



TUGAS AKHIR - TF TF181801

PERANCANGAN SISTEM PENGENDALIAN PH PADA CSTR (CONTINUOUS STIRRED-TANK REACTOR) DENGAN METODE PID

**ADILAH DAFFADANY RABBANI
NRP 02311645000043**

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

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



FINAL PROJECT - TF TF181801

***DESIGN OF CONTROL SYSTEM PH IN CSTR
(CONTINUOUS STIRRED-TANK REACTOR)
WITH PID METHOD***

ADILAH DAFFADANY RABBANI
NRP 02311645000043

Counselor Lecturer
Hendra Cordova, ST, MT.

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

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Adilah Daffadany Rabbani

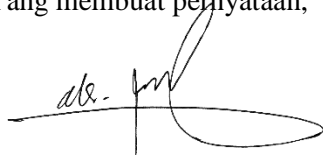
NRP : 02311645000043

Departemen : Teknik Fisika FTI-ITS

dengan ini menyatakan bahwa tugas akhir saya yang berjudul **PERANCANGAN SISTEM PENGENDALIAN PH PADA CSTR (*CONTINUOUS STIRRED-TANK REACTOR*) DENGAN METODE PID** adalah bebas plagiasi. Apabila pernyataan ini terbukti tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 20 Desember 2018
Yang membuat pernyataan,



Adilah Daffadany Rabbani
NRP. 02311645000043

LEMBAR PENGESAHAN
PERANCANGAN SISTEM PENGENDALIAN PH PADA
CSTR (*CONTINUOUS STIRRED-TANK REACTOR*)
DENGAN METODE PID

TUGAS AKHIR

OLEH

Adilah Daffadany Rabbani
NRP. 02311645000043

Surabaya, 20 Desember 2018

Mengetahui,
Dosen Pembimbing



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

Menyetujui,
Kepala Departemen Teknik Fisika FTI-ITS



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

**PERANCANGAN SISTEM PENGENDALIAN PH PADA
CSTR (CONTINUOUS STIRRED-TANK REACTOR)
DENGAN METODE PID**

TUGAS AKHIR

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

Oleh:

ADILAH DAFFADANY RABBANI
NRP. 02311645000043

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Hendra Cordova, S.T., M.T.



..... Pembimbing

2. Totok Ruki Biyanto, Ph.D.



..... Ketua Penguji

3. Ir. Matradji, M.Sc.



..... Penguji

4. Ir. Sarwono, M.M.



..... Penguji

SURABAYA
Februari, 2018

**PERANCANGAN SISTEM PENGENDALIAN PH
PADA CSTR (CONTINUOUS STIRRED-TANK REACTOR)
DENGAN METODE PID**

Nama Mahasiswa : Adilah Daffadany R.
NRP : 02311645000043
Departemen : Teknik Fisika FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Hendra Cordova, ST., MT.

Abstrak

Salah satu industri menggunakan xilan sebagai bahan baku pembuat gula xilitol, melalui proses hidrolisis xilan menjadi xilosa, kemudian dihidrogenasi menjadi xilitol. Proses tersebut membutuhkan proses netralisasi dengan larutan HCL dan NaOH. *Continuous stirred tank reactor* (CSTR) merupakan suatu wadah yang di dalamnya terjadi reaksi kimia pembentukan atau penguraian. Didalam CSTR ini terjadi reaksi pencampuran antara larutan HCL dan NaOH dimana larutan NaOH akan dikendalikan menggunakan sistem kontrol PID. PID sendiri merupakan pengendalian yang hanya dapat dicapai jika sistem memuat parameter dari proses yang akan dikendalikan, baik secara implisit maupun eksplisit. Uji coba dilakukan dengan *open loop*, *close loop*, serta uji *disturbance* pada *simulink matlab*. Perancangan sistem pengendalian pH pada CSTR (*Continuous Stirred-Tank Reactor*) yang dilakukan uji *close loop* dengan menggunakan kontrol PID waktu yang dibutuhkan untuk mencapai *set point* pH 7 (netral) *steady state* adalah 18 detik dimana tidak terjadi *overshoot* serta *error*.

Kata kunci: CSTR, PID, pengendalian pH

**DESIGN OF CONTROL SYSTEM PH
IN CSTR (CONTINUOUS STIRRED-TANK REACTOR)
WITH PID METHOD**

Name : Adilah Daffadany Rabbani
NRP : 02311645000043
Department : *Engineering Physics, FTL,ITS*
Supervisor : Hendra Cordova, ST., MT.

Abstract

One industry uses xylan as the raw material for making xylitol sugars, through the process of xylan hydrolysis to xylose, then hydrogenated to xylitol. The process requires a neutralization process with a solution of HCL and NaOH. A continuous stirred tank reactor (CSTR) is a container where chemical formation or decomposition occurs. In CSTR, there will be a mixing reaction between HCL and NaOH solution while NaOH solution will be managed using a PID control system. PID itself is a controller that can only be completed if the system. The parameters of the process will be integrated, both implicitly and explicitly. Trials are carried out with open loop, closed loop, and interference tests on matlab simulink. The design of the pH control system on CSTR (Continuous Stirred-Tank Reactor) conducted by closed loop test using PID control the time needed to reach the pH 7 (neutral) set point steady state is 18 seconds which can be overshooted and errors.

