



TUGAS AKHIR TF181801

PERANCANGAN PENGENDALIAN PROSES PENETRANAN DERAJAT KEASAMAN pH PADA LARUTAN NUTRISI SISTEM HIDROPONIK MENGUNAKAN PENGENDALI PID

AHMAD MUZAKI ZUHAR
NRP. 02311240000115

Dosen Pembimbing
Hendra Cordova, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI dan REKAYASA SISTEM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2020

Halaman ini sengaja dikosongkan



TUGAS AKHIR - TF 181801

**PERANCANGAN PENGENDALIAN PROSES
PENETRANLAN DERAJAT KEASAMAN pH PADA
LARUTAN NUTRISI SISTEM HIDROPONIK
MENGUNAKAN PENGENDALI PID**

Ahmad Muzaki Zuhar
NRP. 0231124000115

Dosen Pembimbing:
Hendra Cordova, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

Halaman ini sengaja dikosongkan



FINAL PROJECT - TF 181801

***pH PROCESS NEUTRALIZATION CONTROL
DESIGN OF NUTRIENT SOLUTION IN
HYDROPONIC SYSTEM USING PID
CONTROLLER***

*Ahmad Muzaki Zuhar
NRP. 02311240000115*

*Supervisor:
Hendra Cordova, S.T., M.T.*

*DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS
Faculty of Industrial Technology and System Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020*

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Ahmad Muzaki Zuhar
NRP : 02311240000115
Departemen/Prodi : Teknik Fisika/S1 Teknik Fisika
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri dan
Rekayasa Sistem
Perguruan Tinggi : Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul **”(Perancangan Pengendalian Proses Penetralkan Derajat Keasaman pH Pada Larutan Nutrisi Sistem Hidroponik Menggunakan Pengendali PID)”** adalah benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari karya orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat pad Tugas Akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 24 Januari 2020

Yang membuat pernyataan,



Ahmad Muzaki Zuhar



Halaman ini sengaja dikosongkan

**LEMBAR PENGESAHAN
PERANCANGAN PENGENDALIAN PROSES
PENETRALAN DERAJAT KEASAMAN pH PADA
LARUTAN NUTRISI SISTEM HIDROPONIK
MENGUNAKAN PENGENDALI PID**

TUGAS AKHIR

Oleh:

Ahmad Muzaki Zuhar
NRP. 02311240000115

Surabaya, 24 Januari 2020
Mengetahui/Menyetujui,

Dosen Pembimbing,



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



Halaman ini sengaja dikosongkan

**PERANCANGAN PENGENDALIAN PROSES
PENETRALAN DERAJAT KEASAMAN pH PADA
LARUTAN NUTRISI SISTEM HIDROPONIK
MENGUNAKAN PENGENDALI 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 Dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh:

AHMAD MUZAKI ZUHAR

NRP. 02311240000115

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:


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


.....(Pembimbing I)

2. Totok Ruki Biyanto, Ph.D.


.....(Ketua Penguji)

3. Dyah Sawitri, S.T., M.T.


.....(Penguji I)

4. Erna Septyaningrum, S.T., M.T.


.....(Penguji II)

**SURABAYA
Januari 2020**

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERANCANGAN PENGENDALIAN PROSES PENETRALAN DERAJAT KEASAMAN pH PADA LARUTAN NUTRISI HIDROPONIK MENGGUNAKAN PENGENDALI PID

Nama : Ahmad Muzaki Zuhar
NRP : 02311240000115
Departemen : Teknik Fisika
Pembimbing 1 : Hendra Cordova, S.T.,M.T.

Abstrak

CSTR adalah unit tangki yang menjadi bejana proses penetralan pH antara aliran input *Kalium Dihydrogenphosphate* (KH_2PO_4) dan *Ammonium Nitrate* (NH_4NO_3) pada sistem hidroponik. pH merupakan variabel yang sangat penting untuk diperhatikan dan produk yang dihasilkan harus terjaga dalam kondisi pH asam. Melalui tugas akhir ini akan dibuat suatu rancangan sistem pengendalian pH yang menggunakan pengendali PID. Rancangan sistem pengendalian tersebut diharapkan mampu menjaga kestabilan pH dalam CSTR. Perancangan dimulai dengan pemrosesan data berupa laju aliran input asam fosfat dan ammonia. Data-data tersebut akan digunakan untuk pemodelan plant yaitu berupa model dinamik dan model statik. Model dinamik digunakan untuk menentukan nilai konsentrasi asam dan basa pada saat proses sedang berlangsung. Nilai konsentrasi asam dan basa yang telah didapat akan digunakan dalam model statik untuk menentukan nilai pH. Setelah rancangan sistem pengendalian pH terbentuk, akan dilakukan uji sistem closed loop dan open loop untuk mengetahui performansinya yang dapat diketahui dari beberapa nilai parameter kualitatif. Nilai parameter kualitatif yang didapatkan pada uji set point pH 6.2 adalah dead time, $t_d = 0$ detik; rise time, $t_r = 2.01$ detik; peak time, $t_p = 2.7$ detik; settling time, $t_s = 36$ detik; maximum overshoot, $M_p = 9\%$; dan error steady state, $e_{ss} = 0.0003\%$. Rancangan yang telah terbentuk memiliki beberapa kelebihan yaitu mampu mengatasi karakteristik pH yang non-linier dengan menggunakan kontroller yang linier serta mampu merespon set point yang diinginkan.

Kata Kunci: proses penetralan pH, *PID*, *CSTR*..

Halaman ini sengaja dikosongkan

DESIGN OF pH NEUTRALISATION PROCESS IN NUTRIENT SOLUTION USED IN NUTRIENT FILM TECHNIQUE HYDROPONIC USING PID CONTROLLER

Name : Ahmad Muzaki Zuhar
NRP : 02311240000115
Department : Engineering Physics FTI - ITS
Supervising Lecturer I : Hendra Cordova, S.T.,M.T.

Abstract

CSTR is a tank unit that process inputs Kalium Dihydrogenphosphate (KH_2PO_4) and Ammonium Nitrate (NH_4NO_3) in hydroponic system. pH is an important variable to be observed and the product should be in pH acid condition. Through this final project will be made a designing of pH control system using PID controller. Designing begins with processing stoichiometric data of fosfat acid and ammonia. That data will be used to model the plant consisting of dynamic model and static model. Dynamic model is used to determine the value of acid and base's concentration when the process goes on. The value of acid and base's concentration will be used to determine pH value using static model. After designing of pH control system, it will be tested in open loop and closed loop to show the performance through qualitative parameters. The value of qualitative parameters that are obtained in testing at a set point of pH 6.2 are: dead time, $t_d = 0$ second; rise time, $t_r = 2.01$ second; peak time, $t_p = 2.7$ second; settling time, $t_s = 36$ second; maximum overshoot, $M_p = 9\%$ and error steady state, $ess = 0.0003\%$. The designing that has been made has the capability to solve non-linear characteristics of pH with using a linear controller that is multimode PID controller and is also capable in response at set point that is set.

Keywords: pH neutralization process, PID, CSTR.

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Segala puji hanya milik Allah SWT yang memberikan kekuatan dan kemampuan kepada penulis dalam menjalani setiap langkahnya di dunia ini. Akhirnya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “”.

Penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada pihak yang telah berperan dalam penulisan ini, di antaranya:

1. Bapak Dr. Suyanto, S.T., M.T., selaku kepala Departemen Teknik Fisika FTIRS ITS.
2. Bapak Erna Septyaningrum selaku dosen wali penulis yang telah membimbing dengan sabar selama perkuliahan.
3. Bapak Totok Ruki Biyanto, Ph.D. selaku Ketua Penguji dan Kepala Laboratorium Rekayasa Instrumentasi dan Kontrol yang banyak memberikan inspirasi dan masukan dalam penelitian ini.
4. Bapak Hendra Cordova, selaku pembimbing tugas akhir yang banyak membantu dalam penelitian ini.
5. Orang tua dan keluarga yang terus mendukung penulis dalam mengerjakan tugas akhir ini
6. Teman-teman yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu yang telah menemani dan membantu pengerjaan tugas akhir ini.

Penulis telah berusaha semaksimal mungkin untuk mencapai kesempurnaan dalam penulisan ini. Namun, masih terdapat kesalahan dan kekurangan dalam laporan ini. Oleh karena itu, dengan tangan terbuka penulis mengharapkan kritik dan saran untuk kemajuan penulis.

Surabaya, 27 Desember 2019

Penulis.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL BAHASA INDONESIA	i
HALAMAN AWAL BAHASA INGGRIS	v
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 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Batasan Masalah	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Hidroponik.....	5
2.2 Nutrient Film Technique.....	7
2.3 Larutan Nutrisi	7
2.4 Teori Asam Basa.....	8
2.5 Reaksi Pencampuran Asam- Basa	14
2.7 Perhitungan analitik	16
2.8 Derajat Keasaman (pH).....	17
2.9 Pengendali PID	18
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	27
3.1 Pemodelan Statik dan Pemodelan Dinamik Titrasi Potassium Dihydrogen Phospate KH_2PO_4 dan Ammonium Nitrate NH_4NO_3	28
3.2 Pemodelan pH Transmitter.....	38
3.3 Pemodelan Control Valve.....	39
3.4 Simulasi Sistem	40
BAB IV HASIL PENGUJIAN DAN ANALISIS	45
4.1 Simulasi open loop.....	45
4.2 Simulasi Sistem Closed Loop.....	47
BAB V PENUTUP.....	54
5.1 Kesimpulan	54
DAFTAR PUSTAKA	56
BIODATA PENULIS.....	58

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Struktur sistem hidroponik tipe Ebb & Flow. (<i>Butler and Oebker, 2006</i>).....	6
Gambar 2.2. Struktur sistem hidroponik tipe NFT. (<i>Butler and Oebker, 2006</i>).....	7
Gambar 2.3 Sistem pengendali PID.....	22
Gambar 3.1 Diagram alir tugas akhir.....	27
Gambar 3.2 Plant <i>CSTR</i>	32
Gambar 3.3 <i>Flowchart</i> Sistem <i>Open Loop</i>	41
Gambar 3.4 <i>Flowchart</i> Sistem <i>Closed Loop</i>	43
Gambar 4.1 Grafik pH pada $q_a=0$ L/s dan $q_{b\text{buf}}=7$ L/s	Error!
Bookmark not defined.	
Gambar 4.2 Grafik pH pada $q_a=7$ L/s dan $q_{b\text{buf}}=7$ L/s	Error!
Bookmark not defined.	
Gambar 4.3 Grafik pH pada $q_a=14$ L/s dan $q_b=7$ L/s.....	47
Gambar 4.4 Sistem <i>Closed-Loop</i>	48
Gambar 4.5 Respon Sistem <i>Closed-Loop</i> pH 6.2	49
Gambar 4.6 <i>Error</i> Sistem Saat pH 6.2.....	50
Gambar 4.7 Sinyal Gangguan <i>Uniform Random Number</i> ± 1.5	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.8 Sinyal Gangguan <i>Uniform Random Number</i> ± 1.5	Error! Bookmark not defined.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Asam Kuat dan Asam Lemah	11
Tabel 2.2 Basa Kuat dan Basa Lemah	12
Tabel 2.3 Kekuatan Asam-Basa berdasar Harga K_a dan K_b	13
Tabel 4.1. Hasil Uji Performansi <i>Open Loop</i>	47
Tabel 4.2 Perancangan Parameter Pengendali PID	48

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Permasalahan yang dihadapi dunia saat ini adalah meningkatnya populasi manusia yang berakibat pada tingginya kebutuhan pangan. Diperkirakan pada tahun 2050, kebutuhan pangan meningkat 69% untuk 6.9 milyar penduduk dunia [1].. Untuk mencukupi kebutuhan pangan tersebut, telah dilakukan intensifikasi produksi pangan pada sektor agrikultur. Intensifikasi produksi berarti mengeksploitasi tanah dan air secara berlebihan yang telah berakibat pada degradasi tanah dan kelangkaan air [2].

Menurut Penelitian De. Rijck et al. Dari semua komposisi penyusun makro larutan nutrisi yang digunakan yaitu: ion Ka , Ca , Mg , H_2PO_4 , NH_4 , dan SO_4 , hanya H_2PO_4 dan NH_4 saja yang berpengaruh pada derajat keasaman pH [3] [4]. Pada Tugas akhir ini, penulis mencoba memodelkan proses penetralan pH yang melibatkan asam lemah dan buffer yang terkandung dari larutan nutrisi, yaitu: Ammonium Nitrat (NH_4NO_3), dan Potasium dihydrogenphosphate (KH_2PO_4) [5]. Besar Derajat keasaman pH ditentukan oleh konsentrasi mula mula dari 2 unsur di atas dan titik kesetimbangan dari kurva titrasi yang terjadi. Di samping itu pula, jurnal penelitian yang telah dilakukan mengenai larutan nutrisi hidroponik masih bersifat empiris dan eksperimental. Di sini penelitian yang akan dilakukan dimaksudkan untuk melakukan pendekatan secara teoritis.

Metode yang digunakan pada proses penetralan pH ini adalah menggunakan persamaan dinamik yang dicetuskan oleh Gustafsson and Waller [6]. Penelitian sebelumnya berhasil memodelkan sistem penetralan derajat keasaman pH yang melibatkan larutan $H_2SO_4-NH_3$ menggunakan reaksi invarian [7].

Sistem kontrol yang digunakan adalah sistem kontrol yang menggunakan *PID Controller*. Meskipun Kontroller PID merupakan kontroller konvensional, namun penerapannya masih banyak digunakan di dunia industri. Dalam perancangan, sistem kontrol harus mempertimbangkan faktor-faktor yang berkaitan

karena sistem kontrol yang dirancang harus dapat bertahan terhadap perubahan parameter tersebut. Sebagai akibatnya metode kontrol yang dapat diimplementasikan pada kondisi aktual harus memiliki ketegaran (robustness).

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, maka dapat ditarik rumusan masalah seperti berikut

- Bagaimana memodelkan plant CSTR hidroponik NFT dengan memanipulasi parameter flow input menjadi variabel pH sebagai variabel kontrol ?
- Bagaimana merancang suatu sistem penetralan pH, sehingga diharapkan dapat menghasilkan performansi kontrol yang optimal pada plant hidroponik NFT?

