



UNIVERSITAS INDONESIA

**SIMULASI PROSES PENGENDALIAN PH AIR
MENGUNAKAN PENGENDALI PROPORSIONAL
INTEGRAL DERIVATIF (PID) NON-LINEAR PADA UNIT
MINI PLANT**

SKRIPSI

**IKBAL FATUROHMAN
0806333146**

**UNIVERSITAS INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA
DEPOK
JULI 2012**



UNIVERSITAS INDONESIA

**SIMULASI PROSES PENGENDALIAN PH AIR
MENGUNAKAN PENGENDALI PROPORSIONAL
INTEGRAL DERIVATIF (PID) NON-LINEAR PADA UNIT
MINI PLANT**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**IKBAL FATUROHMAN
0806333146**

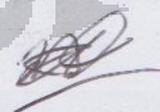
**UNIVERSITAS INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA
DEPOK
JULI 2012**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Makalah skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
Dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Ikbal Faturrohman

NPM : 0806333146

Tanda Tangan : 

Tanggal : 4 Juli 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi diajukan oleh :

Nama : Ikbal Faturrohman
NPM : 0806333146
Program Studi : Teknik Kimia
Judul Skripsi : Simulasi Proses Pengendalian pH Air Menggunakan
Pengendali Proporsional Integral Derivatif (PID) Non-
linear Pada Unit Mini Plant

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. Abdul Wahid, M.T. (.....)

Penguji I : Prof. Dr. Ir. Widodo WP, DEA. (.....)

Penguji II : Ir Mahmud Sudibandrio, M.Sc, PhD. (.....)

Penguji III : Dr Eny Kusriani, S.Si. (.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 4 Juli 2012

KATA PENGANTAR

Pertama-tama saya mengucapkan puji dan syukur kepada Allah SWT, karena atas rahmat dan penyertaan-Nya, saya dapat menyelesaikan makalah skripsi ini. Penulisan makalah skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Kimia pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa dalam pembuatan makalah skripsi ini saya banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, saya ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ir. Abdul Wahid Surhim. MT, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan makalah seminar ini;
2. Dr. Ir. Nelson S, MT. selaku dosen pembimbing akademik yang telah membimbing selama periode kuliah ini;
3. Seluruh dosen Departemen Teknik Kimia UI yang telah mengajar dan memberi saya wawasan sebagai mahasiswa teknik kimia;
4. Kedua orang tua saya serta kakak saya yang telah senantiasa memberikan semangat dan dukungan hingga terselesaikannya makalah seminar ini;
5. Keluarga dan teman – teman Teknik Kimia 2008, 2009, dan 2010 atas semangatnya pada waktu mengambil data dan menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata saya meminta maaf apabila dalam makalah skripsi ini ada kata-kata yang kurang berkenan. Semoga makalah skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi ilmu pengetahuan kedepannya.

Depok, 4 Juli 2012

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Iqbal Faturrohman
NPM : 0806333146
Program Studi : Teknik Kimia
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Nneksklusif (Non-exclusive Royalty-Free Right)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

SIMULASI PROSES PENGENDALIAN PH AIR MENGGUNAKAN PENGENDALI PROPORSIONAL INTEGRAL DERIVATIF (PID) NON-LINEAR PADA UNIT MINI PLANT

Dengan Hak Bebas Royalti Nneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : 4 Juli 2012
Yang menyatakan



(Iqbal Faturrohman)

ABSTRAK

Nama : Ikbal Faturrohman
Program Studi : Teknik Kimia
Judul : Simulasi Proses Pengendalian pH Air Menggunakan Pengendali Proporsional Integral Derivatif (PID) Non-linear Pada Unit Mini Plant