Keywords: *CSTR, PID, pH control*

KATA PENGANTAR

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

1. Bapak Agus Muhamad Hatta, ST, MSi, Ph.D selaku Kepala Departemen Teknik Fisika
2. Bapak Hendra Cordova, ST.,MT. selaku dosen pembimbing yang senantiasa memberikan motivasi, bimbingan dan arahan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak dan Ibu dosen Teknik Fisika yang telah memberikan ilmu selama kuliah serta seluruh Staf Departemen Teknik Fisika yang telah membantu penulis dalam hal administrasi.
4. Kedua orang tua yang selalu memberikan dukungan baik secara materiil dan motivasi.
5. Rekan-rekan LABKOM TF yang membantu dalam hal proses penyelesaian Tugas Akhir ini.
6. Asisten Laboratorium Rekayasa Instrumentasi dan Kontrol serta yang senantiasa memberikan ruang dan tempat untuk pengerjaan tugas akhir.
7. Rekan-rekan angkatan F48 yang selalu memotivasi dan memberikan semangat, khususnya Jerry, Okky, Alen, Fatih, dan Bof.
8. Rekan-rekan LBB Rock yang selalu memberikan nasehat agar lekas lulus, khususnya Ucup, Ical, dan Rere yang juga masih berjuang demi kelulusan.
9. Rekan-rekan JOKOPI yang memberi arti penting sebuah usaha untuk masa depan dan memberi semangat agar lekas lulus dan berkontribusi untuk masyarakat.
10. 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, Januari 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 Derajat Keasaman (pH).....	5
2.2 Teori Asam Basa	6
2.3 Netralisasi Asam Basa	7
2.4 Titrasi Asam dan Basa	9
2.5 Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)	11
2.6 Kontrol PID (<i>Proportional Integral Derivative</i>).....	12
2.7 FOPDT (<i>First Order Plus Dead Time</i>)	16
2.8 Sistem Kontrol <i>Open Loop</i>	17
2.9 Sistem Kontrol <i>Close Loop</i>	18
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 Menentukan K_p , τ_i , τ_d	23
3.5 Uji <i>Close Loop</i>	23
BAB IV. ANALISA DATA	27
4.1 Analisa Data	27
4.2 Pembahasan.....	30

BAB V. PENUTUP.....	33
5.1 Kesimpulan.....	33
5.2 Saran.....	33
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

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 <i>Continuous stirred tank reactor</i> (CSTR).....	12
Gambar 2.6 Respon Sistem.....	16
Gambar 2.7 Sistem Kontrol <i>Open Loop</i>	17
Gambar 2.8 Sistem Kontrol <i>Close Loop</i>	18
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> Metodologi Penelitian.....	19
Gambar 3.2 Pemodelan Dinamik pada Simulink	21
Gambar 3.3 Sistem Open Loop.....	23
Gambar 3.4 Sistem Close Loop	25
Gambar 4.1 Hasil uji <i>open loop</i>	27
Gambar 4.2 Hasil uji <i>close loop</i>	28
Gambar 4.3 Hasil uji <i>close loop</i> dengan <i>disturbance</i>	29
Gambar 4.4 Hasil uji <i>close loop</i> dengan variasi <i>set point</i>	30

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.....	17
Tabel 3.1 Tabel <i>Tunning Formula</i>	24
Tabel 4.1 Hasil Respon <i>Close Loop</i>	29

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Salah satu industri menggunakan xilan sebagai bahan baku pembuat gula xilitol, melalui proses hidrolisis xilan menjadi xilosa, kemudian dihidrogenasi menjadi xilitol. Xilitol mempunyai kelebihan dibanding gula pasir (sukrosa), sebagai pemanis rendah kalori, mempunyai indek glikemik rendah, dan dalam metabolisme tidak memerlukan insulin sehingga tidak meningkatkan gula darah. Karena itu xilitol baik untuk penderita diabetes. Saat ini xilitol banyak digunakan untuk pasta gigi karena dapat menguatkan gigi dan bersifat anti caries. Pada saat proses mulai dari bahan baku berupa tepung tongkol jagung kemudian direndam, dicuci, melalui proses sentrifugasi, dikeringkan, dan proses perendaman kedua. Pada proses perendaman kedua senyawa yang digunakan adalah NaOH, setelah melalui proses rendaman yang kedua selanjutnya adalah proses sentrifugasi yang kedua. Pada proses ini menghasilkan endapan dan cairan/supernatant, cairan yang dihasilkan ditampung untuk diukur pH-nya, kemudian dinetralkan dengan menggunakan HCl 6N akan melalui proses penetralan dengan senyawa HCl agar output dari endapan yang dihasilkan akan bersifat netral. Maka dari itu dibutuhkan suatu pengendali pH untuk menjaga agar nilai pH sesuai dengan produk yang diinginkan. Nilai pH didapat dari proses titrasi asam dan basa.

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

Pada penelitian ini dilakukan perancangan pengendali linear yakni PID untuk mengatasi karakteristik nonlinear dari pH tersebut berdasarkan pada reaksi invarian (Gustafsson dan Waller, 1983) sebagai pemodelan reaksi untuk titrasi basa kuat NaOH dan asam kuat HCl dengan mempertimbangkan laju reaksi dari proses titrasi 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. Sedangkan tempat terjadinya reaksi digunakan tangki CSTR (*Continuous Stirred Tank Reactor*) dimana tangki CSTR ini akan memiliki dua input *flow* NaOH dan HCl. Sistem pengendali PID kemudian diukur secara kuantitatif performansinya dengan variabel *rise time*, *settling time*, *peak time*, *maximum overshoot*, dan *error steady state* yang akan disimulasikan pada Simulink di Matlab yang dapat digunakan sebagai sarana pemodelan, simulasi dan analisis dari sistem dinamik dengan menggunakan antarmuka grafis. Dengan adanya penelitian ini diharapkan dapat mendapatkan suatu sistem dengan performansi yang lebih baik pada pengendalian pH.

1.2 Permasalahan

Dari paparan di atas permasalahan pada tugas akhir ini adalah bagaimana merancang sistem pengendalian pH pada CSTR (*Continuous Stirred-Tank Reactor*) dengan metode PID.