1.3 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah yang didapat maka tujuan dari penelitian ini adalah

- Mendapatkan model matematika pH terhadap penambahan larutan titrasi pada plant CSTR hidroponik NFT.
- Menerapkan rancangan model derajat keasaman tersebut pada sistem pengendalian derajat keasaman (pH).

1.4 Batasan Masalah

Untuk mencegah permasalahan dalam penelitian melebar maka penelitian diberi batasan sebagai berikut

- Model pencampuran dilakukan berdasarkan pada pemodelan matematika titrasi asam-basa reaksi invarian (Gustafsson and Waller, 1983).
- Sistem hidroponik yang digunakan adalah *Nutrient Film Technique*
- Model tangki reaksi yang digunakan adalah *Continous Stirrer Tank Reactor* (CSTR)

- Simulasi menggunakan perangkat lunak bantu *matlab R2015b*.
- Suhu, Volume tangki, dan Tekanan udara atmosfer diasumsikan konstan.
- Proses pencampuran dilakukan dengan gelas reaksi.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Hidroponik

Hidroponik berasal dari bahasa Yunani, yaitu: *Hydro* yang berarti air dan *ponos* yang berarti pekerjaan. Hidroponik adalah salah satu teknik bercocok tanam pada larutan nutrisi dengan atau tanpa medium inert seperti sekam padi, sabut kelapa, kerikil, atau media lain yang memberikan dukungan mekanik pada akar. Sejak dirintis pada tahun 1930, sistem hidroponik mengalami perkembangan sangat pesat di berbagai negara. Pada pertengahan tahun 1960-1970, penggunaan sistem hidroponik telah berkembang di beberapa negara, seperti: Abu Dhabi, Belgia, Denmark, Jerman, Iran, Italia, Jepang, dan Uni Soviet. Kebanyakan sistem hidroponik beroperasi secara otomatis dalam mengendalikan jumlah air, nutrisi, dan paparan matahari berdasarkan kebutuhan tanaman yang dibudidayakan.

Hidroponik adalah sebuah teknik budidaya tanaman di dalam larutan nutrisi dengan atau tanpa penggunaan media padat seperti rockwool, serbuk kayu, serabut kelapa, untuk memberikan kekuatan pada akar tanaman agar tidak roboh. Metode hidroponik ini lebih populer daripada metode pertanian tanpa tanah yang lainnya seperti aquaponik dan aeroponik karena pengelolaan sumber daya yang efisien dan hasil produksi yang lebih baik.

Pertumbuhan penduduk yang membludak dan revolusi industri yang berkembang pesat menyebabkan penurunan lahan bercocok tanam. Selain itu metode pertanian yang konvensional menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan. Diperlukan suatu metode yang efektif untuk memenuhi kebutuhan pangan bagi penduduk yang terus tumbuh. Metode budidaya cocok tanam menjadi solusi atas masalah swasembada pangan karena efisiensi penggunaan sumber daya dan jumlah hasil panen.

Sistem hidroponik sendiri mengenal beberapa macam struktur media budidayanya. Beberapa di antaranya yaitu [8]:

3 Wick System

Sistem hidroponik ini tidak membutuhkan pompa dan *aerator*. Tanaman budidaya tumbuh pada absorbent dan metode irigasinya melalui pembuluh kapilari.

4 Ebb and Flow System

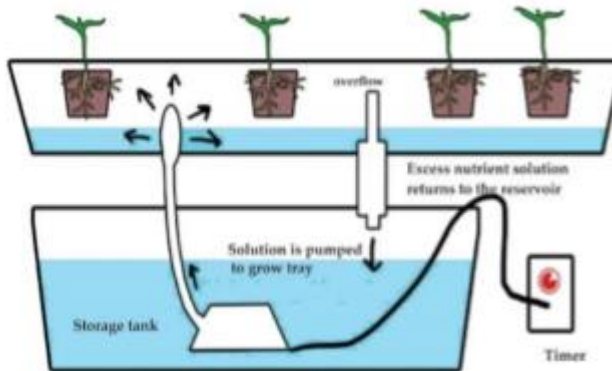
Sistem hidroponik ini bekerja dengan prinsip flooding. Pada dasarnya air dan larutan nutrisi membanjiri media tanam dan tanamannya sampai pada ketinggian tertentu dan dalam waktu tertentu. Namun sistem ini tidak cocok untuk tanaman dengan akar yang mudah membusuk selain pertumbuhan lumut dan ganggang yang tidak diinginkan.

5 Drip System

Sistem hidroponik ini menggunakan *absorbent* sebagai media tanam dan larutan nutrisi dijaga menetes secara pelan tiap kurun waktu tertentu.

6 Nutrient Film Technique

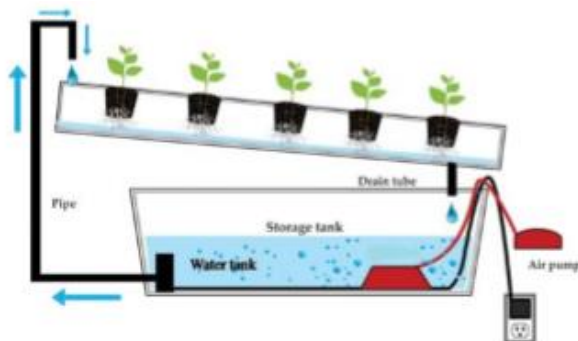
Sistem hidroponik ini memanfaatkan kemiringan media tanam sebanyak beberapa derajat untuk mengalirkan air melewati akar tanaman budidaya kembali ke penampungan air.



Gambar 2.1. struktur sistem hidroponik tipe Ebb & Flow. (De Rijck, 1998)

2.2 Nutrient Film Technique

Nutrient Film Technique adalah salah satu model sistem hidroponik yang dikembangkan oleh Dr. Alen Cooper pada pertengahan 1960 di Inggris. Sistem ini pada awalnya dirancang untuk mengatasi kekurangan pada sistem *Ebb and Flow*. Sistem ini menggunakan media tanam yang berbentuk kanal dan diposisikan miring terhadap sumbu datar. Larutan nutrisi dan air di sirkulasi terus menerus dari ujung kanal tinggi dan mengalir melewati akar tanaman dan kembali ke penampungan air. Meskipun tanaman pada model sistem ini rawan terkena serangan jamur karena akar yang terus menerus terendam air, penggunaan model ini umum digunakan khususnya untuk budidaya sayuran selada (*lettuce*).



Gambar 2.2. Struktur sistem hidroponik tipe NFT. (De Rijck, 1998)

2.3 Larutan Nutrisi

Larutan nutrisi untuk sistem hidroponik adalah larutan cair yang mempunyai kandungan ion anorganik esensial dan organik esensial dari garam yang dapat terlarut di dalam air. Tiap element esensial mempunyai peran physiological yang jelas dan ketidakteradaannya mencegah daur pertumbuhan tanaman yang sempurna. Pada saat ini, terdapat 17 elemen esensial yang dibutuhkan oleh hampir semua tanaman, yaitu: Karbon (C), Hydrogen (H), Oxygen (O), Nitrogen (N), fosfor (P), Potasium (K), Kalsium (Ca), Magnesium (Mg), Sulfur (S), Iron (I), Tembaga

(Cu), Seng (Z), Mangan (Mn), Molybdenum, Boron (Br), Chlorine (Cl) dan nikel (Salisbury and Ross, 1994).

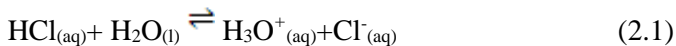
Hampir semua elemen esensial yang dibutuhkan tanaman didapatkan dari media tanam kecuali Karbon dan Oksigen. Elemen karbon dan oksigen didapatkan tanaman dari atmosfer melalui aktivitas fotosintesis.

2.4 Teori Asam Basa

Ada sejumlah ahli yang pernah membuat teori asam basa yaitu A.L. Lavoiser (Teori Oksigen), Sir H. Davy (Teori Hidrogen), J. Gay Lussac (Teori Penetralan), Arrhenius (Teori Sistem Ion Air), Bronsted-Lowry (Teori Sistem Donor/Akseptor Proton), Cady Esley (Teori Sistem Pelarut), Lux-Flood (Teori Sistem Donor/Akseptor Ion Oksida), Lewis (Teori Sistem Donor/Akseptor Pasangan Elektron), dan Usanovich (Teori Reaksi Kation-Anion). Sedangkan teori asam-basa yang mendasari dari pengerjaan Tugas Akhir ini adalah pada teori asam-basa yang dikembangkan oleh Arrhenius (Teori Sistem Ion Air) dan Bronsted-Lowry (Teori Sistem Donor/Akseptor Proton).

- Teori Asam-Basa Menurut Arrhenius

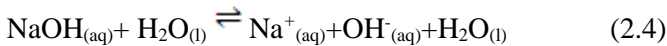
Arrhenius mengatakan bahwa sifat asam dan basa terjadi akibat adanya peristiwa pengionan dalam air pada senyawa-senyawa tertentu yang mengandung ion H^+ atau OH^- . Jika pada pengionan ini melepaskan ion H^+ maka dikatakan sebagai asam, yaitu pada senyawa-senyawa seperti HCl , H_2SO_4 , H_2CO_3 , H_3PO_4 . Sebagai contoh adalah pada proses pengionan asam kuat HCl yang dilarutkan ke dalam H_2O sebagai berikut:



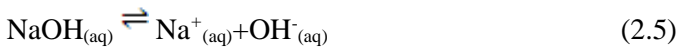
Dapat diketahui bahwa pada reaksi di atas terjadi pelepasan ion H^+ oleh HCl . Yang artinya adalah HCl merupakan senyawa asam karena pada proses pengionan ini HCl melepaskan ion H^+ . Reaksi ini juga dapat dituliskan sebagai berikut:



Kemudian untuk suatu senyawa dikatakan sebagai basa jika pada proses pengionan senyawa tersebut melepaskan ion OH^- , yaitu pada senyawa-senyawa seperti NaOH , KOH , $\text{Ba}(\text{OH})_2$, $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Sebagai contoh adalah pada proses pengionan senyawa basa kuat NaOH yang dilarutkan di dalam air sebagai berikut:

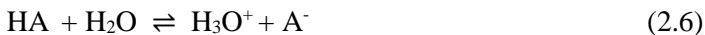


Dapat diketahui bahwa pada reaksi di atas terjadi pelepasan ion OH^- oleh NaOH . Yang artinya adalah NaOH merupakan senyawa basa karena melepaskan ion OH^- . Reaksi ini juga dapat dituliskan sebagai berikut:

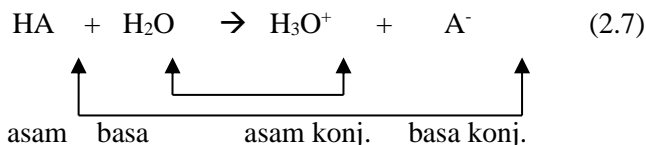


- Teori Asam-Basa Menurut Bronsted – Lowry

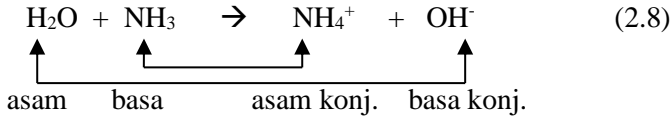
Teori Bronsted Lowry merupakan perluasan teori asam-basa oleh Arrhenius. Dalam teori ini pelarut diberikan peranan dalam menentukan sifat asam atau basa suatu zat. Dinyatakan bahwa asam adalah zat yang dapat memberikan proton (donor H^+) sedangkan basa adalah suatu zat yang dapat menerima proton (akseptor H^+). Bila suatu asam HA terlarut dalam air (H_2O), maka air bertindak sebagai basa karena dapat menerima proton H^+ yang dilepaskan asam HA dan membentuk ion terhidrasi (H_3O^+),



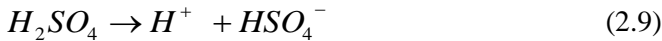
Berdasar Bronsted-Lowrey, maka pasangan konjugasi dari persamaan reaksi di atas secara diagramatik ditunjukkan sebagai berikut



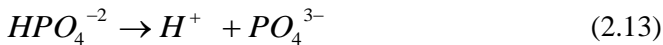
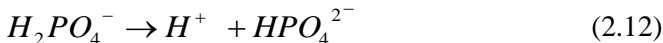
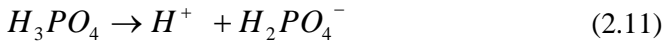
Sedangkan jika suatu basa NH_3 dilarutkan ke dalam air (H_2O), maka air tersebut akan bertindak sebagai asam karena perannya dalam pemberian H^+ kepada NH_4^+ .



Dari kedua teori asam-basa menurut Arrhenius dan Bronsted-Lowry, asam menghasilkan satu ion hidrogen per molekul bila terdisosiasi, asam-asam ini disebut asam berbasa satu (*monobasa*). Contoh dari asam berbasa satu adalah asam klorida (HCl). Sedang asam berbasa banyak (*polibasa*) berdisosiasi dalam beberapa tingkat dan menghasilkan lebih dari satu ion hidrogen per molekul. Asam sulfat (H_2SO_4) adalah contoh asam berbasa dua dan berdisosiasi dalam dua tingkat :



dengan menghasilkan ion hidrogen sulfat untuk tingkatan pertama dan ion sulfat untuk tingkatan yang kedua. Sedangkan asam fosfat adalah contoh asam berbasa tiga dan berdisosiasi dalam tiga tingkat :



dengan menghasilkan ion dihidrogen fosfat untuk tingkat pertama, ion hidrogen fosfat untuk tingkat kedua dan ion fosfat untuk tingkat ketiga ketiga.