Air limbah sebelum dibuang ke lingkungan harus memenuhi baku mutu lingkungan, di antaranya memenuhi pH netral. Karena itu, pengendalian pH sangat penting dilakukan. Unit mini plant WA921 bekerja untuk mengolah air buangan asam atau basa seperti yang digunakan di industri. Semula setelan parameter pengendali PID dan PID Non-linear didasarkan pada kondisi air di tempat peralatan itu dibuat sehingga perlu diuji kinerjanya dengan menggunakan kondisi air lokal. Penelitian sebelumnya sudah mendapatkan setelan parameter pengendali PID yang optimum, sedangkan setelan parameter pengendali PID Non-linear yang optimum belum dievaluasi. Pengujian kinerja dilakukan pada kondisi air lokal dengan pH larutan asam dan basa 0,1 N, dan perubahan pH dari 3,8 ke 7,0 dalam rangka mendapatkan kondisi non-linear. Hasilnya, untuk skema proses *Short* didapat setelan terbaik parameter pengendali PID non-linear adalah PB 10, Ti 120, Td 10, Gw 10, dan Gg 0.3 dengan IAE (*integral of absolute error*) sebesar 154, lebih kecil dibanding dengan IAE pengendali PID linear sebesar 223. Sedangkan untuk skema *Long*, setelan terbaiknya pada PB 5, Ti 425, Td 40, Gw 30, dan Gg 0.25 dengan IAE sebesar 656 lebih kecil dibanding dengan IAE PID linear sebesar 888.

Kata kunci: Pengendalian proses, PID Non-linear, pH Air.

ABSTRACT

Name : Ikbal Faturrohman
Study Program : Chemical Engineering
Judul : Simulation of Water pH Control Process In Mini Plant Unit
Using Non-linear Proportionan Integral Derivative (PID) Control

Waste water before discharge into the environment must meet environmental quality standards, of which meets a neutral pH. Therefore, pH control is very important. WA921 unit mini plant work for processing waste water of acid or base as used in the industry. Original PID controller parameter settings and Non-linear PID based on water conditions at the place it was made, so that the equipment needs to be tested its performance by using local water conditions. Previous research had a PID controller parameter setting reach the optimum, while the non-linear PID controller parameter setting the optimum has not been evaluated. Performance testing conducted on local water conditions with a pH of 0.1 N acid and base, and changes in pH from 3.8 to 7.0 in order to obtain non-linear conditions. The result, for the scheme Short the best suits obtained for non-linear PID control parameters are PB 10, 120 Ti, Td 10, Gw 10, and 0.3 Gg by IAE (integral of absolute error) of 154, is smaller than the IAE for PID linear controller 223. As for the scheme Long, his best suit on the PB 5, 425 Ti, Td 40, Gw 30, and 0:25 with IAE Gg of 656 smaller than the IAE for PID linear 888.

Keywords: Process Control, PID Non-linear, water pH.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALSITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR SINGKATAN	xiii
1. PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Sistematika Penulisan	3
2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1.Pengendalian Proses.....	5
2.2.Pengendalian pH	6
2.3.Kontroler PID (Proportional-Integral-Derivatif)	6
2.4.Kontroler PID Nonlinear	7
2.5.Metode First Order Plus Dead Time (FPODT)	10
2.5.1. Rough Model.....	10
2.5.2. Model PRC.....	10
2.6.Metode Penyetelan Pengendali (Controler Tuning Ziegler-Nichols)	10
2.6.1. Metode Ziegler-Nichols (PRC)	10
2.6.2. Metode Ziegler-Nichols (Online)	11
2.7. Analisis Kestabilan	12

3. METODE PENELITIAN	14
3.1.Diagram Alir Penelitian.....	14
3.2.Bahan.....	15
3.3.Peralatan	15
3.4.Prosedur Penelitian	15
3.4.1. Persiapan Larutan Asam-Basa.....	15
3.4.2. Persiapan Kertas Rekorder	16
3.4.5. Percobaan Process Kontrol PID Nonlinear	16
4. HASIL DAN PEMBAHASAN	17
4.1. Identifikasi Sistem.....	17
4.2. Skema Proses S	20
4.3. Skema Proses L.....	33
4.4. Diskusi.....	45
5. KESIMPULAN DAN SARAN	48
5.1. Kesimpulan.....	48
5.2. Saran.....	48
DAFTAR PUSTAKA	49
LAMPIRAN	xiv