1.3 Tujuan

Tujuan dari tugas akhir ini adalah dapat merancang sistem pengendalian pH pada CSTR (*Continuous Stirred-Tank Reactor*) dengan metode PID.

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

BAB IV Pengujian dan Analisa Hasil Simulasi

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

BAB V Kesimpulan dan Saran

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

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Teori Derajat Keasaman (pH)

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

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

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 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

2.2 Teori Asam – Basa

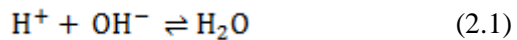
Asam sebagai senyawa yang melarut ke dalam air untuk Terdapat dua teori yang digunakan untuk menjelaskan asam dan basa yakni teori Arrhenius dan Bronsted Lowry. Arrhenius mendefinisikan air untuk memberikan ion OH⁻. Contoh senyawa asam memberikan ion H⁺ dan basa adalah senyawa yang melarut ke dalam adalah 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^+).

2.3 Netralisasi Asam Basa

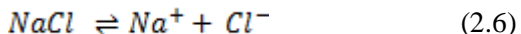
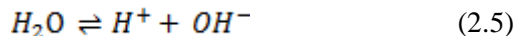
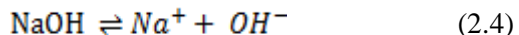
Dalam artian luas, reaksi penetralan adalah interaksi antara asam dan basa. Interaksi tersebut dapat terjadi antara asam kuat dengan basa kuat, asam lemah dengan basa kuat, atau asam lemah dengan basa lemah. Proses netralisasi melibatkan ion hidrogen (H^+) dan ion hidroksida (OH^-) yang apabila bereaksi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



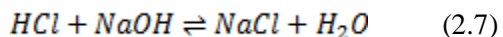
Dengan konstanta kesetimbangan untuk air (K_w) sebesar 1×10^{-14} pada suhu 25°C

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

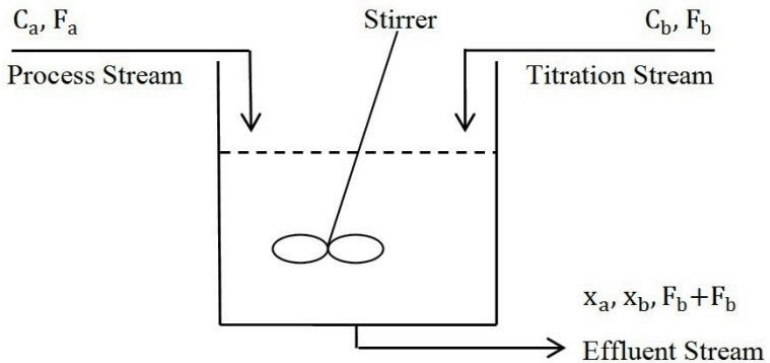
Sebagai contoh proses netralisasi adalah ketika HCl dicampur-kan dengan NaOH



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, 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:

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

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

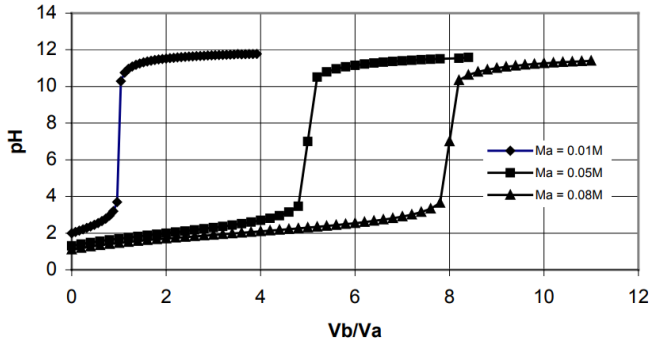
$$K_w = [H^+][OH^-] = 10^{-14} \quad (2.10)$$

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.

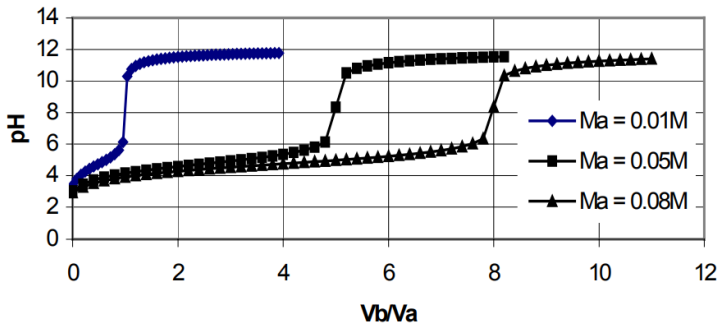
Kurva titrasi ini dapat digunakan sebagai acuan ketika kita akan melakukan pemodelan pH. Hal ini dikarenakan kurva tersebut menggambarkan pH sebagai fungsi dari perbedaan asam-basa. Secara eksperimen harga pH ditentukan oleh penambahan sejumlah volume dari asam basa dengan skala harga pH ditentukan oleh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



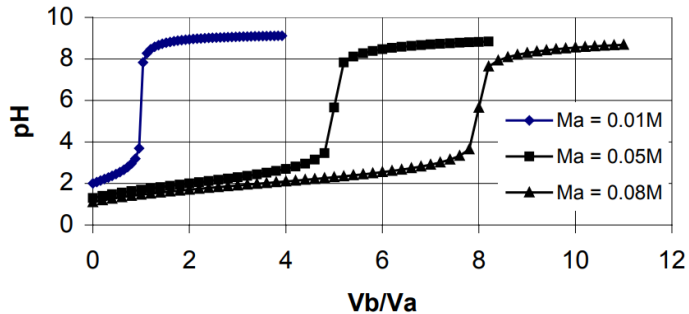
Gambar 2.2 Titrasi asam kuat dengan basa kuat