Derajat disosiasi antara satu asam dengan asam lainnya berbeda-beda. Untuk asam kuat akan berdisosiasi hampir sempurna, karena ia merupakan elektrolit kuat. Sedangkan asam lemah berdisosiasi hanya sedikit atau sebagian saja, karena asam lemah merupakan elektrolit lemah. Tetapan kesetimbangan disosiasi K adalah hasil kali konsentrasi ion hasil penguraian per konsentrasi pembentuknya. Tetapan kesetimbangan K untuk

persamaan 2.4 adalah sama dengan tetapan kesetimbangan untuk asam K_a . Semakin kuat asam tersebut, semakin banyak berdisosiasi dan semakin besar pula nilai tetapan kesetimbangan disosiasi asam K_a -nya.

$$K_a = \frac{[H^+] \times [A^-]}{[HA]} \quad (2.14)$$

Beberapa contoh larutan asam kuat dan asam lemah dapat dilihat pada tabel 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

Basa didefinisikan sebagai zat yang bila dilarutkan dalam air akan mengalami disosiasi dengan membentuk ion hidroksil sebagai satu-satunya ion negatif. Sedangkan contoh larutan basa antara lain NaOH, KOH, NH₃ dan lain sebagainya. NaOH adalah suatu basa karena di dalam air dapat melepas *ion hidroksil* (OH⁻) menurut reaksi [9]:



Basa tidak memiliki tingkatan disosiasi seperti tingkatan disosiasi pada asam, karena larutan basa hanya menghasilkan satu ion hidroksil pada saat terdisosiasi. Basa kuat merupakan elektrolit kuat, sedang basa lemah merupakan elektrolit lemah. Tetapan kesetimbangan untuk reaksi di atas adalah sama dengan tetapan kesetimbangan basa K_b . Dapat dikatakan bahwa, semakin kuat basa tersebut, semakin baik ia berdisosiasi dan semakin besar pula nilai tetapan kesetimbangan disosiasi basa K_b -nya.

$$K_b = \frac{[B^+] \times [OH^-]}{[BOH]} \quad (2.16)$$

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

Tabel 2.2 Basa Kuat dan Basa Lemah

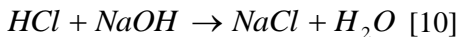
Basa Kuat	Basa Lemah
NaOH	NH ₃
KOH	N ₂ H ₄
Ca(OH) ₂	NH ₂ OH
Ba(OH) ₂	Al(OH) ₃

Asam kuat dan basa kuat di dalam larutannya akan mengalami ionisasi sempurna. Jadi harga K_a dan K_b menjadi besar dan kesetimbangan bergeser sepenuhnya ke arah hasil ionisasi. Jadi misalnya HCl dan NaOH, maka konsentrasi H^+ dan OH^- yang terdapat dalam larutan adalah sama dengan konsentrasi HCl atau NaOH. Sedangkan pada asam lemah dan basa lemah di dalam larutannya tidak mengalami ionisasi sempurna. Sehingga konsentrasi H^+ dan OH^- yang terdapat larutannya tidak sama dengan konsentrasi asam atau basanya, maka kemudian konsentrasi ion H^+ dan OH^- dapat ditentukan bila konstanta kesetimbangan atau derajat ionisasinya diketahui. Derajat disosiasi antara satu asam dengan asam lainnya berbeda-beda. Asam kuat berdisosiasi hampir sempurna, karena ia merupakan elektrolit kuat. Sedangkan asam lemah berdisosiasi hanya sedikit atau sebagian saja, karena asam lemah merupakan elektrolit lemah.

Tabel 2.3 Kekuatan Asam-Basa berdasar Harga K_a dan K_b

Kesetimbangan Asam (K_a)	Kesetimbangan Basa (K_b)
<i>K_a makin besar berarti kesetimbangan bergeser kearah kanan, dan hasil ionisasinya besar (asam kuat)</i>	<i>K_b makin besar berarti kesetimbangan bergeser kearah kanan, dan hasil ionisasinya besar (basa kuat)</i>
<i>K_a makin kecil berarti kesetimbangan bergeser kearah kiri, dan hasil ionisasinya kecil (asam lemah)</i>	<i>K_b makin kecil berarti kesetimbangan bergeser kearah kiri, dan hasil ionisasinya kecil (basa lemah)</i>

Jika asam dan basa direaksikan maka akan menghasilkan zat yang bersifat garam. Garam merupakan zat hasil reaksi netralisasi yang ekuivalen dan tidak mempunyai ciri-ciri seperti asam maupun basa.



(2.17)

asam basa garam air

Air (H_2O) adalah larutan yang bersifat netral, yakni berada diantara sifat asam dan sifat basa. Reaksi kesetimbangan disosiasi air adalah :



Air memiliki nilai tetapan kesetimbangan yang kecil, yakni sekitar $1,82 \times 10^{-16}$ pada $25^\circ C$. Hal ini menunjukkan bahwa derajat disosiasi air boleh diabaikan dan dalam praktek dapat dianggap tak terdisosiasi. Jadi konsentrasi air dapat dianggap konstan.

$$K = \frac{[H^+] \times [OH^-]}{[H_2O]} \quad \text{dan} \quad K_w = [H^+] \times [OH^-] = 10^{-14}$$

(2.19)

Pada dasarnya skala/tingkat keasaman suatu larutan bergantung pada konsentrasi ion H^+ dalam larutan. Makin besar konsentrasi ion H^+ makin asam larutan tersebut. Umumnya konsentrasi ion H^+ sangat kecil, sehingga untuk menyederhanakan penulisan, seorang kimiawan dari Denmark bernama Sorrensen mengusulkan konsep pH untuk menyatakan konsentrasi ion H^+ . Nilai pH sama dengan negatif logaritma konsentrasi ion H^+ dan secara matematika diungkapkan dengan persamaan:

$$pH = -\log[H^+] \text{ dan } pOH = -\log[OH^-] \quad (2.20)$$

larutan asam mempunyai $pH < 7$, basa mempunyai $pH > 7$, dan larutan netral mempunyai $pH = 7$, dengan $[H^+] = [OH^-] = 10^{-7}$.

2.5 Reaksi Pencampuran Asam- Basa

Secara garis besar model pH terbagi menjadi dua yaitu, model dinamik dan statik (dapat dianalogikan dengan teoritis dan eksperimen). Beberapa literatur mengenal dengan model Wiener. Terdapat dua peneliti utama sebagai rujukan dari model ini yaitu [Mc. Avoy] yang memperkenalkan pendekatan fisika-kimia dan [Gustafsson and Waller] memformulasikan reaksi invarian untuk pendekatan fisika-kimia tersebut. Terminologi “reaction invariant” atau raksi invariant pertama kali diperkenalkan oleh [Fjeld], tetapi formulasinya untuk proses pH diperkenalkan oleh Gustafsson and Waller sebagai sebuah formulasi matrik dari pemodelan fisika-kimia (physico-chemical). Stokiometri dari reaksi kimia dan kesetimbangan muatan digunakan secara serempak untuk membentuk persamaan reaksi invariant secara aljabar sederhana.

Keseimbangan kimia dimodelkan dengan menggunakan konsep dari reaksi *invariant* (Gustafsson and Waller, 1983). Pada sistem ini, dua reaksi *invariant* yang melibatkan semua aliran *input* adalah:

$$W_{ai} = [H^+]_i - [OH^-]_i - [HCO_3^-]_i - 2[CO_3^{2-}]_i \quad (2.21)$$

$$W_{bi} = [H_2CO_3]_i + [HCO_3^-]_i + [CO_3^{2-}]_i \quad (2.22)$$

Dimana $i = 1 - 3$ adalah jumlah input output yang terdapat pada plant CSTR.

Dengan W_a adalah istilah invariant untuk jumlah charge-related dan W_b adalah konsentrasi dari ion karbonat. Invariant ini tidak terikat (bebas) pada tingkat reaksi. Suatu hubungan antara konsentrasi ion hydrogen dengan reaksi invariant dapat ditulis dengan persamaan :

$$W_{bi} \frac{\frac{K_{a1}}{[H^+]} + 2 \frac{K_{a1} \cdot K_{a2}}{[H^+]^2}}{1 + \frac{K_{a1}}{[H^+]} + \frac{K_{a1} \cdot K_{a2}}{[H^+]^2}} + W_{ai} + \frac{K_w}{[H^+]} - [H^+] = 0 \quad (2.23)$$

Sebenarnya, nilai pH tidak dapat didefinisikan sebagai konsentrasi ion hidrogen tetapi sebagai aktivitas ion. Namun, hal ini dapat diasumsikan bahwa aktivitas ion adalah sama dengan konsentrasi ion pada larutan yang tidak terbatas (terus mengalir). Sehingga, nilai pH dapat ditentukan menggunakan persamaan di atas dan negative logaritma dari konsentrasi ion hydrogen jika W_{ai} dan W_{bi} diketahui.

$$pH = -\log[H^+] \quad (2.24)$$

Kemudian, model dinamik proses penetralan pH dapat diturunkan dari komponen material *balance* untuk reaksi *invariant*, sebagai berikut :

$$V \frac{dW_{a4}}{dt} = q_1(W_{a1} - W_{a4}) - q_2(W_{a2} - W_{a4}) - q_3(W_{a3} - W_{a4}) \quad (2.25)$$

$$V \frac{dW_{b4}}{dt} = q_1(W_{b1} - W_{b4}) - q_2(W_{b2} - W_{b4}) - q_3(W_{b3} - W_{b4}) \quad (2.26)$$

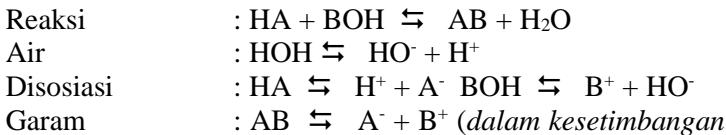
Pada model di atas, jelas bahwa dapat diasumsikan semua *flow rate* dari aliran *input* dan konsentrasi basa diketahui karena

aliran *input* dikendalikan oleh pompa dan aliran titrasi disediakan seperlunya.

2.6 Perhitungan analitik

Metode Analitik untuk menentukan kualitas dan kuantitas ion dalam suatu larutan diperlukan untuk mempermudah persoalan otomasi. Fokus beberapa peneliti saat ini adalah melakukan pemodelan secara numerik untuk titrasi asam-basa. Proses titrasi sendiri dapat ditinjau melalui pengukuran beberapa properti larutan yaitu, masa, intensitas arus, regangan, volume atau sifat-sifat yang sedikit kompleks seperti daya serap dan panas reaksi. Cara termudah untuk menyelesaikan metode kuantitatif secara analitik dari larutan asam adalah mengetahui penetralan. Proses analisisnya dengan menentukan harga pH terhadap penambahan larutan titrasinya. Biasanya asam dan basa kuat digunakan (ditambahkan) dalam prose penetralan, akan tetapi hamper sebagian besar dari operasi biokimia menggunakan asam dan basa lemah. Penggunaan reaksi invariant diperlukan untuk menghitung nilai pH atau mencari model prosesnya terhadap penambahan pelarut (titrasi) yang terlibat dalam reaksi.

Misalkan diulangi lagi sebuah titrasi asam (HA) oleh basa lemah (BOH) dinyatakan dengan beberapa persamaan reaksi [11]:



Titrasi dimulai dengan menambahkan sejumlah basa kedalam larutan asam. Larutan yang terjadi adalah H^+ , HO^- , HA and A. Dari disosiasi larutan asam persamaan di atas, maka dihasilkan :

$$[H^+] \cdot [A^-] = K_a \cdot [HA] \qquad [H^+] \cdot [HO^-] = K_w \qquad (2.27)$$

dengan $[.]$ adalah operator konsentrasi molar. Jika diaplikasikan kesetimbangan masa untuk asam dan garam pada reaksi di atas maka dihasilkan :

$$Ca = [HA] + [H^+] - [HO^-] \quad Cs = [A^-] - [H^+] + [HO^-] \quad (2.28)$$

Dengan Ca , Cs adalah konsentrasi asam dan garam secara analitik, kemudian substitusi (2.27) ke (2.28) akan diperoleh persamaan polynomial orde 3 dalam H^+ ($=x$),

$$x^3 + (Ka+Cs)*x^2 - (Kw+Cx*Ka)*x - Kw*Ka = 0 \quad (2.29)$$

dengan $x = [H^+]$.

2.7 Derajat Keasaman (pH)

Teori pH pertama kali dikemukakan oleh *Sorensen* (1909) untuk menyatakan konsentrasi ion H^+ . pada beberapa analisis kimia, sering kali ditemui konsentrasi ion hidrogen yang rendah. Konsep pH dari *Sorensen* ini digunakan untuk menghindari kerumitan menuliskan angka dengan faktor 10 berpangkat negatif. Sehingga pH didefinisikan sebagai:

$$pH = -\log[H^+] = \log \left[\frac{1}{[H^+]} \right] \quad (2.30)$$

Terkadang juga digunakan istilah pOH untuk eksponen ion hidroksil yang secara matematis dituliskan sebagai berikut.

$$pOH = -\log[OH^-] = \log \left[\frac{1}{[OH^-]} \right] \quad (2.31)$$

Nilai pH bervariasi antara 1 sampai 14. Nilai ini akan menunjukkan sifat dari zat. Hubungan nilai pH dan sifat zat pada saat temperature 25°C adalah

pH < 7 asam,
 pH = 7 netral,
 pH > 7 basa,

dengan $[H^+] = [OH^-] = 10^{-7}$. Dari definisi tersebut maka asam, basa dan netral dapat didefinisikan menjadi:

$H^+ > OH^-$ asam

$H^+ = OH^-$ netral

$H^+ < OH^-$ basa

2.8 Pengendali PID

Dalam sistem pengendalian ada banyak aksi pengendali diantaranya pengendali Proportional (P), Integral (I), dan Differensial (D), atau gabungan dari ketiga pengendalian tersebut. Aksi pengendalian yang dipakai dalam sistem pengendalian dapat ditentukan dari respon sistem pada saat diberi masukan. [Gunterus, 1994]

- Pengendali Proportional (P)

Kontroler proposional memiliki keluaran yang sebanding/proposional dengan besarnya sinyal kesalahan (selisih antara besaran yang diinginkan dengan harga aktualnya). Secara lebih sederhana dapat dikatakan, bahwa keluaran kontroler proposional merupakan perkalian antara konstanta proporsional dengan masukannya. Perubahan pada sinyal masukan akan segera menyebabkan sistem secara langsung mengubah keluarannya sebesar konstanta pengalinya. Bentuk *transfer function* dari kontrol P adalah

$$U = K_c \cdot e \quad (2.32)$$

Dimana, K_c = gain kontrol proporsional

Nilai dari K_c bisa berupa bilangan pecahan, positif atau berharga negatif. Besarnya tetap, linear di semua daerah kerja dan tidak tergantung pada fungsi waktu. Dalam praktek, istilah *gain* jarang dipakai dan yang lazim adalah istilah *proportional band (PB)*, dimana [Gunterus, 1994]

$$K_c = \frac{100\%}{PB} \quad (2.33)$$

Jadi, apabila PB sama dengan 50% maka gain sama dengan 2 jika PB sama dengan 100%, gain tepat sama dengan 1. Karena PB berbanding terbalik terhadap gain, maka kalau PB semakin besar, gain akan semakin kecil. Kedua besaran begitu penting karena memberikan pengaruh langsung pada kestabilan sistem. Beberapa karakteristik pengendali Proporsional :

- a. Overshoot tinggi
- b. Waktu penetapan besar
- c. Periode osilasi sedang
- d. Adanya offset/droop/steady-state error: beda antara setpoint dan control point (harga controlled variable pada kesetimbangan baru); offset terjadi karena aksi control proporsional dengan *error*.
- e. Gainnya: $K_c \Rightarrow$ sangat mempengaruhi error, makin besar K_c makin kecil offsetnya, meski ada harga K_c maksimum.