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Konstanta PID	11
Tabel 4.1. Tuning pengendalian PID linear skema S	20
Tabel 4.2. Tuning pengendalian PID non-linear skema S modul no.1	21
Tabel 4.3. Tuning pengendalian PID non-linear skema S modul no.2	22
Tabel 4.4. Tuning pengendalian PID non-linear skema S modul no.3	24
Tabel 4.5. Tuning pengendalian PID non-linear skema S tuning no.1	25
Tabel 4.6. Tuning pengendalian PID non-linear skema S tuning no.2	26
Tabel 4.7. Tuning pengendalian PID non-linear skema S tuning no.3	28
Tabel 4.8. Tuning pengendalian PID non-linear skema S tuning no.4	29
Tabel 4.9. Tuning pengendalian PID non-linear skema S tuning no.5	30
Tabel 4.10. Tuning pengendalian PID non-linear skema S tuning no.6	31
Tabel 4.11. Tuning pengendalian PID non-linear skema S tuning no.7	32
Tabel 4.12. Tuning pengendalian PID linear skema L	34
Tabel 4.13. Tuning pengendalian PID non-linear skema L modul no.1	35
Tabel 4.14. Tuning pengendalian PID non-linear skema L modul no.2	36
Tabel 4.15. Tuning pengendalian PID non-linear skema L modul no.3	37
Tabel 4.16. Tuning pengendalian PID non-linear skema L tuning no.1	38
Tabel 4.17. Tuning pengendalian PID non-linear skema L tuning no.2	39
Tabel 4.18. Tuning pengendalian PID non-linear skema L tuning no.3	40
Tabel 4.19. Tuning pengendalian PID non-linear skema L tuning no.4	41
Tabel 4.20. Tuning pengendalian PID non-linear skema L tuning no.5	43
Tabel 4.21. Tuning pengendalian PID non-linear skema L tuning no.6	44
Tabel 4.22 Tuning Pengendalian Skema Percobaan S	46
Tabel 4.23 Tuning Pengendalian Skema Percobaan L	47

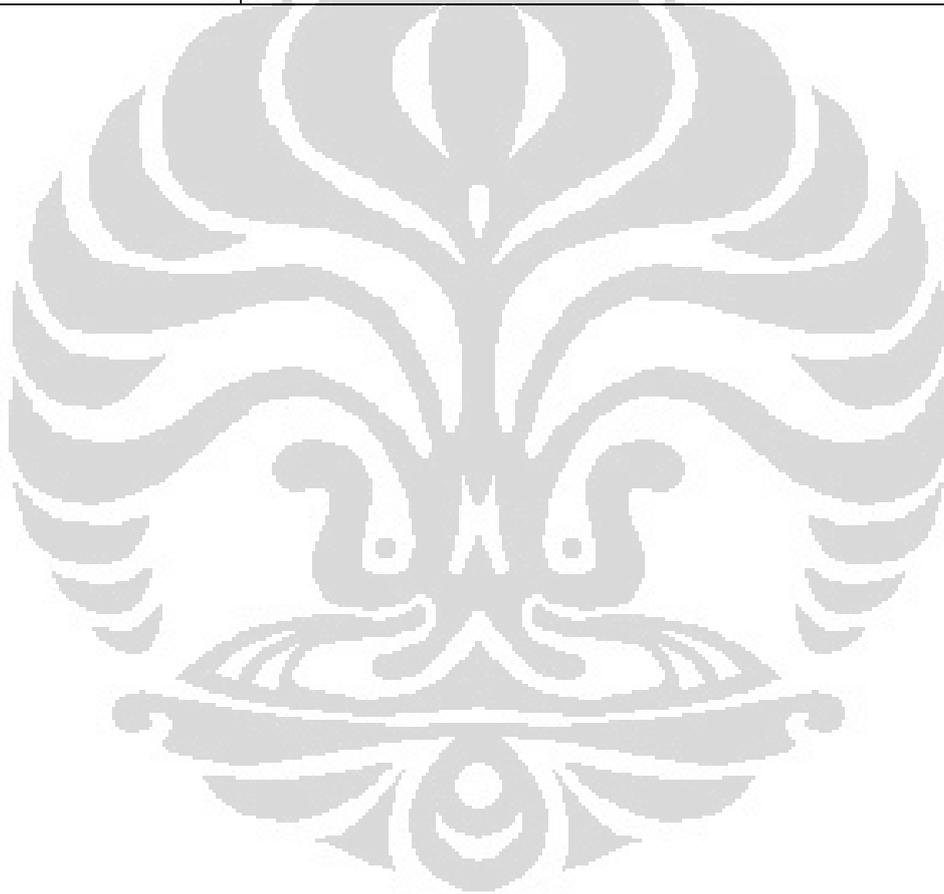
DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Pembagian segmen gain pada proses perubahan pH air	9
Gambar 2.2 Grafik kestabilan.....	12
Gambar 3.1 Diagram Alir Percobaan	14
Gambar 4.1 Diagram Blok Yokogawa Non-linear Controller	17
Gambar 4.2 P&ID Unit Miniplant WA921	19
Gambar 4.3 Respon Kontrol PID linear pada PB= 5%, Ti= 40s, Td= 10s.....	20
Gambar 4.4 Respon Kontrol PID non-linear pada PB= 5%, Ti= 150s, Td= 15s, Gw=38%, Gg=0.1	22
Gambar 4.5 Respon Kontrol PID non-linear pada PB= 5%, Ti= 150s, Td= 15s, Gw=38%, Gg=0.2	23
Gambar 4.6 Respon Kontrol PID non-linear pada PB=10%, Ti=120s, Td=10s, Gw=10%, Gg=0.3	24
Gambar 4.7 Respon Kontrol PID non-linear pada PB= 5%, Ti= 120s, Td= 10s, Gw=10%, Gg= 0.3	26
Gambar 4.8 Respon Kontrol PID non-linear pada PB= 8%, Ti= 120s, Td= 10s, Gw= 10%, Gg= 0.3	27
Gambar 4.9 Respon Kontrol PID non-linear pada PB= 13%, Ti= 120s, Td= 10s, Gw= 10%, Gg= 0.3	28
Gambar 4.10 Respon Kontrol PID non-linear pada PB= 10%, Ti= 80s, Td= 10s, Gw= 10%, Gg= 0.3	29
Gambar 4.11 Respon Kontrol PID non-linear pada PB= 10%, Ti= 160s, Td= 10s, Gw= 10%, Gg= 0.3	31
Gambar 4.12 Respon Kontrol PID non-linear pada PB= 10%, Ti= 120s, Td= 10s, Gw= 10%, Gg= 0.1	32
Gambar 4.13 Respon Kontrol PID non-linear pada PB= 10%, Ti= 120s, Td= 10s, Gw= 10%, Gg= 0.5	33
Gambar 4.14 Respon Kontrol PID linear pada PB= 17%, Ti= 190s, Td= 48s, Gw=0%, Gg= 1	34