2. Asam Lemah dengan Basa kuat



Gambar 2.3 Titrasi asam lemah dengan basa kuat

3. Asam Kuat dengan Basa Lemah

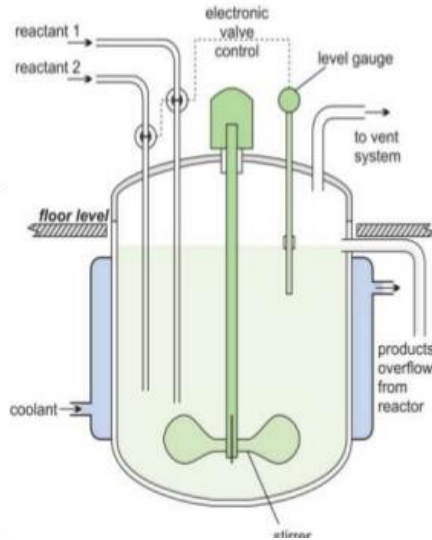


Gambar 2.4 Titrasi asam kuat dengan basa lemah

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 2.5 *Continuous stirred tank reactor (CSTR)*

2.6 Kontrol PID (*Proportional Integral Derivative*)

Didalam suatu sistem kontrol kita mengenal adanya beberapa macam aksi kontrol, diantaranya yaitu aksi kontrol proporsional, aksi kontrol integral dan aksi kontrol 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, perilaku 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

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

(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 Kp.
3. Mengurangi *Error Steady State* (beda antara setpoint dengan kontrol point).
4. Jika nilai Kp kecil, pengendali proporsional hanya mampu melakukan koreksi kesalahan yang kecil dan menyebabkan respon sistem yang lambat.

2. Kontrol Integral

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

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

$$u(t) = \int_0^t e(t) dt \quad (2.12)$$

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

$$\frac{U(s)}{E(s)} = \frac{K_i}{s \left(1 + \frac{1}{T_i s} \right)} \quad (2.13)$$

Dimana T_i adalah waktu integral, karakteristik pengendali integral adalah:

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

3. Kontrol Derivatif

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

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

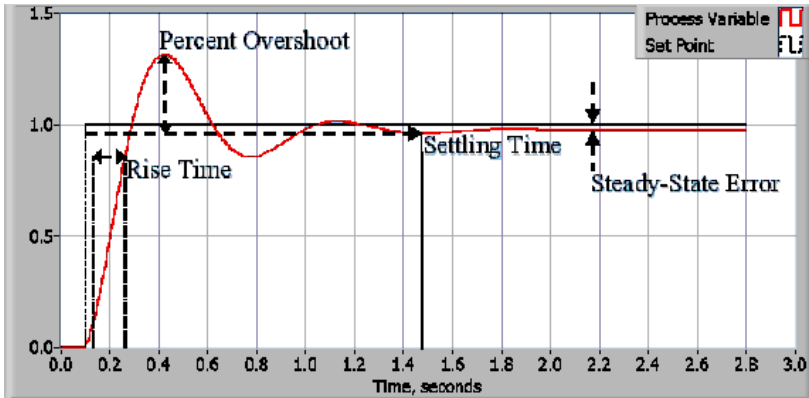
Kontrol derivatif tidak akan pernah digunakan sendirian, karena kontroler ini hanya akan aktif pada periode peralihan. Pada periode peralihan, kontrol derivatif menyebabkan adanya redaman pada sistem sehingga lebih memperkecil lonjakan. Seperti pada kontrol proporsional, kontrol derivatif juga tidak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

Ada beberapa parameter dalam menentukan suatu sistem *close loop*, yaitu *ris time*, *overshoot*, *settling time*, dan *steady state error*. *Risetime* adalah waktu yang dibutuhkan respon untuk memotong sumbu steady state yang diukur mulai respon 10% - 90% saat pertama kali sistem dijalankan. *Overshoot* adalah seberapa besar *peak level* lebih tinggi dari *steady state*, untuk membuat normal lagi steady state. *Settling time* adalah waktu yang dibutuhkan sistem untuk 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 2.6 Respon Sistem

2.7 FOPDT (*First Order Plus Dead Time*)

FOPDT adalah sebuah metode untuk mendapatkan fungsi transfer proses dan parameter *tunning*. Persamaan fungsi transfer dari proses apabila terdapat *dead time* adalah:

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

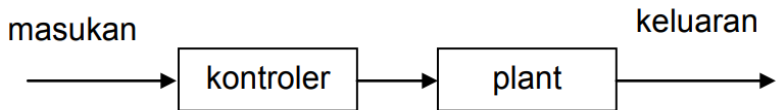
Dimana θ adalah *time delay* yang terdapat pada respon proses. Pendekatan FOPDT dapat digunakan dengan software Ms. Excel dengan menganalisa respon sistem yang telah didapatkan. Langkah-langkah metode FOPDT adalah:

1. Menentukan perubahan *steady state output* (ΔC) dan perubahan *steady state input* (ΔM).
2. Menghitung *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*.

2.8 Sistem Kontrol *Open Loop*

Sistem kontrol *open loop* merupakan suatu sistem kontrol yang mempunyai karakteristik dimana nilai keluaran tidak memberikan pengaruh pada aksi kontrol.