- Pengendali Integral (I)

Kontroller integral berfungsi menghasilkan respon sistem yang memiliki kesalahan keadaan mantap nol. Kalau sebuah plant tidak memiliki unsur integrator ($1/s$), kontroller proporsional tidak akan mampu menjamin keluaran sistem dengan kesalahan keadaan mantapnya nol. Dengan kontroller integral, respon sistem dapat diperbaiki, yaitu mempunyai kesalahan keadaan mantapnya nol.

Kontroler integral memiliki karakteristik seperti halnya sebuah integral. Keluaran kontroller sangat dipengaruhi oleh perubahan yang sebanding dengan nilai sinyal kesalahan. Keluaran kontroler ini merupakan jumlahan yang terus menerus dari perubahan masukannya. Kalau sinyal kesalahan tidak mengalami perubahan, keluaran akan menjaga keadaan seperti sebelum terjadinya perubahan masukan.

Kontrol Integral digunakan untuk menghilangkan *offset* yang terjadi pada kontrol *proportional*. Jika dilihat dengan lebih seksama, *offset* dapat terjadi pada sistem pengendalian proporsional, karena kontrol proporsional selalu membutuhkan *error* (sebagai input ke unit *control*) untuk menghasilkan suatu *output*. Jika tidak ada *error*, *output* yang keluar dari pengendali

proporsional adalah *bias* yang besarnya dapat dipasang 50%. *Transfer function* dari unit kontrol integral sebagai berikut :

$$U = \frac{1}{T_I} K_c \int e \cdot dt \quad (2.34)$$

dimana, T_I = integral time
 e = *error* (input dari unit *control*)
 K_c = gain dari *controller*

Kontrol integral memiliki *response* yang lambat sehingga membutuhkan waktu dalam menghasilkan *output*. Oleh karena itu, kontrol integral dipasangkan bersama dengan kontrol proporsional yang sering disebut kontrol *PI*. Kontrol *PI* dapat mengurangi offset dan menghasilkan *response* yang lebih cepat pada sistem pengendalian.

Besarnya *integral time* (T_I) dinyatakan dalam satuan *minute/repeat*. Artinya, sebuah pengendali integral dengan $K_c = 1$, dikatakan mempunyai *integral time 2 minute/repeat* apabila pengendali memerlukan 2 menit untuk mencapai *output* sama dengan *input*. Unsur yang diperhatikan dalam hal ini adalah unsur waktu, dimana pola T_I sama dengan *PB* yaitu reaksi pengendali akan semakin cepat atau pengendali semakin reaktif jika nilai *repeat/minute* kecil dan reaksi pengendali semakin lambat atau kurang reaktif jika nilai *repeat/minute* besar. Kontroler integral mempunyai beberapa karakteristik berikut ini:

- a. Keluaran kontroler membutuhkan selang waktu tertentu, sehingga kontroler integral cenderung memperlambat respon.
- b. Ketika sinyal kesalahan berharga nol, keluaran kontroler akan bertahan pada nilai sebelumnya.
- c. Jika sinyal kesalahan tidak berharga nol, keluaran akan menunjukkan kenaikan atau penurunan yang dipengaruhi oleh besarnya sinyal kesalahan dan nilai K_i .

Konstanta integral K_i yang berharga besar akan mempercepat hilangnya offset. Tetapi semakin besar nilai konstanta K_i akan mengakibatkan peningkatan osilasi dari sinyal keluaran kontroler.

- Pengendali Differensial (D)

Keluaran kontroler diferensial memiliki sifat seperti halnya suatu operasi derivatif. Perubahan yang mendadak pada masukan kontroler, akan mengakibatkan perubahan yang sangat besar dan cepat. Output kontrol D merupakan diferensial dari fungsi input. *Transfer function* dari kontrol *derivative* adalah sebagai berikut :

$$U = K_c T_D \frac{de}{dt} \quad (2.35)$$

dimana, K_C = gain

e = error

T_D = derivative time

Unit pengendali *derivative* yang bersifat reaktif sangat tepat bagi pengendalian temperatur karena mampu bereaksi secara cepat terhadap perubahan *input*. Sebaliknya kontrol D tidak dapat dipakai untuk *process variable* yang beriak (mengandung *noise*) seperti pengendalian *level* dan *flow*, karena riak dan gelombang akan dideferensialkan menjadi pulsa-pulsa yang tidak beraturan. Akibatnya, *control valve* terbuka dan tertutup secara tidak beraturan dan sistem menjadi kacau.

Selain itu, kontrol D tidak dapat mengeluarkan *output* bila tidak ada perubahan *input*. Sehingga, kontrol D tidak pernah dipakai sendirian. Unit kontrol D selalu dipakai dalam kombinasinya dengan P dan I , menjadi kontrol PD atau kontrol PID . Karakteristik kontroler diferensial adalah sebagai berikut:

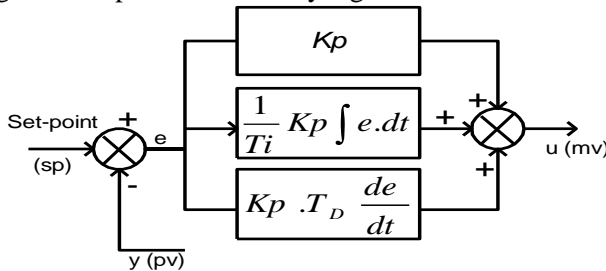
- Kontroler ini tidak dapat menghasilkan keluaran bila tidak ada perubahan pada masukannya (berupa sinyal kesalahan).
- Jika sinyal kesalahan berubah terhadap waktu, maka keluaran yang dihasilkan kontroler tergantung pada nilai T_d dan laju perubahan sinyal kesalahan.
- Kontroler diferensial mempunyai suatu karakter untuk mendahului, sehingga kontroler ini dapat menghasilkan koreksi yang signifikan sebelum pembangkit kesalahan

menjadi sangat besar. Jadi kontroler diferensial dapat mengantisipasi pembangkit kesalahan, memberikan aksi yang bersifat korektif, dan cenderung meningkatkan stabilitas sistem.

Berdasarkan karakteristik kontroler tersebut, kontroler diferensial umumnya dipakai untuk mempercepat respon awal suatu sistem, tetapi tidak memperkecil kesalahan pada keadaan tunaknya. Kerja kontroler diferensial hanyalah efektif pada lingkup yang sempit, yaitu pada periode peralihan. Oleh sebab itu kontroler diferensial tidak pernah digunakan tanpa ada kontroler lain sebuah sistem.

- Pengendali PID

Setiap kekurangan dan kelebihan dari masing-masing kontroler P, I dan D dapat saling menutupi dengan menggabungkan ketiganya secara paralel menjadi kontroler proposional plus integral plus diferensial (kontroler PID). Elemen-elemen kontroler P, I dan D masing-masing secara keseluruhan bertujuan untuk mempercepat reaksi sebuah sistem, menghilangkan offset dan menghasilkan perubahan awal yang besar.



Gambar 2.3 sistem pengendali PID

Aksi kontrol $U(t)$ PID mempunyai persamaan kontroler sebagai berikut :

$$U(t) = K_c \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right] \quad (2.36)$$

dimana,

$U(t)$ = sinyal kontrol

$e(t)$ = error

K_c = gain controller

T_i = integral time

T_d = derivative time

dalam bentuk Transformasi Laplace diperoleh,

$$G_C(S) = \frac{U(s)}{e(s)} = K + \frac{K_i}{s} + K_d s \quad (2.37)$$

Karakteristik controller PID sangat dipengaruhi oleh kontribusi besaran dari ketiga parameter P,I, dan D. Setting konstanta K_p , T_i , dan T_d akan mengakibatkan penonjolan sifat dari masing-masing elemen. Pengaruh K_p , T_i , dan T_d dalam respon sistem adalah :

- a. K_p yang kecil akan membuat pengendali menjadi sensitif dan cenderung membawa loop sistem berosilasi, sedangkan K_p yang besar akan meninggalkan offset yang besar juga.
- b. T_i yang kecil bermanfaat untuk menghilangkan offset tetapi juga cenderung membawa sistem menjadi lebih sensitif dan mudah berosilasi, sedangkan T_i yang besar belum tentu efektif menghilangkan offset dan juga cenderung membuat sistem menjadi lambat.
- c. T_d yang besar akan membawa unsur D menjadi lebih menonjol sehingga respon cenderung cepat, sedangkan T_d yang kecil kurang memberi nilai ekstra pada saat-saat awal bekerja.

Pemakaian mode kontrol baik P-only, PI, maupun PID disesuaikan dengan kebutuhan dan karakteristik dari proses yang dikendalikan. Mode kontrol P-only digunakan apabila adanya offset masih dapat ditolelir oleh proses. Apabila tidak, maka mode kontrol PI digunakan untuk memperbaiki performansi sistem tersebut. Mode kontrol PID digunakan pada sistem pengendalian yang memiliki karakteristik pengendalian yang lambat seperti

pengendalian teperatur. Untuk mendapatkan performansi yang optimal pada algoritma kontrol PID pada berbagai perubahan daerah operasi, disturbance, dan sesuai dengan kebutuhan proses maka perlu dilakukan penalaan terhadap nilai dari masing-masing parameter kontrol PID (K_p , T_i , T_d).

- Parameter Kualitatif respon Sistem

Dalam perancangan sistem pengendalian, maka diperlukan suatu pengujian yang kemudian di analisa untuk mengetahui performansi dari perancangan yang dibuat. Pengujian rancangan sistem pengendalaian dilakukan pada sistem *closed-loop* dengan *setpoint* yang telah ditentukan. Untuk mengetahui performansi sistem pengendalian yang telah dirancang, dilakukan dengan mencari beberapa parameter kualitatif diantaranya adalah sebagai berikut :

- a. *Delay Time (T_d)*

Delay time adalah waktu yang diperlukan respon untuk mencapai setengah harga akhir yang pertama kali.

- b. *Rise Time (T_r)*

Rise time adalah waktu yang diperlukan respon (tanggapan sistem) untuk mencapai harga antara 10% sampai 90% dari *setpoint* yang telah ditentukan.

- c. *Peak Time (T_p)*

Peak time adalah waktu yang diperlukan respon untuk mencapai puncak lewatn yang pertama kali.

- d. *Maximum Overshoot (M_p)*

Maximum Overshoot merupakan prosentase maksimum nilai puncak terhadap nilai *setpoint*.

$$M_p = \frac{C(t_p) - C(\infty)}{C(\infty)} \quad (2.38)$$

Dimana,

$C(t_p)$: output respon pada waktu puncak (t_p)

$C(\infty)$: output respon pada saat tak terhingga.

- e. *Settling Time (T_s)*

Settling Time adalah waktu yang diperlukan respon untuk mencapai harga dalam kisaran nilai *setpoint* yang disederhanakan dengan persentase mutlak harga *setpoint* (2% atau 5%).

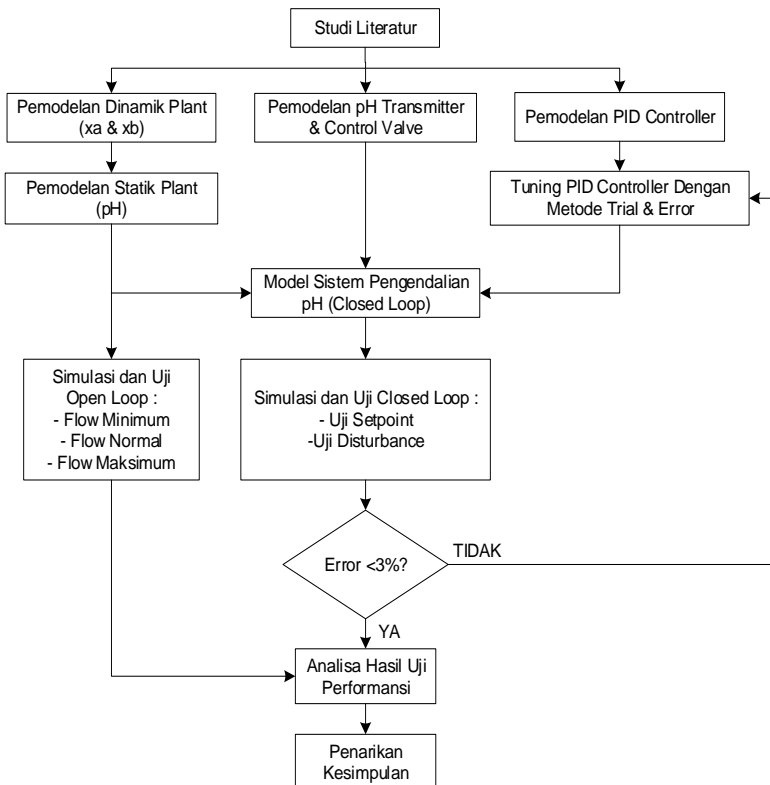
f. *Error Steady State (Ess)*

Error Steady State atau kesalahan tunak merupakan selisih antara *setpoint* dengan nilai akhir pada keadaan tunak.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian tugas akhir ini dilaksanakan berdasarkan langkah-langkah yang sistematis seperti yang ditunjukkan pada diagram alir di bawah ini:



Gambar 3.1 Diagram alir tugas akhir

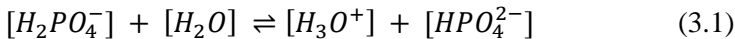
3.1 Pemodelan Statik dan Pemodelan Dinamik Titrasi *Potassium Dihydrogen Phosphate* KH_2PO_4 dan *Ammonium Nitrate* NH_4NO_3 .