Gambar 4.15 Respon Kontrol PID linear pada P b= 5%, Ti= 400s, Td= 40s, Gw=38%, Gg= 0.2	36
Gambar 4.16 Respon Kontrol PID linear pada PB= 5%, Ti= 450s, Td= 40s, Gw=30%, Gg=0.25.....	37
Gambar 4.17 Respon Kontrol PID linear pada PB= 10%, Ti= 280s, Td= 28s, Gw=20%, Gg=0.25	38
Gambar 4.18 Respon Kontrol PID non-linear pada PB= 5%, Ti= 425s, Td= 40s, Gw=38%, Gg= 0.2	39
Gambar 4.19 Respon Kontrol PID non-linear pada PB= 5%, Ti= 425s, Td= 40s, Gw=30%,Gg= 0.25	40
Gambar 4.20 Respon Kontrol PID non-linear pada PB= 5%, Ti= 425s, Td= 40s, Gw=35%,Gg= 0.2	41
Gambar 4.21 Respon Kontrol PID non-linear pada PB= 5%, Ti= 425s, Td= 40s, Gw=35%,Gg= 0.2	42
Gambar 4.22 Respon Kontrol PID non-linear pada PB= 5%, Ti= 400s, Td= 40s, Gw= 30%,Gg= 0.25	43
Gambar 4.23 Respon Kontrol PID non-linear pada PB= 5%, Ti= 400s, Td= 40s, Gw= 30%,Gg= 0.25	44

DAFTAR SINGKATAN

Singkatan	Pengertian
PID	<i>Proportional Integral Derivatif</i>
DR	<i>Decay Ratio</i>
GG	<i>Konstanta Gain</i>
GW	<i>Gain Weight</i>
PRC	<i>Process Reaction Curve</i>
PLC	<i>Programmable Logic Controller</i>
IAE	<i>Integral Absolute Error</i>
SP	<i>Set Point</i>
FOPDT	<i>First Order Plus Dead Time</i>