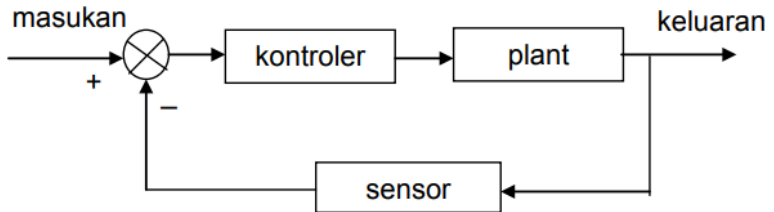


Gambar 2.7 Sistem Kontrol *Open Loop*

Dalam suatu sistem kontrol *open loop*, keluaran tidak dapat dibandingkan dengan masukan acuan. Jadi, untuk setiap masukan acuan berhubungan dengan operasi tertentu, sebagai akibat ketetapan dari sistem tergantung kalibrasi. Dengan adanya gangguan, sistem kontrol *open loop* tidak dapat melaksanakan tugas sesuai yang diharapkan. Sistem kontrol *open loop* dapat digunakan hanya jika hubungan antara masukan dan keluaran diketahui dan tidak terdapat gangguan internal maupun eksternal. Sistem kontrol *open loop* lebih sederhana, murah, dan mudah dalam desainnya, akan tetapi akan menjadi tidak stabil dan seringkali memiliki tingkat kesalahan yang besar bila diberikan gangguan dari luar.

2.9 Sistem Kontrol *Close Loop*

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

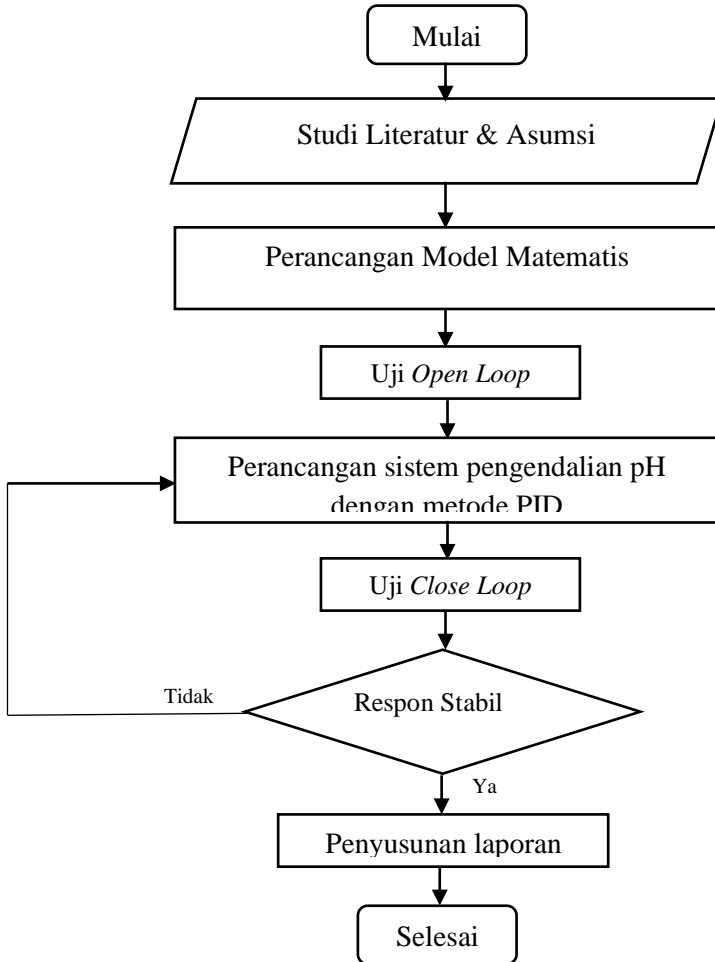


Gambar 2.8 Sistem Kontrol *Close Loop*

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

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

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



Gambar 3.1 *Flowchart* Metodologi Penelitian

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

3.1 Studi Literatur

Tahap awal pada *flowchart* ini dimulai dengan adanya studi literatur sebagai upaya pemahaman terhadap materi yang menunjang tugas akhir mengenai "Perancangan Sistem Pengendalian pH pada CSTR (Continuous Stirred-Tank Reactor) Dengan Metode PID". Studi literatur ini dilakukan dengan mencari dan mempelajari informasi dari *e-book* maupun manual book mengenai sistem kontrol PID dan pencampuran pH pada *Continuous Stirred Tank Reactor* (CSTR). Dengan asumsi pada *Continuous Stirred Tank Reactor* (CSTR) suhu, tekanan, serta kecepatan pengaduk konstan.

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 NaOH yang terjadi didalam *Continuous Stirred Tank Reactor* (CSTR) dilakukan dengan cara larutan HCL mengalir secara konstan sehingga larutan NaOH berfungsi sebagai larutan pengendali. Sehingga didapat rumus permodelan dinamik seperti pada rumus 3.1 dan 3.2

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

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

Dimana:

C_a : konsentrasi asam (Molar),

C_b : konsentrasi basa (Molar),

x_a : konsentrasi asam dalam larutan (Molar),

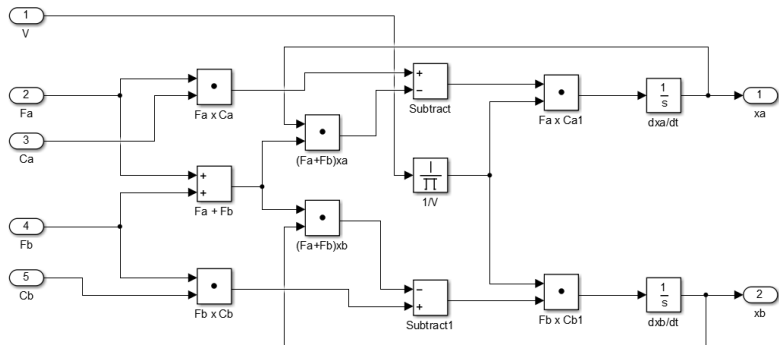
x_b : konsentrasi basa dalam larutan (Molar),

F_a : laju aliran asam (Liter/detik),

F_b : laju aliran basa (Liter/detik)

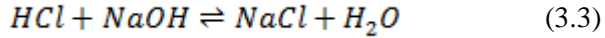
V : volume campuran (Liter/detik).