Diketahui dari unsur unsur makro yang terdapat pada larutan AB mix, hanya ion *dihydrogen phosphate* dan *ammonia* yang mempengaruhi pH air irigasi sistem hidroponik. Maka pada pemodelan dinamik dan statik pada proses titrasi ini dilakukan penyelesaian persamaan dinamika kesetimbangan massa, kesetimbangan muatan dan kinetika kimia reaksi antara dua larutan kimia. Asumsi yang digunakan dalam pemodelan adalah larutan tercampur sempurna, volume tangki konstan, serta temperatur ruangan dan larutan berada dalam suhu kamar (25°C atau 298 K).

3.1.1 Pembuatan larutan *potassium dihydrogen phosphate*.

Ketika padatan garam *potassium dihydrogen phosphate* dilarutkan di dalam air, persamaan reaksi kimia disosiasi asam dan hidrolisis yang terjadi digambarkan sebagaimana berikut ini:

a. Reaksi disosiasi asam:

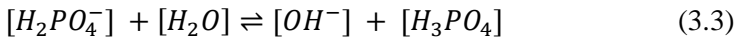


Dengan nilai K_a dari reaksi di atas adalah:

$$K_{a2} = \frac{[H_3O^+][HPO_4^{2-}]}{[H_2PO_4^-]} = 10^{-7.2} \quad (3.2)$$

Pada reaksi disosiasi asam, larutan $H_2PO_4^-$ bereaksi dengan air dengan melepaskan satu ion hidrogen dan membentuk basa konjugasi HPO_4^{2-} . Reaksi ini menaikkan konsentrasi ion hidrogen yang berimbang menaikkan nilai pH.

b. Reaksi hidrolisis



Dengan nilai K_b dari reaksi di atas adalah:

$$K_b = \frac{k_w}{k_{a1}} = \frac{[OH^-][H_3PO_4]}{[H_2PO_4^-]} = 10^{-11.8} \quad (3.4)$$

Pada reaksi hidrolisis, larutan $H_2PO_4^-$ bereaksi dengan air dengan mengambil ion hidrogen membentuk asam konjugasi H_3PO_4 .

Reaksi ini menaikkan konsentrasi ion hidroksida yang berimbans menurunkan nilai pH.

Mengacu pada stokiometri reaksi kimia, kesetimbangan massa dan kesetimbangan muatan yang terbentuk adalah sebagai berikut:

Kesetimbangan massa:

$$[KH_2PO_4] = [HPO_4^{2-}] + [H_2PO_4^-] + [H_3PO_4] \quad (3.5)$$

Kesetimbangan muatan:

$$[K^+] [H_3O^+] = 2[HPO_4^{2-}] + [H_2PO_4^-] + [OH^-] \quad (3.6)$$

Ion Potassium K^+ merupakan salah satu unsur makro dalam larutan AB mix, namun dianggap tidak mempengaruhi nilai pH larutan AB mix. Sehingga konsentrasi Ion Potassium K^+ dapat disetarakan dengan konsentrasi KH_2PO_4 agar memudahkan perhitungan stokiometri. Sehingga persamaan diatas dapat disederhanakan menjadi:

$$[H_3O^+] - [OH^-] = [HPO_4^{2-}] - [H_3PO_4] \quad (3.7)$$

Persamaan di atas menunjukkan hubungan ion hidrogen yang terbentuk relatif terhadap terdapat ion hidroksida yang terdapat didalam larutan. Hubungan ini dapat dihitung melalui konsentrasi HPO_4^{2-} yang terbentuk relatif terhadap konsentrasi H_3PO_4 .

Konsentrasi ion hidrogen dan ion hidroksida dapat disederhanakan menggunakan persamaan berikut

$$k_w = [H_3O^+] [OH^-] = 10^{-14} \quad (3.8)$$

Pada aliran input q_1 plant CSTR garam KH_2PO_4 dengan massa 1,36 gram dilarutkan ke dalam 1000 ml air untuk mendapatkan larutan KH_2PO_4 dengan konsentrasi 0.01 Molar. Dengan meninjau kembali persamaan 3.2 di atas, konsentrasi HPO_4^{2-} dapat dihitung sebagai berikut:

$$[HPO_4^{2-}][H_3O^+] = K_{a2}[H_2PO_4^-] \quad (3.9)$$

Konsentrasi $[H_3O^+]$ yang terbentuk sama dengan konsentrasi $[HPO_4^{2-}]$ yang muncul dari reaksi disosiasi asam, sehingga bisa didapatkan bahwa:

$$[HPO_4^{2-}] = \sqrt{K_{a2}[H_2PO_4^-]} \quad (3.10)$$

$$[HPO_4^{2-}] = \sqrt{10^{-7.2} \times 0.01 \text{ M}}$$

$$[HPO_4^{2-}] = 2.51 \times 10^{-5} \text{ Molar}$$

Sedangkan konsentrasi H_3PO_4 dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 3.4 sebagaimana tercantum di bawah ini:

$$[OH^-][H_3PO_4] = K_b[H_2PO_4^-] \quad (3.11)$$

Konsentrasi $[H_3O^+]$ yang terbentuk sama dengan konsentrasi $[HPO_4^{2-}]$ yang muncul dari reaksi disosiasi asam, sehingga bisa didapatkan bahwa:

$$[H_3PO_4] = \sqrt{K_b[H_2PO_4^-]} \quad (3.12)$$

$$[H_3PO_4] = \sqrt{10^{-11.8} \times 0.01 \text{ M}}$$

$$[H_3PO_4] = 1.25 \times 10^{-7} \text{ M}$$

Selanjutnya untuk mendapatkan ion hidrogen relatif terhadap ion hidroksida digunakan persamaan 3.7. Adapun perhitungannya sebagai berikut:

$$[H_3O^+] - [OH^-] = [HPO_4^{2-}] - [H_3PO_4]$$

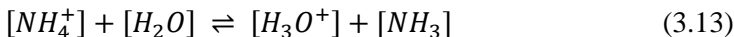
$$[H_3O^+] - [OH^-] = 2.51 \times 10^{-5} - 1.25 \times 10^{-7} \text{ M}$$

$$[H_3O^+] - [OH^-] = 0.000024975 \text{ M}$$

3.1.2 Pembuatan larutan ammonia

Ketika padatan garam ammonium nitrat dilarutkan di dalam air, persamaan reaksi kimia yang terjadi digambarkan berikut ini:

Reaksi disosiasi asam:



Dengan nilai K_a dari reaksi di atas adalah:

$$K_{an} = \frac{[H_3O^+][NH_3]}{[NH_4^+]} = 10^{-9.2} \quad (3.14)$$

Mengacu pada kesetimbangan reaksi kimia, kesetimbangan massa dan kesetimbangan muatan yang terbentuk adalah sebagai berikut:

Kesetimbangan massa:

$$[NH_4NO_3] = [NH_4^+] + [NH_3] \quad (3.15)$$

Kesetimbangan muatan:

$$[NO_3^-] + [OH^-] = [NH_4^+] + [H_3O^+] \quad (3.16)$$

Ion Nitrate NO_3^- merupakan salah satu unsur makro dalam larutan AB mix, namun dianggap tidak mempengaruhi nilai pH larutan AB mix. Sehingga konsentrasi Ion Nitrate NO_3^- dapat disetarakan dengan konsentrasi NH_4NO_3 agar memudahkan perhitungan stokiometri. Sehingga persamaan diatas dapat disederhanakan menjadi:

$$[H_3O^+] - [OH^-] = [NH_3] \quad (3.17)$$

Persamaan di atas menunjukkan hubungan ion hidrogen yang terbentuk relatif terhadap terdapat ion hidroksida yang terdapat didalam larutan. Hubungan ini dapat dihitung melalui konsentrasi NH_3 yang terbentuk.

Pada aliran input q_2 plant CSTR garam NH_4NO_3 dengan massa 0,8 gram dilarutkan ke dalam 1000 ml air untuk mendapatkan larutan NH_4NO_3 dengan konsentrasi 0.1 Molar. Dengan meninjau kembali persamaan 3.14 di atas, didapatkan bahwa:

$$[H_3O^+][NH_3] = K_{an}[NH_4^+] \quad (3.18)$$

Konsentrasi $[H_3O^+]$ yang terbentuk sama dengan konsentrasi $[NH_3]$ yang muncul dari reaksi disosiasi asam, sehingga bisa didapatkan bahwa besar konsentrasi NH_3 yang terbentuk adalah:

$$[NH_3] = \sqrt{K_{an}[NH_4^+]} \quad (3.19)$$

$$[NH_3] = \sqrt{10^{-9.2} \times 0.1 \text{ M}}$$

$$[NH_3] = 7.94328 \times 10^{-6} \text{ M}$$

Selanjutnya untuk mendapatkan ion hidrogen relatif terhadap ion hidroksida digunakan persamaan 3.17. Adapun perhitungannya sebagai berikut:

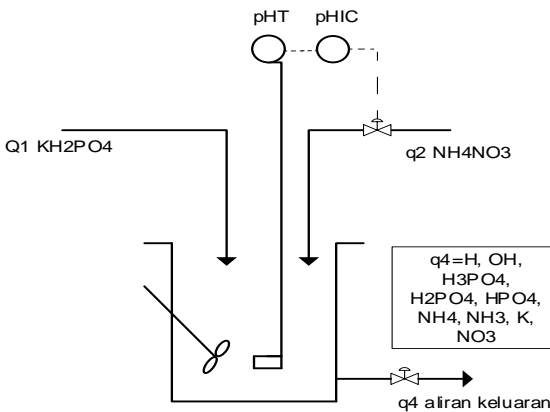
$$[H_3O^+] - [OH^-] = [NH_3]$$

$$[H_3O^+] - [OH^-] = 7.94328 \times 10^{-6} \text{ M}$$

3.1.3 Pemodelan Dinamik Titration *Potassium Dihydrogen phosphate* dengan *Ammonium Nitrate*.

Pada plant CSTR, terjadi aliran *flow* yang melibatkan 2 aliran input yaitu aliran q_1 yang mengandung larutan *potassium*

dihydrogen phosphate KH_2PO_4 dan aliran q_2 yang mengandung *ammonium nitrate* NH_4NO_3 serta 1 aliran output produk. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 3.1. Pemodelan matematis plant ini, bertujuan untuk mendapatkan perubahan konsentrasi menurut reaksi invariant yang terdapat di dalam plant CSTR. Jadi pengendalian yang dirancang nantinya bukanlah pengendalian pH berdasarkan aliran *output* melainkan pengendalian pH campuran yang berada di dalam plant CSTR yang dikendalikan berdasarkan aliran input KH_2PO_4 .



Gambar 3.2 Plant CSTR

Sebagaimana diterangkan dalam bab 2, maka untuk mendapatkan model proses pencampuran asam basa dalam penelitian ini menggunakan skema model Wiener (Hammerstian) yang diterjemahkan oleh Gustafsson dan Mc. Avoy menjadi reaksi invariant. Reaksi ini menggabungkan persamaan dinamika kesetimbangan masa, muatan (elektronetralitas) dan aljabar linier (polynomial dalam bentuk H_3O^+).

Pemodelan kesetimbangan reaksi kimia dilakukan dengan konsep dari reaksi *invariant* (Gustafsson and Waller). Pada sistem ini, dua reaksi *invariant* yang melibatkan semua aliran *input* ($i=2$) adalah:

$$W_{ai} = [H_3O^+]_i - [OH^-]_i - [H_2PO_4^-]_i - 2[HPO_4^{2-}]_i \quad (3.20)$$

$$W_{bi} = [HPO_4^{2-}]_i + [H_2PO_4^-]_i + [H_3PO_4]_i \quad (3.21)$$

Dengan:

- Wa : jumlah konsentrasi reaksi ion *hidrogen* (Molar)
 Wb : jumlah konsentrasi ion *phosphate* (Molar)
 a : reaksi ion hidrogen pada reaksi *invariant*
 b : reaksi ion *phosphate* pada reaksi *invariant*
 1 : aliran buffer (*potassium phosphate*)
 2 : aliran asam (*ammonium nitrate*)
 3 : aliran output

Dengan memasukkan nilai-nilai dari perhitungan data yang telah diperoleh, maka diperoleh harga persamaan reaksi invariant untuk input H_2PO_4 adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 W_{ai} &= [H_3O^+] - [OH^-] - [H_2PO_4^-] - 2[HPO_4^{2-}] \\
 W_{a1} &= 0.000024975 - 0.01 - 2(2.51 \times 10^{-5}) \\
 W_{a1} &= -0.00997515 \text{ Molar}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W_{bi} &= [HPO_4^{2-}] + [H_2PO_4^-] + [H_3PO_4] \\
 W_{b1} &= 2.51 \times 10^{-5} + 0.01 + 1.25 \times 10^{-7} \\
 W_{b1} &= 0.010025225 \text{ Molar}
 \end{aligned}$$

Sedangkan persamaan reaksi invariant untuk input NH_4 (1) adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 W_{ai} &= [H_3O^+] - [OH^-] - [H_2PO_4^-] - 2[HPO_4^{2-}] \\
 W_{a2} &= 7.9 \times 10^{-6} - 0 - 0 \\
 W_{a2} &= 0.000079 \text{ Molar}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W_{bi} &= [HPO_4^{2-}] + [H_2PO_4^-] + [H_3PO_4] \\
 W_{b2} &= 0 + 0 + 0 \\
 W_{b2} &= 0 \text{ Molar}
 \end{aligned}$$

Pemodelan sistem dengan menggunakan reaksi invariant ini dapat digunakan untuk memodelkan proses dinamik. Seperti yang telah diketahui bahwa reaksi pada proses pencampuran asam-basa merupakan proses dengan model non-linear. Untuk proses pencampuran asam-basa pada plant saturator, merupakan proses

yang dinamik dan non-linear, dengan melibatkan laju aliran input dan output. Sehingga untuk dapat memodelkan proses tersebut, maka reaksi invariant dikombinasikan dengan persamaan *mass/material balance*, sebagai berikut:

$$V \frac{dWa}{dt} = qa(Wa_1 - Wa) + qb(Wa_2 - Wa) - (qa + qb)Wa \quad (3.22)$$

$$V \frac{dWb}{dt} = qa(Wb_1 - Wb) + qb(Wb_2 - Wb) - (qa + qb)Wb \quad (3.23)$$

Dengan :

- V = Volume CSTR (L)
- qa = Aliran Asam fosfat (L/s)
- qb = Aliran Ammonia (L/s)

Dengan memasukkan nilai-nilai persamaan reaksi invariant di atas, maka dapat diperoleh bentuk harga persamaan model matematis dinamik sebagai berikut :

$$6 \frac{dWa}{dt} = qa(-0.00997515 - Wa) + qb(0.000079 - Wa) - (qa + qb)Wa \quad (3.25)$$

$$6 \frac{dWb}{dt} = qa(0.010025225 - Wb) + qb(0 - Wb) - (qa + qb)Wb \quad (3.26)$$

Nilai Wa dan Wb dari persamaan-persamaan *mass balance* diatas, merupakan nilai konsentrasi asam (x_1 atau x_a) dan konsentrasi basa (x_2 atau x_b) pada saat proses berlangsung yang digunakan untuk mencari harga pH melalui persamaan model statik.