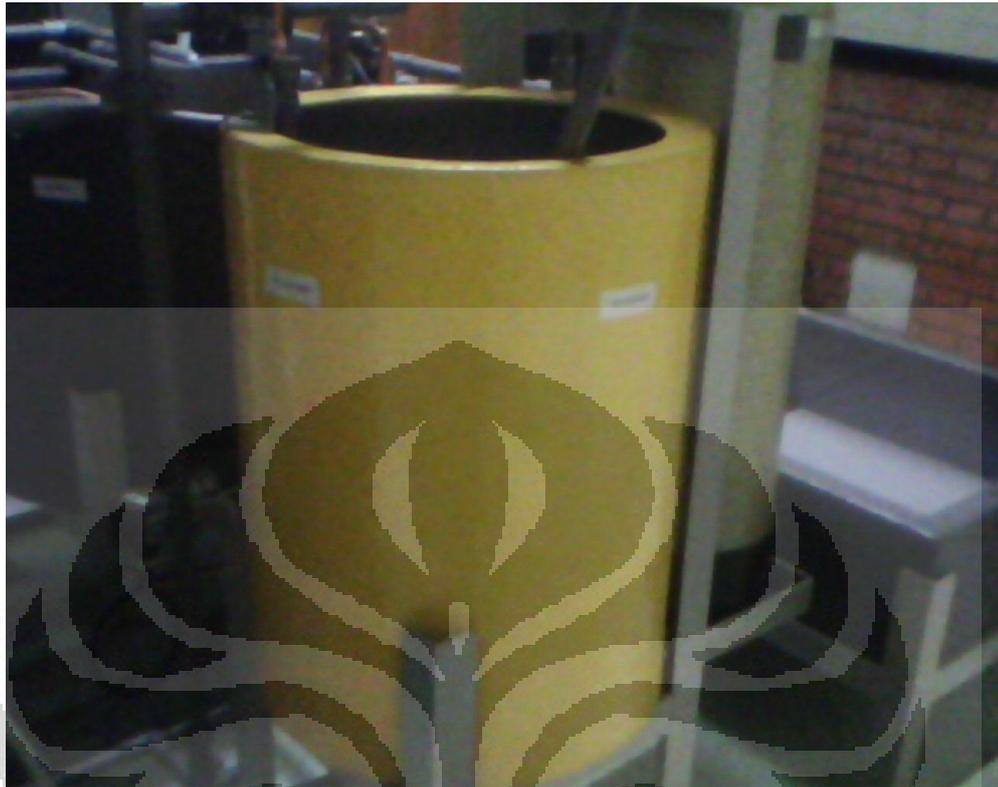
LAMPIRAN



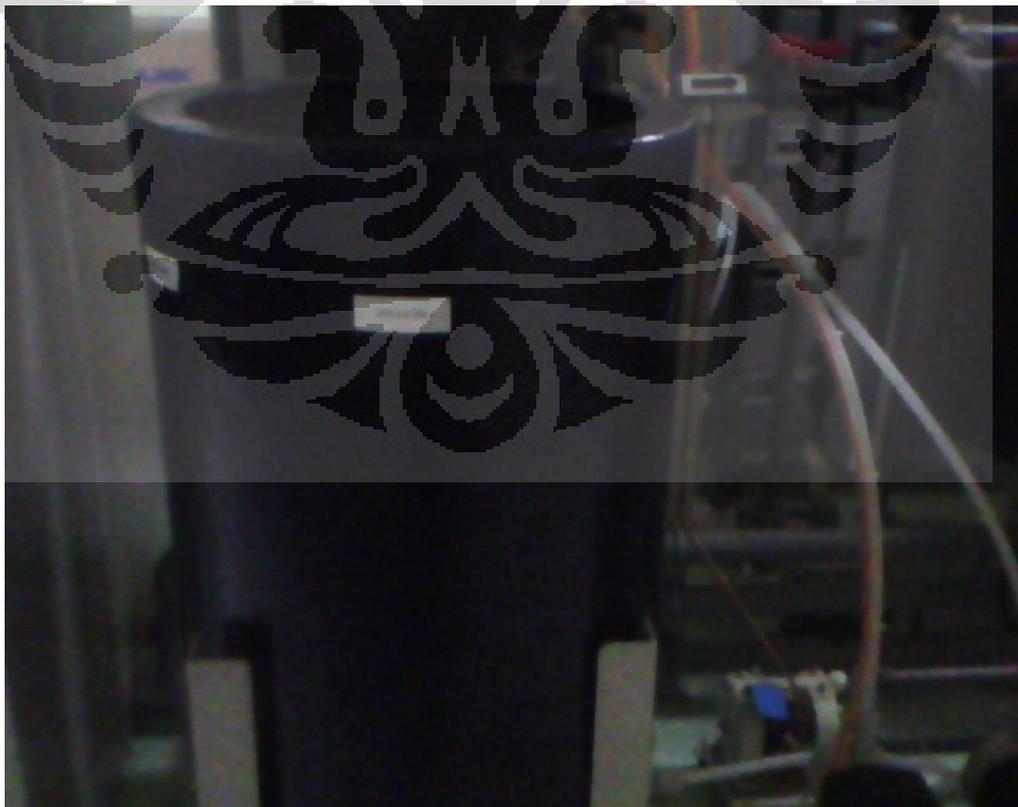
Gambar Tangki Reaksi



Gambar Display Kontroler



Gambar Tangki Larutan Basa



Gambar Tangki Larutan Asam



Gambar Depan Unit Mini Plant WA921

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Setiap aktivitas yang dilakukan oleh manusia cenderung menghasilkan limbah baik berupa padatan, cairan, dan juga gas. limbah cairan (air buangan) pada mulanya adalah sumber air yang telah digunakan pada berbagai macam penggunaan baik dari rumah tangga, lembaga pendidikan, sektor komersial dan industri.

Perkembangan peraturan pengelolaan air limbah pada sektor industri dan komersial mengharuskan ketersediaan fasilitas pengelolaan air limbah proses untuk mengendalikan buangan sebelum dibuang ke lingkungan dengan memperhatikan hubungannya terhadap pertanian, utilitas air dan air buangan, dan masyarakat (Metcalf & Eddy, 2003)

Fasilitas proses pengelolaan air buangan terdiri dari suatu rangkaian unit proses dan sistem kontrol supaya akhir air yang dihasilkan memenuhi standar yang diinginkan. Sistem kontrol pada proses pengelolaan air secara modern merupakan elemen yang paling penting untuk menentukan spesifikasi air yang diinginkan. Parameter-parameter kualitas proses hanya dapat dijaga secara continuous dan ketat dengan menggunakan sistem kontrol. Kualitas proses yang dijaga diantaranya pH. Dalam proses di industri, netralisasi pH terdiri dari berbagai hal kompleks dan multivariable yang non-linear (Chen, 2011).