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 NaOH, sehingga diperlukan persamaan kesetimbangan larutan HCl dan NaOH seperti berikut:



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

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

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

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

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

$$X_b = [NaOH] + [Na] \quad (3.7)$$

Karena kedua larutan bersifat asam dan basa kuat maka:

$$Water = X_a + X_b \quad (3.8)$$

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

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

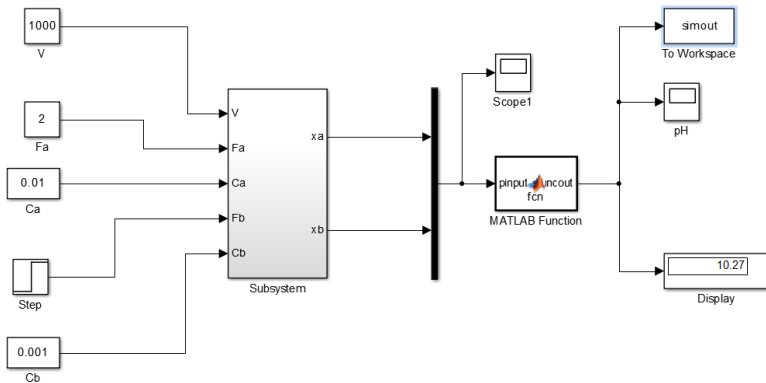
$$[H^+]^2 + xb[H^+] - xa[H^+] - kw = 0 \quad (3.10)$$

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

3.3 Uji Open Loop

Pengujian simulasi open loop berfungsi untuk mengamati model plant dari proses mixing, 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:

$$1. K = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{10,24 - 2,68}{25 - 5} = \frac{7,56}{20} = 0,378$$

2. *Time Constant*

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

Dimana nilai $t_{63\%} - t_{28\%} = 10,05 - 3,66 = 6,39s$ sehingga nilai *time constant* sebesar 9,85s.

3. *Time Delay*

$$\theta = t_{63\%} - t_{28\%} \quad (3.13)$$

Sehingga nilai *time delay* didapatkan $10,05 - 3,66$ sebesar $6,39s$.

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

$$Gp(s) = \frac{K e^{-\theta s}}{\tau s + 1} \quad (3.14)$$

$$Gp(s) = \frac{0,378 e^{-6,39s}}{9,85s + 1}$$

3.4 Menentukan K_P , τ_i , τ_d

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 menentukan konstanta PID dari fungsi transfer *plant* yang telah didapatkan. Ditunjukkan pada tabel berikut untuk menghitung K_P , τ_i , τ_d :

Tabel 3.1 Tabel *Tunning Formula*

Controller Type	For step response		
	K_P	τ_i	τ_d
PID	$1.2/a$	$2L$	$L/2$

$$K = 0,378$$

$$L = \theta = 6,39s$$

$$T = \tau = 9,85s$$

$$a = \frac{KL}{T^2} \quad (3.15)$$

$$a = \frac{0,378 \cdot 6,39}{9,85^2}$$

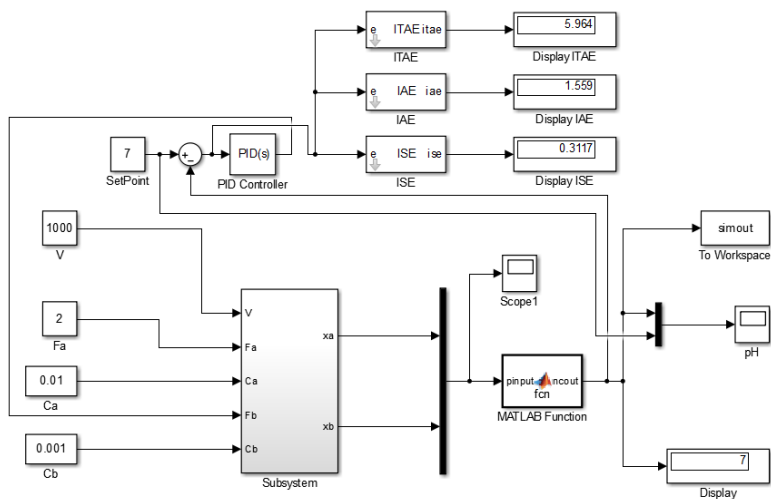
$$a = \frac{2,415}{97,022}$$

$$a = 0,024$$

$$K_P = 50; \quad \tau_i = 12,78; \quad \tau_d = 3,195$$

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. PID digunakan untuk mengontrol *plant* agar hasil keluaran pada *plant* sesuai dengan input. Pada gambar 3.4 juga menunjukkan simulasi dengan tambahan perhitungan ITAE, IAE, dan ISE.



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.

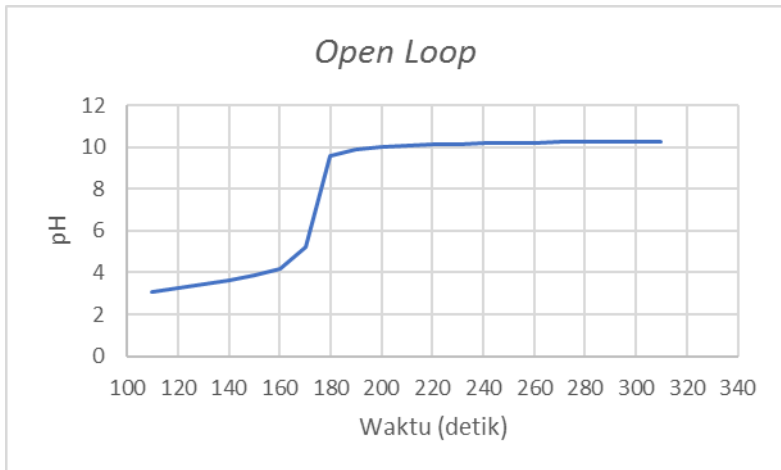
Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Data

