didapatkan respon yang dapat dilihat pada gambar 4.4. F_a yang diberikan awalnya sebesar 0.16l/s kemudian diturunkan menjadi 0.15l/s pada detik ke 30s. Kemudian dinaikkan menjadi 0.18l/s pada detik ke 50s

Setelah didapatkan respon untuk uji *disturbance* pada pH 3, kemudian dilakukan uji *disturbance* pada pH 7. Respon hasil uji *disturbance* pada pH 7 dapat dilihat pada gambar 4.5



Gambar 4.5 Hasil Uji *Disturbance* pada pH 7

4.2 Pembahasan

Hasil uji dari simulasi *open loop* didapatkan nilai minimum pada pH yaitu sebesar 2 dan maksimum pH sebesar 7.01 . Hasil uji *open loop* berguna untuk mengetahui *range* pengendalian pH serta melihat hasil dari permodelan statik dan dinamik yang sudah sesuai dengan kurva titrasi.

Pada uji simulasi *close loop*, diberikan variasi pada *set point* dan parameter *tuning filter* (λ) yaitu sebesar 3 dan 7 pada *set point* pH dan variasi sebesar 0.2, 0.4, dan 0.6 untuk *tuning filter* (λ) . Dari variasi tersebut dapat diketahui dari tabel 4.1 dan 4.2 bahwa masing-masing *set point* mempunyai nilai *overshoot*, *settling time*, dan *error* yang berbeda-beda.

Pada pH 3 terjadi *overshoot* tidak terjadi, namun *settling time* yang dibutuhkan pada masing-masing *tuning filter* (λ) berbeda. *Settling time* yang paling baik terdapat pada $\lambda = 0.2$. Dapat dilihat pada tabel 4.1 bahwa respon yang paling cepat mencapai *steady state* adalah respon yang diberi *tuning filter* (λ) sebesar 0.2. Sedangkan *tuning filter* (λ) sebesar 0.4 dan 0.6 juga mencapai *steady state* dengan membutuhkan waktu yang sedikit lebih lama.

Sedangkan pada pH 7 juga tidak terjadi *overshoot*. Sama seperti yang terjadi pada pH 3 hanya terdapat perbedaan pada *settling time*, dimana *tuning filter* (λ) = 0.2 memberikan respon yang cepat untuk mencapai *steady state* yang dapat dilihat pada tabel 4.2 dan gambar 4.3. Sedangkan *tuning filter* (λ) sebesar 0.4 dan 0.6 dapat mencapai *set point* dengan waktu yang sedikit lebih lama.

Sehingga dapat disimpulkan bahwa dari ketiga parameter *tuning filter* (λ) sebesar 0.2, 0.4, dan 0.6 yang mempunyai performansi terbaik adalah pada *tuning filter* (λ) sebesar 0.2 dimana dengan diberikan *tuning filter* (λ) sebesar 0.2 *settling time* yang dicapai menjadi lebih cepat.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari analisa data yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Diperoleh pemodelan dinamik dan pemodelan statik untuk merancang sistem pengendalian pH menggunakan *tuning imc based* pid.
2. Pengendalian pH dengan menggunakan sistem pengendalian *tuning imc based* pid menghasilkan respon yang baik dimana pada pH 3 dan pH 7 menunjukkan respon dimana tidak ada *overshoot* yang terjadi. Kemudian *tuning filter* (λ) sebesar 0.2 dapat menghasilkan respon yang baik pada pH 3 dan pH 7 dimana *settling time* yang dicapai lebih cepat dibanding *tuning filter* (λ) lainnya.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah dapat ditambahkan *control valve* pada *plant* karena pada penelitian ini belum diberikan *control valve*.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Biyanto, TR, **Internal Model Control (IMC)-Neural Network(NN) Gain Scheduling untuk Pengendali Kolom Distilasi**, Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, ITS-Surabaya
- [2] 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.
- [3] Gustaffson, T. K. & Waller, K. V. 1983, ***Dynamic Modelling and Reaction Invariant Control of pH, Department Of Chemical Engineering, Abo Akademi Finland..***
- [4] Ishak, AA, Mohamed AA, **Effect of valve characteristics to the Controllability of pH In A Continuous Stirred Tank Reactor**, Dept. Of Chemichal Engineering, Faculty of Mechanical Engineering, Universiti Teknologi MARA, 40450 Shal Alam, Malaysia
- [5] Tore K. Gudtafsson, Kurt V. Waller, **Dynamic Modelling and Reaction Invariant Control of pH**. Process Control Laboratory, Departemen of Chemical Engineering, Abo Akademi
- [6] Ylen, J. P. 2001, ***Measuring, Modeling, and Controlling the pH Value and the Dynamic Chemical State***, Helsinki University of Technology Control Engineering Laboratory.