Saat ini di Labolatorium Pengendalian Proses Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Kimia terdapat unit mini plant WA921 yang bekerja untuk mengolah air buangan asam atau basa seperti yang digunakan di industri. Unit mini plant WA921 ini didatangkan dari Syntek Group, Malaysia menggunakan sistem sensor dan kontrol Yokogawa, yang digunakan sebagai alat untuk membantu mahasiswa/i mempelajari rangkaian proses dan sistem kontrol pada pengolahan air agar memenuhi spesifikasi dan kualitas air sesuai dengan peraturan standar mutu baku air buangan, diantaranya pH dan konduktivitas.

Meskipun buku manual dari unit mini plat WA921 sudah disediakan, namun uji unjuk kerja secara komprehensif belum dilakukan khususnya uji

dengan menggunakan kondisi air lokal. Uji yang pernah dilakukan adalah pengujian pengendalian pH dengan pengendali PID linear, oleh Andy Silaban pada tahun 2009. Padahal reaksi netralisasi yang digunakan untuk pengendalian pH merupakan proses yang tidak linear, sehingga perlu dievaluasi kinerja pengendalian PID non-linearnya. (Valamarthi, 2009).

Unit mini plant WA921 bekerja mengendalikan kualitas air buangan melalui pengontrolan pH, konduktivitas, potensial oksidasi dan reduksi serta oksigen terlarut (Syntek Group, 2009).

Proses pengendalian pada mini plant ini dimulai dengan sistem sensor untuk mendeteksi parameter proses secara langsung pada unit-unit operasi control valve yang bekerja mengendalikan set poin proses pada keadaan tertentu dan proramable logic controller (PLC) untuk menampilkan data proses pada komputer proses dan interface user melakukan manipulasi Proportional (P), Integral (I) dan Derivative (D).