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

4.1.1 Uji *Open Loop*



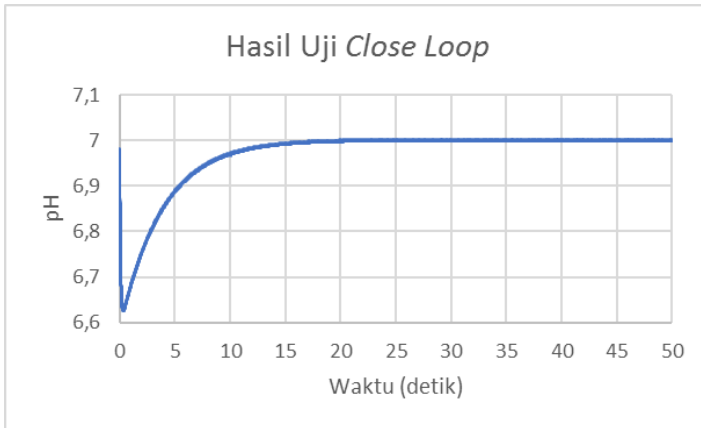
Gambar 4.1 Hasil uji *open loop*

Uji *open loop* bertujuan untuk mengetahui hasil respon pada *plant* sebelum diberi kontroler. Hasil respon yang didapatkan pada gambar 4.1 dari uji *plant* dapat diketahui bahwa nilai awal pada pH adalah sebesar 2,96 dan pH maksimal sebesar 10,26 dikarenakan asam kuat dan basa kuat memiliki konsentrasi

sebesar 0,01 dan 0,001 M. Hal ini menunjukkan bahwa untuk mencapai steady state dibutuhkan waktu 216 detik.

4.1.2 Uji *Close Loop*

Pada pengujian *close loop* ini dilakukan dengan kondisi kontroler PID yang telah terpasang. Diberikan set point pada kondisi pH netral yaitu 7.



Gambar 4.2 Hasil uji *close loop*

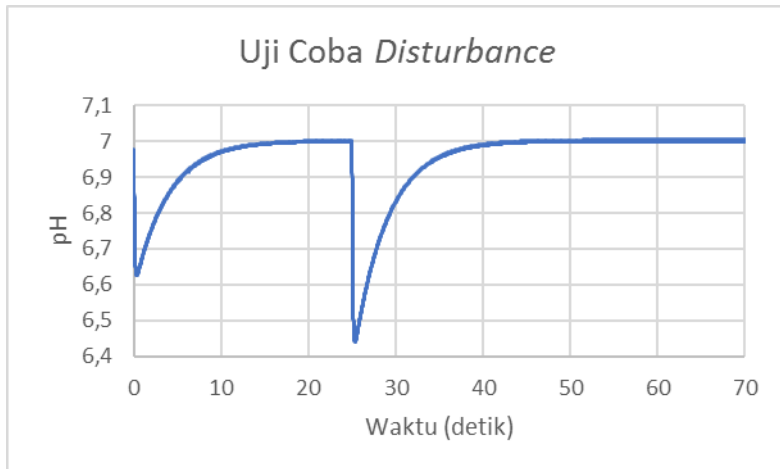
Dari gambar 4.2 dapat diketahui hasil respon yang telah diberi kontroler PID memiliki respon yang lebih cepat dengan waktu 18 detik untuk mencapai set point. Dari hasil respon menggunakan set point pH 7 pada sistem pengendalian pH didapatkan perbandingan nilai *overshoot*, *settling time*, *error steady state*, *integral absolute error*, dan nilai respon pH seperti berikut pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Respon *Close Loop*

Bagian yang diamati	Nilai
<i>Set point</i>	7
<i>Max Overshoot</i>	0 %
<i>Settling time</i>	18 s
<i>Error</i>	0 %
<i>IAE</i>	1,559

4.1.3 Uji Close Loop dengan *Disturbance*

Setelah pengujian *close loop* selanjutnya dilakukan variasi dengan menambahkan *disturbance* pada *Fa* (*Flow* asam) dengan memberi step 2 sampai 5 liter/detik pada detik ke 25. Didapatkan hasil seperti pada gambar 4.3

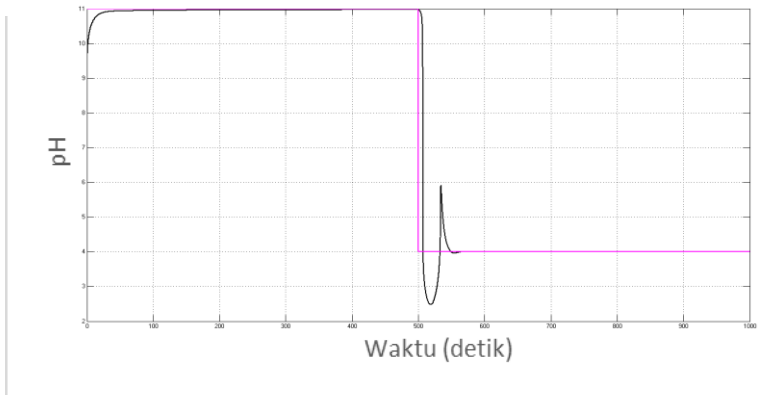


Gambar 4.3 Hasil uji *close loop* dengan *disturbance*

Dari gambar 4.3 dapat diketahui hasil respon dari *close loop* dengan *disturbance* dapat kembali menuju *steady state* dengan set point pH 7. Pada saat *disturbance* diberikan pada detik ke-25 pH turun menjadi 6,44 dan respon untuk kembali menuju *steady state* dibutuhkan waktu pada detik ke 25,38 sampai 52 (27 detik).