3.1.4 Pemodelan Statik.

Setelah dilakukan pemodelan secara dinamik, dilakukan juga pemodelan statik. Dengan melihat persamaan reaksi kimia,

ketetapan disosiasi, dan reaksi invariant, maka dapat diketahui hubungan konsentrasi ion hidrogen $[H^+]$.

Jika : $Wa_i = x_1$, $Wb_i = x_2$, $[H_3O^+] = O$, dan $[H_2PO_4^-] = P$

Maka bisa didapatkan persamaan reaksi invariant dari persamaan 3.21 dan 3.22 menjadi :

$$x_1 = O - \frac{k_w}{O} - P - 2 \frac{k_a \cdot P}{O} \quad (3.27)$$

$$x_2 = \frac{k_a \cdot P}{O} + I + \frac{k_b \cdot P}{k_w / O} \quad (3.28)$$

Jika persamaan 3.27 dan 3.28 diatas dieliminasi, maka menjadi :

$$x_1 + x_2 = O - \frac{k_w}{O} + \frac{k_a \cdot P}{O} + \frac{k_b}{k_w} \cdot O \cdot P \quad (3.29a)$$

$$P \cdot \frac{k_a}{O} + P \cdot \frac{k_b \cdot O}{k_w} = x_1 + x_2 + \frac{k_w}{O} - O \quad (3.29b)$$

$$\left(\frac{k_a}{O} + \frac{k_b \cdot O}{k_w} \right) = x_1 + x_2 + \frac{k_w}{O} - O \quad (3.29c)$$

$$P = \frac{x_1 + x_2 + \frac{k_w}{O} - O}{\frac{k_a}{O} + \frac{k_b \cdot O}{k_w}} \quad (3.29d)$$

$$P = \frac{k_w^2 - k_w \cdot O^2 + x_1 \cdot k_w \cdot O + x_2 \cdot k_w \cdot O}{k_a \cdot k_w + k_b \cdot O} \quad (3.30)$$

Substitusi persamaan ke salah satu persamaan reaksi invariant

:

$$x_2 = \frac{k_a}{O} \left(\frac{k_w^2 - k_w \cdot O^2 + x_1 \cdot k_w \cdot O + x_2 \cdot k_w \cdot O}{k_a \cdot k_w + k_b \cdot O} \right) + \left(\frac{k_w^2 - k_w \cdot O^2 + x_1 \cdot k_w \cdot O + x_2 \cdot k_w \cdot O}{k_a \cdot k_w + k_b \cdot O} \right) + \frac{k_b \cdot O}{k_w} \left(\frac{k_w^2 - k_w \cdot O^2 + x_1 \cdot k_w \cdot O + x_2 \cdot k_w \cdot O}{k_a \cdot k_w + k_b \cdot O} \right) \quad (3.31a)$$

$$\begin{aligned}
 x_2 = & \frac{\frac{k_a \cdot k_w^2}{O} - k_a \cdot k_w \cdot O + x_1 \cdot k_a \cdot k_w + x_2 \cdot k_a \cdot k_w}{k_a \cdot k_w + k_b \cdot O} + \\
 & \frac{k_w^2 - k_w \cdot O^2 + x_1 \cdot k_w \cdot O + x_2 \cdot k_w \cdot O}{k_a \cdot k_w + k_b \cdot O} + \\
 & \frac{k_b \cdot k_w \cdot O - k_b \cdot O^3 + x_1 \cdot k_b \cdot O^2 + x_2 \cdot k_b \cdot O^2}{k_a \cdot k_w + k_b \cdot O}
 \end{aligned} \tag{3.31b}$$

$$\begin{aligned}
 0 = & \frac{x_1 \cdot k_a \cdot k_w + x_1 \cdot k_w \cdot O + x_1 \cdot k_b \cdot O^2}{k_a \cdot k_w + k_b \cdot O} + \frac{x_2 \cdot k_a \cdot k_w + x_2 \cdot k_w \cdot O + x_2 \cdot k_b \cdot O^2}{k_a \cdot k_w + k_b \cdot O} \\
 & - x_2 + \frac{k_b \cdot k_w \cdot O + \frac{k_a \cdot k_w^2}{O} + k_w^2}{k_a \cdot k_w + k_b \cdot O} + \left(\frac{-k_a \cdot k_w \cdot O - k_w \cdot O^2 - k_b \cdot O^3}{k_a \cdot k_w + k_b \cdot O} \right)
 \end{aligned} \tag{3.31c}$$

$$\begin{aligned}
 0 = & \frac{x_1 \cdot k_a \cdot k_w + x_1 \cdot k_w \cdot O + x_1 \cdot k_b \cdot O^2}{k_a \cdot k_w + k_b \cdot O} + \\
 & \frac{x_2 \cdot k_a \cdot k_w + x_2 \cdot k_w \cdot O + x_2 \cdot k_b \cdot O^2}{k_a \cdot k_w + k_b \cdot O} - x_2 + \\
 & \frac{\frac{k_b \cdot k_w \cdot O^2 + k_a \cdot k_w^2 + k_w^2 \cdot O - k_a \cdot k_w \cdot O^2 - k_w \cdot O^3 - k_b \cdot O^4}{O}}{k_a \cdot k_w + k_b \cdot O}
 \end{aligned} \tag{3.31d}$$

$$\begin{aligned}
 0 = & x_1 \cdot \left(\frac{k_a \cdot k_w + k_w \cdot O + k_b \cdot O^2}{k_a \cdot k_w + k_b \cdot O} \right) + x_2 \cdot \left(\frac{k_a \cdot k_w + k_w \cdot O + k_b \cdot O^2}{k_a \cdot k_w + k_b \cdot O} - 1 \right) \\
 & + \frac{\frac{k_b \cdot k_w \cdot O^2 + k_a \cdot k_w^2 + k_w^2 \cdot O - k_a \cdot k_w \cdot O^2 - k_w \cdot O^3 - k_b \cdot O^4}{O}}{k_a \cdot k_w + k_b \cdot O}
 \end{aligned}$$

(3.31e)

$$0 = x_1 + x_2 \frac{\left(\frac{k_a \cdot k_w + k_w \cdot O + k_b \cdot O^2}{k_a \cdot k_w + k_b \cdot O} - 1 \right)}{\frac{k_a \cdot k_w + k_w \cdot O + k_b \cdot O^2}{k_a \cdot k_w + k_b \cdot O}} +$$

$$\frac{\frac{k_b \cdot k_w \cdot O^2 + k_a \cdot k_w^2 + k_w^2 \cdot O - k_a \cdot k_w \cdot O^2 - k_w \cdot O^3 - k_b \cdot O^4}{O}}{\frac{k_a \cdot k_w + k_b \cdot O}}{\frac{k_a \cdot k_w + k_w \cdot O + k_b \cdot O^2}{k_a \cdot k_w + k_b \cdot O}}}$$

(3.31f)

$$0 = x_1 \cdot O + x_2 \cdot O \left(\frac{k_a \cdot k_w + k_w \cdot O + k_b \cdot O^2 - k_a \cdot k_w + k_b \cdot O}{k_a \cdot k_w + k_w \cdot O + k_b \cdot O^2} \right) + \frac{k_b \cdot k_w \cdot O^2 + k_a \cdot k_w^2 + k_w^2 \cdot O - k_a \cdot k_w \cdot O^2 - k_w \cdot O^3 - k_b \cdot O^4}{k_a \cdot k_w \cdot O + k_w \cdot O^2 + k_b \cdot O^3}$$

(3.32)

Persamaan 3.32 diatas kemudian dirubah ke dalam bentuk polinomial untuk mencari harga O :

$$0 = x_1 \cdot O (k_a \cdot k_w \cdot O + k_w \cdot O^2 + k_b \cdot O^3) + x_2 \cdot O^2 (k_w \cdot O + k_b \cdot O^2 + k_b \cdot O) + k_b \cdot k_w \cdot O^2 + k_a \cdot k_w^2 + k_w^2 \cdot O - k_a \cdot k_w \cdot O^2 - k_w \cdot O^3 - k_b \cdot O^4$$

(3.33c)

$$0 = x_1 \cdot k_a \cdot k_w \cdot O^2 + x_1 \cdot k_w \cdot O^3 + x_1 \cdot k_b \cdot O^4 + x_2 \cdot k_w \cdot O^3 + x_2 \cdot k_b \cdot O^4 + x_2 \cdot k_b \cdot O^3 + k_b \cdot k_w \cdot O^2 + k_a \cdot k_w^2 + k_w^2 \cdot O - k_a \cdot k_w \cdot O^2 - k_w \cdot O^3 - k_b \cdot O^4$$

(3.33b)

$$0 = O^4 (x_1 \cdot k_b + x_2 \cdot k_b - k_b) + O^3 (x_1 \cdot k_w + x_2 \cdot k_w - k_w) + O^2 (x_1 \cdot k_a \cdot k_w + k_b \cdot k_w - k_a \cdot k_w) + O \cdot k_w^2 + k_a \cdot k_w^2$$

(3.34)

Jika variabel O di dalam persamaan 3.34 dikembalikan ke variabel semula bahwa $O = [H_3 O^+]$,maka

$$0 = [H_3O^+]^4 (x_1 \cdot k_b + x_2 \cdot k_b - k_b) + [H_3O^+]^3 (x_1 \cdot k_w + x_2 \cdot k_b + x_2 \cdot k_w - k_w) + [H_3O^+]^2 (x_1 \cdot k_a \cdot k_w + k_b \cdot k_w - k_a \cdot k_w) + [H_3O^+] \cdot k_w^2 + k_a \cdot k_w^2 \quad (3.35)$$

Dengan memasukkan beberapa nilai konstanta yang telah diketahui, maka didapatkan persamaan :

$$0 = [H_3O^+]^4 (x_1 \cdot 10^{-11.8} + x_2 \cdot 10^{-11.8} - 10^{-11.8}) + [H_3O^+]^3 (x_1 \cdot 10^{-14} + x_2 \cdot 10^{-11.8} + x_2 \cdot 10^{-14} - 10^{-14}) + [H_3O^+]^2 (x_1 \cdot 10^{-7.2} \cdot 10^{-14} + 10^{-11.8} \cdot 10^{-14} - 10^{-7.2} \cdot 10^{-14}) + [H_3O^+] \cdot (10^{-14})^2 + 10^{-7.2} \cdot (10^{-14})^2 \quad (3.36)$$

Nilai x_1 dan x_2 diperoleh dari penyelesaian persamaan reaksi invariant diatas. Konsentrasi ion hidrogen $[H^+]$ dari penyelesaian persamaan 3.22 dan 3.23 dapat digunakan untuk mengetahui proses statik dari plant. Proses statik plant saturator didefinisikan sebagai :

$$pH = -\log[H^+] \quad (3.37)$$

3.2 Pemodelan pH Transmitter.

Pada tugas akhir ini digunakan sensor ph tipe elektroda. Sensor ini terdiri dari Sensor ini memanfaatkan dua elektroda yang terpisah oleh bola kaca pejal. Elektroda yang tertanam di bola kaca berperan sebagai elektroda referensi karena resistansi kaca yang sangat tinggi mencegah pengaruh luar terhadap elektroda referensi. elektroda yang lain akan terendam didalam larutan ketika pembacaan ph. Perubahan konsentrasi ion hidrogen tersebut kemudian dikonversikan kedalam sinyal output listrik oleh elektrode pH sensor dengan range pengukuran $pH = 5-7$ dan sinyal keluaran $4 - 20 \text{ mA}$.. Berikut adalah karakteristik span dan gain yang didapat dari transmitter pH

$$K_{pH} = \frac{\text{span output}}{\text{span variabel terukur}}$$

$$K_{pH} = \frac{20\text{mA} - 4\text{mA}}{7 - 5} = \frac{16}{2} = 8 \quad (3.38)$$

$$G_{pH} = \frac{K_{pH}}{\tau(s) + 1} \quad (3.39)$$

Karena media pengiriman merupakan sinyal elektrik maka time lag (time konstan) yang terjadi sangat kecil dan dapat diabaikan sehingga konstanta waktu dapat dianggap nol. Dengan demikian fungsi alih transmitter adalah :

$$G_{pH} = \frac{8}{0 + 1} = 8 \quad (3.40)$$

3.3 Pemodelan Control Valve

Control valve merupakan salah satu *final control element* yang banyak digunakan dalam sistem pengendalian dan proses. Control valve mempunyai dua bagian utama yaitu aktuator dan valve. Aktuator adalah bagian yang menggerakkan *valve* buka atau tutup, sedangkan *valve* adalah bagian komponen mekanis yang menentukan besarnya *flow* fluida proses.