Lampiran A (Syntax)

```
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;
```

Lampiran B
Nilai Data Open Loop

Waktu (detik)	pH	mV
274,3061	6,947805	0,7
284,3061	6,947832	0,7
294,3061	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 C
Nilai Data Close Loop

<i>Set point</i>	Lamda 0.2	Lamda 0.4	Lamda 0.6	Waktu (detik)
3	2,001048	2,001048	2,001048	0
3	2,005244	2,005244	2,005244	1
3	2,026137	2,026137	2,026137	2
3	2,128433	2,128433	2,153222	3
3	2,258949	2,228433	2,264222	4
3	2,369401	2,343207	2,364595	5
3	2,469401	2,462127	2,454595	6
3	2,569401	2,562127	2,544712	7
3	2,739979	2,673761	2,673772	8
3	2,904226	2,802124	2,766247	9
3	2,964723	2,879981	2,832509	10
3	2,987006	2,927204	2,879987	11
3	2,995214	2,955847	2,914007	12
3	2,998237	2,973219	2,938383	13
3	2,999351	2,983757	2,95585	14
3	2,999761	2,990148	2,968365	15
3	2,999912	2,994024	2,977332	16
3	2,999968	2,996375	2,983758	17
3	2,999988	2,997802	2,988362	18
3	2,999996	2,998667	2,991661	19
3	2,999998	2,999191	2,994025	20
3	2,999999	2,999509	2,995719	21
3	3	2,999702	2,996932	22
3	3	2,99982	2,997802	23
3	3	2,999891	2,998425	24
3	3	2,999934	2,998871	25

3	3	2,99996	2,999191	26
3	3	2,999976	2,999421	27
3	3	2,999985	2,999585	28
3	3	2,999991	2,999703	29
3	3	2,999995	2,999787	30
3	3	2,999997	2,999847	31
3	3	2,999998	2,999891	32
3	3	2,999999	2,999922	33
3	3	2,999999	2,999944	34
3	3	3	2,99996	35
3	3	3	2,999971	36
3	3	3	2,999979	37
3	3	3	2,999985	38
3	3	3	2,999989	39
3	3	3	2,999992	40
3	3	3	2,999995	41
3	3	3	2,999996	42
3	3	3	2,999997	43
3	3	3	2,999998	44
3	3	3	2,999999	45
3	3	3	2,999999	46
3	3	3	2,999999	47
3	3	3	2,999999	48
3	3	3	3	49
3	3	3	3	50
3	3	3	3	51
3	3	3	3	52
3	3	3	3	53
3	3	3	3	54
3	3	3	3	55

Lampiran D
Nilai Data Close Loop

<i>Set point</i>	Lamda 0.2	Lamda 0.4	Lamda 0.6	Waktu (detik)
7	2,001048	2,001048	2,001048	0
7	2,005247	2,005247	2,005247	1
7	2,026202	2,026202	2,026202	2
7	2,13004	2,13004	2,13004	3
7	2,619742	2,619742	2,433181	4
7	4,777569	4,343214	3,727729	5
7	6,007516	5,388562	4,655314	6
7	6,618894	6,022604	5,319958	7
7	6,859626	6,407174	5,796196	8
7	6,948296	6,640429	6,137437	9
7	6,980956	6,781907	6,381946	10
7	6,992985	6,867719	6,557145	11
7	6,997416	6,919767	6,68268	12
7	6,999048	6,951336	6,77263	13
7	6,999649	6,970483	6,837082	14
7	6,999871	6,982097	6,883264	15
7	6,999952	6,989141	6,916355	16
7	6,999982	6,993414	6,940066	17
7	6,999994	6,996005	6,957055	18
7	6,999998	6,997577	6,969229	19
7	6,999999	6,99853	6,977951	20
7	7	6,999109	6,984201	21
7	7	6,999459	6,98868	22
7	7	6,999672	6,991889	23
7	7	6,999801	6,994188	24
7	7	6,999879	6,995836	25

7	7	6,999927	6,997016	26
7	7	6,999956	6,997862	27
7	7	6,999973	6,998468	28
7	7	6,999984	6,998902	29
7	7	6,99999	6,999213	30
7	7	6,999994	6,999436	31
7	7	6,999996	6,999596	32
7	7	6,999998	6,999711	33
7	7	6,999999	6,999793	34
7	7	6,999999	6,999851	35
7	7	7	6,999894	36
7	7	7	6,999924	37
7	7	7	6,999945	38
7	7	7	6,999961	39
7	7	7	6,999972	40
7	7	7	6,99998	41
7	7	7	6,999986	42
7	7	7	6,99999	43
7	7	7	6,999993	44
7	7	7	6,999995	45
7	7	7	6,999996	46
7	7	7	6,999997	47
7	7	7	6,999998	48
7	7	7	6,999999	49
7	7	7	6,999999	50
7	7	7	6,999999	51
7	7	7	6,999999	52
7	7	7	7	53
7	7	7	7	54
7	7	7	7	55

BIODATA PENULIS



Penulis bernama Novia Nur Sa'adah. dilahirkan di kota Bontang, 8 November 1994. Penulis menyelesaikan Taman Kanak-kanak pada tahun 2001 di Yayasan Pupuk Kaltim, di Bontang. Sekolah Dasar pada tahun 2007 di SD2 Yayasan Pupuk Kaltim, pada tahun 2009 penulis menamatkan SMP Yayasan Pupuk Kaltim, dan pada tahun 2013 penulis menamatkan sekolah menengah di SMA N 1 Bontang. Penulis mempunyai minat terhadap bidang organisasi. Dari semenjak dibangku SMP hingga sekarang dibangku kuliah, penulis masih aktif menggeluti bidang organisasi. Pada tahun 2018 ini, penulis mampu menyelesaikan gelar sarjana teknik di Jurusan Teknik Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis berhasil menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Rancang Bangun Sistem Pengukuran dan Monitoring Laju Aliran pada Orifice Plate Dengan Menggunakan Sensor MPX2010DP Berbasis Arduino”. Bagi pembaca yang memiliki kritik, saran, atau ingin berdiskusi lebih lanjut mengenai tugas akhir ini, dapat menghubungi penulis melalui email novsdh@gmail.com.