Pada akhir penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran bagaimana sistem pengontrolan air buangan bekerja dan unjuk kerja sistem kontrol pada unit mini plant WA921 yang nantinya dapat digunakan sebagai koreksi/catatan nilai-nilai parameter pengendali PID non-linear pada buku manual. Sehingga performa pengendaliannya memberikan hasil yang terbaik.

1.2 RUMUSAN MASALAH

Belum adanya unjuk kerja dan simulasi proses pengendalian pH dengan PID non-linear menggunakan air lokal pada unit mini plant WA921 membuat semua setting di modul serta hasilnya harus di cek ulang agar kedepannya penggunaan alat bisa lebih baik lagi.

Telah dilakukannya percobaan simulasi pada unit plat ini dengan air dari Selangor, Malaysia yang didokumentasikan pada modul alatnya. Pernah juga dilakukan penelitian untuk kontrol PID linear.

Pembuatan modul yang dilakukan Syntek Group terhadap alat ini menggunakan air yang didapat di Selangor Malaysia, sehingga akan butuh penyesuaian dan koreksi pada buku manualnya jika alat ini digunakan di Indonesia yang pH air yang digunakan berbeda dengan pH air di Malaysia.

1.3 TUJUAN PENELITIAN

1. Mengevaluasi unjuk kerja pengendalian pH unit mini plant WA921.
2. Mengoreksi nilai PID Non-linear pada modul unit mini plant WA921.
3. Memperoleh informasi bagaimana sistem proses kontrol pada alat pengolahan air unit mini plant WA921 sehingga memenuhi standar pH air buangan.

1.4 BATASAN MASALAH

Dalam skripsi ini, batasan – batasan masalah yang dipergunakan adalah:

1. Air yang digunakan pada penelitian ini adalah air yang berasal dari air tanah disekitar lingkungan Labolatorium Pengendalian Proses Fakultas Teknik dan berbeda dengan air yang digunakan sebelumnya pada unit mini plant WA921 yaitu air Selangor, Malaysia.
2. Model kontrol yang diteliti merupakan PID non-linear kontrol dengan konsentrasi larutan asam dan basa 0.01 N.
3. Perubahan masukan hanya dari gangguan pada pH dan setpoint selalu pada pH 7.
4. Aliran asam sebagai aliran proses, sedangkan aliran basa sebagai *Manipulated Variable* (MV).

1.5 SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika penulisan dalam skripsi ini akan dilakukan dengan membagi tulisan menjadi 5 bab, yaitu :

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang latar belakang penelitian dan penulisan, perumusan masalah yang dibahas, tujuan dilakukannya penelitian, serta sistematika penulisan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Berisi tinjauan pustaka yang dijadikan dasar penelitian. Meliputi konsep pengendalian proses, pengontrolan pH, kontroler PID Non-linear, hingga metode untuk tuning nilai PID.

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Berisi diagram alir penelitian, program yang digunakan dalam penelitian, proses simulasi penelitian, dan hasil yang diharapkan dari penelitian.

BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisi hasil penelitian berupa identifikasi sistem, performa kontroler PID non-linear dengan variasi parameter-parameternya.

BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi kesimpulan penelitian dan saran untuk penelitian selanjutnya.



BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengendalian Proses

Pabrik pengolahan adalah suatu susunan dari unit-unit proses (reaktor, alat penukar kalor, pompa, kolom distilasi, absorber, evaporator, tangki dan lain-lain), menjadi suatu kesatuan antara satu dengan yang lainnya dalam suatu rangkaian yang sistematis dan rasional. Secara umum bahwa tujuan dari pabrik tersebut adalah untuk mengolah bahan baku menjadi bahan yang diinginkan menggunakan sumber energi yang tersedia dengan menggunakan metode proses yang paling efektif. Unit mini plant WA921 merepresentasikan proses pengendalian limbah air industri, sehingga kunci pengendalian prosesnya pun sama yaitu pengetahuan kita terhadap karakteristik dinamik atau model prosesnya itu sendiri. Pengetahuan model sangat penting mengingat secara teknis terdapat hubungan antara proses yang akan dikontrol dengan parameter kontroler yang harus di-tunning. Dalam hal ini parameter kontroler optimal pada dasarnya dapat dicari secara lebih pasti (tanpa coba-coba) berdasarkan model dan nilai parameter proses yang diketahuinya (Setiawan, I, 2008).