Dalam tugas akhir ini, control valve yang digunakan adalah jenis *equal percentage* dan *normally close* atau *air to open*. Control valve tersebut digunakan untuk mengatur laju aliran fluida input KH_2PO_4 dan NH_4NO_3 yang masuk ke dalam CSTR.

Fungsi transfer dari control valve dapat dinyatakan sebagai sebuah sistem orde satu, sebagai berikut:

$$m(s) = \frac{K \times U(s)}{\tau_{cv}s + 1} \quad (3.41)$$

Dengan :

$m(s)$ = manipulated variable \rightarrow laju aliran keluar
control valve

$$\begin{aligned}
 K &= \text{Gain control valve} \\
 U(s) &= \text{sinyal masukan control valve} \\
 \tau_{cv} &= \text{Time constant dari control valve}
 \end{aligned}$$

Gain *Control Valve* didefinisikan sebagai perubahan aliran yang melalui *Control Valve* terhadap perubahan masukan *Control Valve*. Karena karakteristik *Control Valve* yang linier, maka didapati adanya bias sebagaimana dalam persamaan linier terdapat adanya gradien dan konstanta bias.

$$\begin{aligned}
 K &= \frac{\text{Span output}}{\text{Span variabel terukur}} \\
 K &= \frac{(14-0)\text{mL/s}}{(20-4)\text{mA}} = 0.875 \text{ mL.mA/s}
 \end{aligned}
 \tag{3.43}$$

Adapun nilai *time constant* dianggap 0 karena tidak ada *delay* pada *control valve*, sehingga didapatkan persamaan matematis sebagai berikut.

$$\tau_{CV} = (0 + 1) = 1$$

Dengan memasukkan nilai-nilai tersebut kedalam persamaan fungsi transfer *control valve*, maka didapatkan :

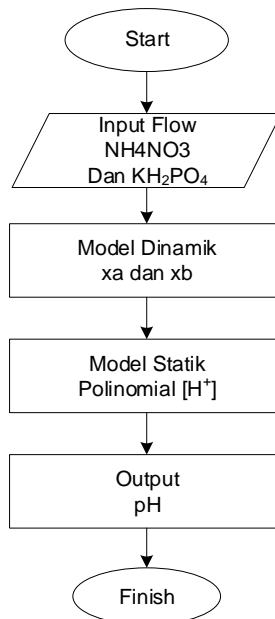
$$\frac{m(s)}{U(s)} = \frac{0.875}{0+1} \tag{3.42}$$

3.4 Simulasi Sistem

Setelah melakukan pemodelan proses pada plant CSTR berupa model dinamik dan model statik serta perancangan controller, maka tahapan selanjutnya adalah melakukan simulasi sistem. Simulasi sistem ini dibagi menjadi dua bagian yaitu untuk sistem terbuka (*open loop*) dan untuk sistem tertutup (*closed-loop*) dan simulasi sistem ini dibuat dengan menggunakan software Matlab 2015b (M-File dan Simulink).

- Sistem Terbuka (*Open Loop*)

Diagram alir untuk sistem *open loop* dapat dilihat pada gambar 3.2. Dari gambar tersebut dapat dilihat untuk blok set point merupakan *input* KH_2PO_4 dan NH_4NO_3 , kemudian terdapat blok proses dinamik dan proses statik. Proses dinamik digunakan untuk mendapatkan konsentrasi asam (x_a) dan konsentrasi basa (x_b) pada saat proses berlangsung. Nilai dari proses dinamik (x_a dan x_b) digunakan dalam perhitungan melalui persamaan polinomial untuk mencari konsentrasi ion $[H^+]$ pada proses statik. Sehingga dari proses dinamik dan proses statik tersebut dapat diketahui *output* proses variabel yang berupa pH. Berikut ini diagram alir untuk sistem *open loop* sebagai berikut :



Gambar 3.3 *Flowchart* Sistem *Open Loop*

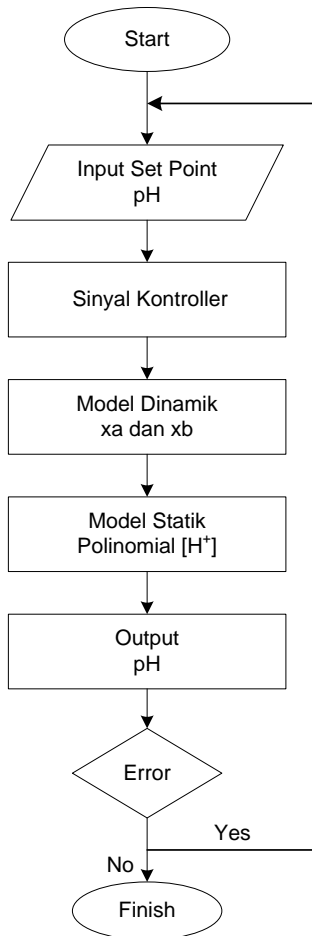
Diagram alir di atas dapat diimplementasikan menjadi suatu blok diagram yang dibuat menggunakan *software* Matlab 7.0.

Untuk model dinamik dapat dibuat menggunakan simulink-matlab sedangkan untuk model statik dibuat dengan menggunakan m-file matlab.

Model dinamik adalah pemodelan proses untuk mengetahui konsentrasi larutan asam dan konsentrasi larutan basa dalam plant ketika sistem berjalan terus – menerus. Pembuatan model dinamik berdasarkan persamaan 3.22 dan 3.23 Pemodelan dinamik ini digunakan untuk mencari nilai x_a (x_1) dan x_b (x_2) yang nantinya akan digunakan dalam pemodelan statik. Pemodelan statik merupakan pemodelan yang diturunkan dari persamaan reaksi *invariant* menjadi persamaan polinomial $[H^+]$ seperti pada persamaan (3.34). Melalui nilai x_a dan x_b serta beberapa konstanta tertentu yang dimasukkan kedalam persamaan model statik maka dapat diketahui harga pH pada plant saturator saat proses sedang berlangsung.

- Sistem Tertutup (*Closed Loop*)

Perancangan simulasi selanjutnya yaitu membuat simulasi sistem *closed loop*, dimana pada sistem ini akan dimasukkan suatu blok kontroler yang mendapatkan umpan balik dari respon sistem. Diagram alir sistem *closed loop* adalah sebagai berikut :



Gambar 3.4 *Flowchart System Closed Loop*

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV HASIL PENGUJIAN DAN ANALISIS

Setelah melakukan pemodelan sistem pada Bab III, langkah selanjutnya adalah merancang sistem pengendalian pH dengan menggunakan software Matlab 2015b (Simulink dan M-File), kemudian akan dilakukan simulasi. Hasil dari simulasi tersebut akan dibuat untuk analisa data.

Terdapat dua tahapan simulasi, yaitu simulasi sistem *open loop* dan *closed loop*. Simulasi *open loop* digunakan untuk mengetahui hubungan antara konsentrasi asam dan basa dengan pH pada saat proses sedang berlangsung. Simulasi *closed loop* digunakan untuk mengetahui respon sistem dengan menggunakan sebuah *controller* yang telah dirancang.

4.1 Simulasi open loop

Simulasi sistem *open-loop* dilakukan untuk mengetahui hubungan laju konsentrasi asam dan KH_2PO_4 terhadap pH.

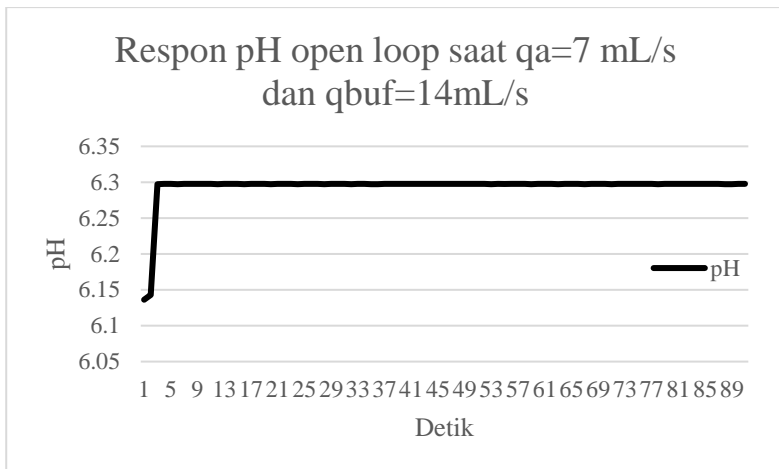
Model dinamik adalah pemodelan proses untuk mengetahui hubungan antara konsentrasi larutan asam dan konsentrasi larutan basa dalam plant ketika sistem pengukuran pH berjalan terus-menerus. Pembuatan model dinamik berdasarkan persamaan 3.22 dan 3.23, sedangkan model statik adalah model plant pengukuran pH berdasarkan reaksi *invariant* persamaan 3.8 dan 3.9 yang diolah menjadi bentuk persamaan polynomial $[H^+]$. Konsentrasi $[H^+]$ yang diketahui digunakan untuk mendapatkan nilai pH larutan berdasarkan persamaan (3.23)

Untuk mendapatkan respon dari sistem *open loop* ini, digunakan dua macam simulasi, yaitu simulasi dengan *flow* asam konstan. Simulasi dengan *flow* KH_2PO_4 konstan yaitu simulasi dengan menggunakan *flow* KH_2PO_4 diset nilai konstan pada *flow* normal dan *flow* asamnya yang diubah-ubah.. Dengan flow input asam NH_4 minimal ($q_a = 0$ mL/s), flow normal ($q_a = 7$ mL/s), dan flow maksimal ($q_a = 14$ mL/s), sedangkan flow buffer H_2PO_4 normal ($q_b = 7$ mL/s).

4.1.1 Simulasi Dengan *Flow KH₂PO₄* Konstan

Simulasi dengan *flow KH₂PO₄* konstan yaitu simulasi dengan menggunakan *flow KH₂PO₄* diset dengan nilai konstan pada kondisi *flow* normal dan *flow NH₄NO₃*nya yang diubah-ubah.

- *Flow KH₂PO₄* Normal dan *Flow NH₄NO₃* Minimum
Plant CSTR mendapat tambahan larutan *KH₂PO₄* secara terus-menerus, dan tidak ada larutan *NH₄NO₃*, harga pH akan menjadi turun sesaat yang mengakibatkan larutan bersifat asam. Harga pH berangsur-angsur stabil karena konsentrasi $[H^+]$ mengalir keluar tangki reaktor secara konstan pada *flow output*. Dalam simulasi sistem *Open-Loop* pada saat kondisi *flow input NH₄NO₃* minimal, dan *flow input KH₂PO₄* normal didapatkan nilai *output* antara pH 7 sampai pH 6.136.
- *Flow KH₂PO₄* Normal dan *Flow NH₄NO₃* Normal
Pada saat *flow input NH₄NO₃* normal ($q_a = 7$ mL/s), terjadi perbedaan respon dengan kondisi sebelumnya. Pada kondisi ini, Adanya *flow NH₄NO₃* menyebabkan basa konjugasi *NH₃* didalam plant CSTR bertambah. Hal ini mengakibatkan nilai pH turun lebih sedikit dari sebelumnya, yaitu dari pH 7 (pH netral) ke pH 6.238 (bersifat asam).
- *Flow buffer* Normal dan *Flow Asam* Maksimum
Pada simulasi untuk *flow input* maksimum memiliki respon yang hampir sama dengan respon saat *flow input* normal. Hal ini dikarenakan besarnya *flow* normal dan *flow* maksimal tidak berbeda jauh. Pada kondisi ini konsentrasi x_b dan konsentrasi x_a juga mengalami peningkatan, tetapi memiliki nilai yang berbeda. Perbedaan harga *flow input* menyebabkan nilai konsentrasi x_a , konsentrasi x_b , dan pH plant CSTR berbeda.. Respon sistem pada saat *flow* maksimal ($q_a = 14$ mL/s) adalah dari pH 7 (pH netral) ke pH 6.298 (bersifat asam). Respon sistem dapat dilihat pada Gambar 4.1



Gambar 4.1 Grafik pH pada $q_a=14$ mL/s dan $q_b=7$ mL/s

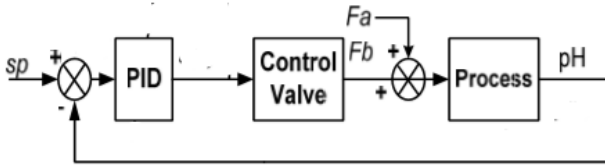
Berikut ini beberapa hasil dari uji performansi *open loop* :

Tabel 4.1. Hasil Uji Performansi *Open Loop*

q_a (mL/s)	q_{buf} (mL/s)	x_a (Molar)	x_b (Molar)	pH
0	7	- 0.009975	0.000079	6.136
7	7	- 0.00002504	0.000395	6.238
14	7	- 0.003358	0.00062	6.298

4.2 Simulasi Sistem *ClosedLoop*

Pada simulasi sistem *closed loop* ini dilakukan dengan melakukan pengujian sistem pada set point pH 6.2, Gambar sistem *close-loop* dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Diagram blok sistem *Close-Loop*

Setelah mendapatkan uji performansi open loop, plant dimasukkan ke dalam sistem *closed loop* dengan memasukkan pengendali PID. Dengan menggunakan setpoint 6.2, rancangan PID secara eksperimental seperti pada tabel 4.2 digunakan untuk mendapatkan error yang paling kecil:

Tabel 4.2 Perancangan Parameter Pengendali PID Eksperimental

No	Kp	Ti	Td	Error (%)
1	0.1	0	0	0.07285
2	10	0	0	0.07212
3	100	0	0	0.06619
4	1	0.1	0	0.07214
5	0.1	10	0	0.03049
6	10	100	0	0.00002614
7	1	0.1	1	0.07214
8	100	10	0.1	0.03008
9	10	100	10	0.00007731
10	10	100	0.1	0.00002359

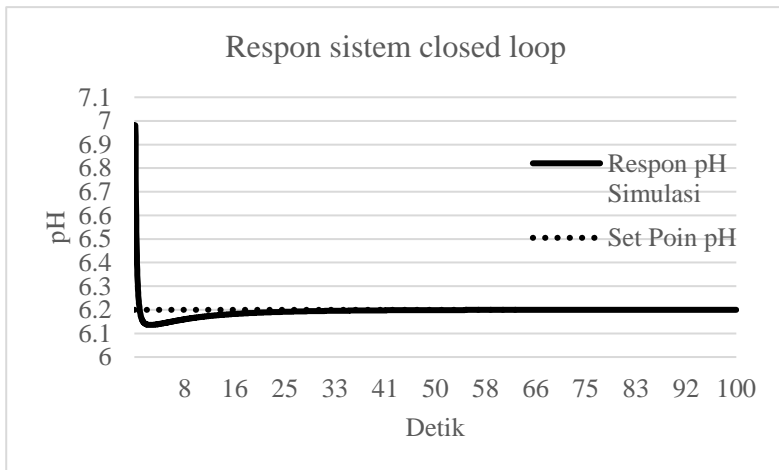
Dari hasil di atas dapat diketahui bahwa nilai $K_p=10$, $T_i=100$, dan $T_d=0.1$ merupakan parameter PID terbaik yang digunakan oleh sistem *closed loop* dengan nilai error terkecil 0.00002359%.