4.1.4 Uji Close Loop dengan Variasi *Set Point*

Setelah pengujian *close loop* selanjutnya dilakukan variasi dengan menambahkan *step* pada *set point* dengan memberi step set point pH 11 sampai 4 pada detik ke 500. Didapatkan hasil seperti pada gambar 4.4



Gambar 4.4 Hasil uji *close loop* dengan variasi *set point*

Dari gambar 4.4 dapat diketahui hasil respon dari *close loop* dengan variasi *set point* dapat kembali menuju *steady state* dengan set point awal pH 11 dan diakhir yang telah diatur pH 4. Pada saat disturbance diberikan pada detik ke-500 pH turun menjadi 2,6 dan respon untuk kembali menuju *steady state* dibutuhkan waktu pada detik ke 507 sampai 562 (55 detik).

4.2 Pembahasan

Perancangan model matematis dilakukan untuk mendapatkan model dinamik untuk plant, dimana plant disini adalah *Continuous Stirred Tank Reaction (CSTR)*. Terdapat dua larutan HCl dan NaOH dalam CSTR, asam kuat dan basa kuat. Setelah mengetahui pemodelan kemudian di uji dengan software Simulink di Matlab. Terdapat tiga hasil uji simulasi, yaitu *open loop*, *close loop*, dan *disturbance*. Untuk *open loop* didapatkan nilai awal pada pH adalah sebesar 2,96 dan pH maksimal sebesar 10,26 dikarenakan asam kuat dan basa kuat memiliki konsentrasi sebesar 0,01 dan 0,001 M, untuk mencapai *steady state* dibutuhkan waktu 216 detik. Yang kedua hasil uji *close loop* berguna untuk mengetahui *range* pengendalian pH serta melihat hasil dari *open loop* permodelan statik dan dinamik yang sudah sesuai dengan kurva titrasi sebelum ada pengendalian/kontroler.

Pada hasil uji *close loop*, set point ditentukan sesuai kebutuhan yaitu pH 7 atau netral. Dari hasil uji *close loop* tersebut diketahui bahwa set point mempunyai nilai *overshoot*, *settling time*, dan *error*. Pada hasil uji *close loop* tidak terjadi *overshoot* serta *error*. Dengan menggunakan kontrol PID waktu yang dibutuhkan untuk mencapai set point adalah 18 detik. Yang ketiga hasil uji coba *disturbance* pada *flow* larutan asam dengan step 2 sampai 5 liter/detik. Hasil uji coba *disturbance* menunjukkan dapat kembali menuju *steady state* saat pH turun dari 6,44 menuju set point dengan waktu 27 detik. Sehingga dapat disimpulkan bahwa sistem kontrol PID memiliki waktu yang cepat untuk mencapai set point melalui perbandingan hasil uji coba *open loop* dan *close loop* nya, juga pada uji *disturbance* nya.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari analisa data yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan bahwa perancangan sistem pengendalian pH pada CSTR (*Continuous Stirred-Tank Reactor*) yang dilakukan uji *close loop* dengan menggunakan kontrol PID waktu yang dibutuhkan untuk mencapai *set point* pH 7 (netral) *steady state* adalah 18 detik dimana tidak terjadi *overshoot* serta *error*.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah membandingkan dengan menggunakan metode sistem kontrol lainnya.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Cordova, H. 2007, **Analisa Simulasi H^+ pada Pengendalian Penetralan pH Larutan HCL-NaOH Menggunakan Metode Gabungan Elektronitas Non-Linear Statik dan Dinamika Reaksi Invarian**, Teknik Fisika, FTI, ITS.
- [2] Gustaffson, T. K. & Waller, K. V. 1983, *Dynamic Modelling and Reaction Invariant Control of pH, Department Of Chemical Engineering, Abo Akademi Finland.*
- [3] Kandulna, Ruben. 2015. *Design of PID Controller for FOPDT and IPDT System, Department of Electrical Engineering, National Institute of Technology, Rourkela.*
- [4] Nur Saadah, Novia. 2018. **Perancangan PID Sebagai Pengendali pH Berbasis Tuning IMC pada Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)**. Teknik Fisika, FTI, ITS.
- [5] Radhakrishnan, Vydianath R. *Wiener Type Model for pH Neutralization Process*. Department of Chemical Engineering University Technology Petronas 31750 Tronoh, Malaysia.
- [6] Richana, Nur, Tun Tedja Irawadi, dkk. 2007. **Ekstraksi Xilan Dari Tongkol Jagung**. Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Kampus Dramaga Bogor.
- [7] Ylen, J. P. 2001, *Measuring, Modeling, and Controlling the pH Value and the Dynamic Chemical State*, Helsinki University of Technology Control Engineering Laboratory.

LAMPIRAN

- Syntax MATLAB *function* pada *close loop*

```
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 bernama Adilah Daffadany Rabbani. dilahirkan di kota Gresik, 8 Januari 1995. Penulis menyelesaikan Taman Kanak-kanak pada tahun 2001 di TK Muslimat NU 2 Karangpoh, di Gresik. Sekolah Dasar pada tahun 2007 di SD NU 1 Trate Gresik, pada tahun 2010 penulis menamatkan SMP Negeri 1 Gresik, dan pada tahun 2013 penulis menamatkan sekolah menengah atas di SMA Negeri 1 Gresik. Penulis mempunyai minat terhadap bidang organisasi. Dari semenjak dibangku SMP hingga sekarang dibangku kuliah, penulis juga memiliki minat di bidang wirausaha, yang sampai saat ini masih berkembang, JOKOPI. 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 “PERANCANGAN SISTEM PENGENDALIAN PH PADA CSTR (*CONTINUOUS STIRRED-TANK REACTOR*) DENGAN METODE PID”. Bagi pembaca yang memiliki kritik, saran, atau ingin berdiskusi lebih lanjut mengenai tugas akhir ini, dapat menghubungi penulis melalui email daffadany@gmail.com.