Untuk mengetahui performansi dari sistem pengendalian yang telah dirancang, maka dilakukan pengujian untuk mendapatkan nilai performansi sistem tersebut. Beberapa parameter dapat digunakan untuk menyatakan performansi sistem yang dinyatakan secara kualitatif. Beberapa parameter kualitatif yang dipergunakan untuk menganalisa performansi sistem pada pengerjaan Tugas Akhir ini adalah *Delay Time* (t_d), *Rise-time* (t_r),

Settling time (t_s), *Peak Time* (t_p), *Maximum Overshoot* (M_p), dan *error steady state* (ess).

- Simulasi Set Point pH 6.2

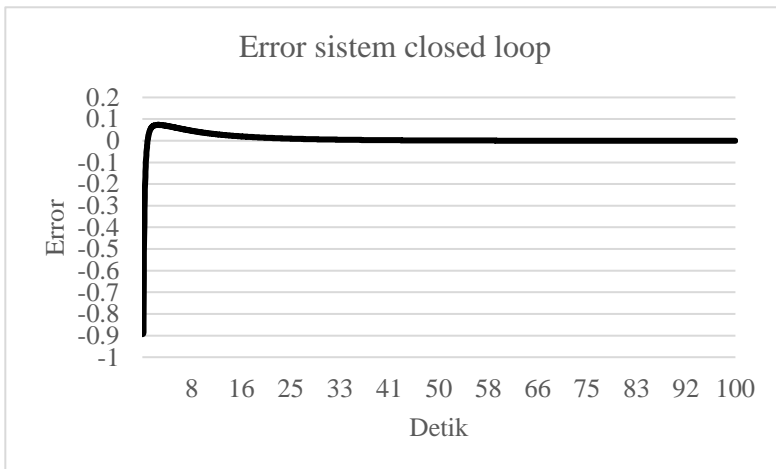
Pada pengujian sistem *closed loop*, sistem diberikan set point pH 6.2 dan dapat dilihat responnya pada Gambar 4.3. Pada Gambar 4.5 terlihat bahwa respon sistem tidak langsung mencapai set point, hal ini disebabkan karena pH merupakan fungsi logaritmik, dimana perubahan sedikit laju konsentrasi asam menyebabkan perubahan konsentrasi larutan di dalam plant saturator secara signifikan.



Gambar 4.3 Respon Sistem *Closed-Loop* pH 6.2

Dari sistem closed-loop yang telah dirancang ini, dapat dilihat bahwa proses variabel bergerak dari kondisi netral (pH 7) menuju set point pH 6.2 selama selang beberapa waktu. Selain itu respon sistem tidak mengalami osilasi yang menunjukkan bahwa sistem yang telah dirancang ini memiliki performansi yang cukup baik. Performansi juga dapat dilihat dari sistem tidak mengandung *dead time* (*dead time* sangat kecil ≈ 0) dengan menggunakan kriteria 0 – 100 % Indeks performansi sebagai parameter kualitatif dari sistem *closed-loop* pada set point pH 6.2 adalah :

- *Dead Time*, $t_d = 0$ detik
- *Rise Time*, $t_r = 2.01$ detik
- *Peak Time*, $t_p = 2.7$ detik
- *Settling Time*, $t_s = 36$ detik
- *Maximum Overshoot*, $M_p = 9\%$
- *Error Steady State*, $e_{ss} = 0.0003\%$
- *Integral absolute Error*, $IAE = 620$

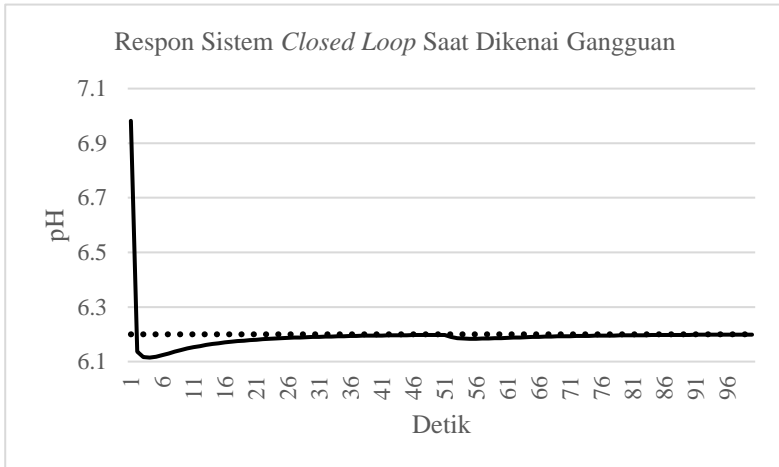


Gambar 4.4 *Error Sistem Saat pH 6.2*

Untuk *error* sistem yang diperoleh dari selisih antara set point dengan respon sistem terlihat pada gambar 4.4. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa *error* mampu mencapai nilai pada kisaran nol yang artinya respon sistem berada pada set point yang diinginkan. Sistem bekerja dengan stabil dan *error* dalam keadaan steady adalah nol yang dicapai pada waktu setelah 36 detik.

- Simulasi dengan Disturbance

Simulasi ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan *controller* yang telah dirancang dalam mengatasi kondisi proses pada saat mendapatkan gangguan dari luar yang tidak diinginkan. Gangguan bisa berupa load (beban) yang bentuknya sama dengan inputan yang masuk ke dalam proses atau berupa disturbance (gangguan) yang berasal dari luar sistem. Pada simulasi ini, sinyal gangguan yang digunakan adalah *Uniform Random Number* (sinyal acak tak berbentuk) diberikan pada plant CSTR dengan nilai minimum -1.5 dan nilai maksimum $+1.5$. Sinyal gangguan *Uniform Random Number* dapat dilihat pada Gambar 4.7 dan respon sistem dapat dilihat pada Gambar 4.5.

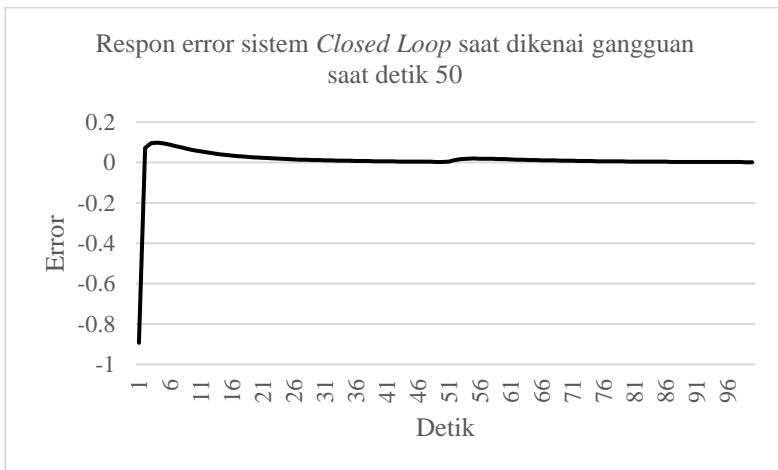


Gambar 4.5 Respon Sistem *Closed Loop* saat dikenai gangguan

Dengan adanya sinyal gangguan sebesar ± 1.5 menyebabkan respon sistem tidak dalam kondisi stabil sempurna yang dapat dilihat sepanjang garis proses variabel terdapat riak

gangguan, baik sebelum maupun setelah mencapai keadaan tunak. Namun dengan melihat hasil parameter uji performansi, dapat dikatakan bahwa sistem pengendalian yang telah dirancang memiliki performansi yang bagus, meskipun mendapatkan sinyal gangguan sebesar ± 1.5 . berikut ini parameter kualitatif dari uji performansi :

- *Dead Time*, $t_d = 0$ detik
- *Rise Time*, $t_r = 2.01$ detik
- *Peak Time*, $t_p = 2.7$ detik
- *Settling Time*, $t_s = 36$ detik
- *Maximum Overshoot*, $M_p = 9\%$
- *Error Steady State*, $e_{ss} = 0.0047\%$
- *Integral Absolute Error* = 620



Gambar 4.6 Error Sistem *Closed Loop* saat dikenai gangguan

Error sistem yang merupakan selisih set point dan respon sistem terlihat pada Gambar 4.6. Meskipun sistem diuji dengan memberikan gangguan sebesar ± 1.5 , namun sistem mampu meredam gangguan tersebut. Dari gambar terlihat bahwa *error* tidak mampu mencapai nilai nol tetapi berada pada kisaran $\pm 5\%$ dari nol yang merupakan nilai standar *error steady state* dan artinya respon sistem masih berada pada set point yang diinginkan.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari pembahasan di atas dapat disimpulkan beberapa hal yaitu:

- Telah berhasil dilakukan pemodelan, perancangan, dan simulasi sistem pengendalian pH dengan menggunakan *PID controller* pada unit CSTR sistem hidroponik dengan karakteristik pH yang nonlinear.
- Pada uji *open-loop* semakin besar laju aliran asam lemah ammonia, maka pH larutan akan semakin naik karena ammonia asam yang lebih lemah daripada asam fosfat.
- Pada sistem close loop, dilakukan uji setpoint dengan PID controller tunggal dimana $K_p=10$, $T_i=100$, dan $T_d=0.1$. Respon sistem terhadap uji set poin 6.2 telah dilakukan dengan parameter performansi Delay Time= 0 detik, Rise Time= 2,01 detik, Peak time= 2.7 detik, settling time= 36 detik, maksimum overshoot= 9%, dan error steady state=0.0003%

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan dalam penelitian Tugas Akhir ini adalah :

- Untuk penelitian atau pengembangan tugas akhir selanjutnya, dapat dilakukan dengan merancang sistem pengendalian yang menggunakan *multimode PID* atau *autoswitch PID* karena sistem adalah non linier
- Pengembangan lebih lanjut dari tugas akhir ini dapat dilakukan dengan merancang sistem pengendalian dengan larutan yang lebih kompleks, diantaranya larutan yang memiliki range pH asam basa yang besar dan melibatkan lebih dari dua macam larutan.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] L. I. T. Tellez dan F. C. G. Merino, "Nutrient Solution for Hydroponic System," Intechopen, Mexico.
- [2] N. Sharma, S. Acharya, K. Kumar, N. Singh dan O. Chaurasia, "Hydroponics as an advanced technique for vegetable production: An overview," *Journal of Soil and Water Conservation*, vol. 17, pp. 364-371, 2019.
- [3] G. De Rijck dan E. Schrevens, "Cationic Speciation in nutrient solution as function of pH," *Journal of Plant Nutrition*, vol. 21, pp. 861-870, 1 05 1998.
- [4] G. De Rijck dan E. Schrevens, "Anionic Speciation in nutrient solution as function of pH," *Journal of Plant Nutrition*, vol. 22, no. 2, pp. 269-279, 1999.
- [5] G. De Rijck dan E. Schrevens, "pH Influenced by the elemental composition of nutrient solutions," *Journal of Plant Nutrition*, vol. 20, no. 7-8, pp. 911- 923, July 1997.
- [6] T. K. Gustafsson, S. B. O., K. V. Sandstroem dan K. V. Waller, "Modelling of pH for control," *Industrial & Engineering Chemistry Research*, vol. 34, no. 3, pp. 820-827, 1995.
- [7] S. H. Purnomo, "Perancangan sistem Pengendalian pH pada unit Saturator PT PetroKimia Gresik," Surabaya, 2009.
- [8] G. De Rijck dan E. Schrevens, "Elemental Bioavailability in nutrient solutions in relation to precipitation reactions," *Journal of Plant Nutrition*, vol. 21, no. 10, pp. 2103-2113, 1998.
- [9] Y. K. Yeo dan T.-i. Kwon, "A Neural PID Controller for the pH Neutralization Process," *Ind. Eng. Chem. Res.*, vol. 38, pp. 978-987, 1999.
- [10] J. L. Rodriguez, "Modeling and Identification of pH Processes," dalam *Proceeding of the 2004 American Control Conference*, Massachusetts, 2004.

- [11] K. M. Butrus, H. A. Mohsin dan A. R. M. Jawad, "Modelling and Control of pH process for weak acid- weak base system," *Eng.&Tech Journal*, vol. 30, no. 1, 2012.

BIODATA PENULIS



Ahmad Muzaki Zuhar lahir di Tegal pada tanggal 22 April 1994. Penulis mengenyam pendidikan wajib di SD Dian Didaktika, SMPN 05 Tegal, dan SMKN 1 Tegal.

Setelah lulus SMK pada tahun 2013, penulis melanjutkan studi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) jurusan Teknik Fisika.

Kritik dan saran dalam penulisan dan konten pada laporan ini dapat dikirim melalui surat elektronik pada juardmoojack@outlook.com.