Pada dasarnya setiap sistem pengendalian melakukan tiga operasi dasar yang harus ada pada sebuah pengendali yaitu (Smith and Corripio, 1985):

1. Pengukuran (measurement) : Pengukuran variable yang akan dikendalikan biasanya dilakukan oleh kombinasi sensor dan transmiter.
2. Memutuskan (decision) : Berdasarkan hasil informasi yang dikirimkan dari pengukuran, pengendali harus memutuskan untuk melakukan apa agar variable yang ingin dikendalikan tetap terjaga pada nilai yang diinginkan.
3. Aksi (action) : Sebagai hasil dari keputusan yang dihasilkan dari alat pengendali, sistem harus melakukan sebuah aksi, biasanya aksi ini dilakukan oleh sebuah alat yang disebut final control element.

2.2 Pengendalian pH

Aplikasi pengendalian pH dapat kita temukan di banyak industri. Proses ini merupakan sistem dinamik yang non-linear serta kompleks yang menjadikannya sebagai tantangan bagi permasalahan di proses pada industri. Dalam beberapa tahun ini pengendali Proporsional Integral Derivatif paling banyak digunakan di berbagai industry untuk melakukan pengendalian pH. Tuning parameter PID sangat penting untuk menentukan performa pengendaliannya. Selama ini tuning yang dilakukan menggunakan metode Ziegler-Nichols ataupun Cohen Coon yang kedua metode ini hanya cocok untuk proses yang linear (Varmathi, 2009).

Proses kontrol pH antara larutan asam dan basa merupakan suatu paduan proses yang bergaris lurus (linear) dan yang tidak bergaris lurus (non linear). Nilai pH versus reagent merupakan fungsi logaritma dimana laju perubahan pH akan sangat cepat sebelum dan sesudah titik netralisasi yaitu pada pH 4 dan 10. pada pH dibawah 4, gain proses relatif kecil sedangkan pada titik netralisasi gain proses mencapai ribuan kali lebih tinggi dibandingkan dibawah pH 4 (Syntek Group, 2009).

Dapat kita lihat pada grafik titrasi, perubahan pH terbagi menjadi 2 bagian, di mana pada pH mendekati 7 grafiknya sangat curam, sedangkan pada pH di atas 10 dan di bawah 4 grafiknya lebih landai. Hal ini menunjukkan perubahan pH yang sangat drastis pada titik mendekati netral, yang mengakibatkan penambahan sedikit saja asam atau basa akan merubah nilai pH secara signifikan (Kang, 2009).

2.3 Kontroler PID (Proporsional-Integral-Derivatif)

Kontrol PID adalah penggabungan ketiga metode kontrol Proporsional, Integral, dan Derivatif. Kontrol PID adalah yang paling umum digunakan dalam industri, hal ini karena model ini menggabungkan keuntungan-keuntungan tiap jenis kontrol. Ini termasuk respon waktu yang lebih cepat karena kontrol P, bersamaan dengan offset yang menurun dari hasil penggabungan kontroler derivatif dan integral. Offset ini dihapuskan dengan penambahan penggunaan kontrol I. Penambahan kontrol D sangat besar

meningkatkan respon kontroler saat digunakan dalam kombinasinya karena hal ini memprediksi gangguan-gangguan ke sistem dengan mengukur perubahan error. Akan tetapi, meskipun kontroler PID kelihatannya sebagai kontroler yang paling cocok, kontroler ini juga merupakan yang paling mahal. Karenanya, cara ini tidak digunakan kecuali jika proses memerlukan akurasi dan kestabilan yang dilakukan oleh kontroler PID.

$$C(t) = K_c e(t) + T_d \frac{de}{dt} + \frac{1}{T_i} \int e(t) dt + C \quad (1)$$

Dimana

- $c(t)$ = keluaran kontroler
- T_i = waktu integral
- K_c = gain kontroler
- T_d = waktu konstan derivative
- $e(t)$ = error
- C = nilai awal kontroler

Seperti yang ditunjukkan oleh persamaan diatas, kontrol PID adalah kombinasi ketiga jenis kontroler. Dalam persamaan ini, gain dikalikan dengan integral dan derivative, mendekati dengan istilah proportional, karena didalam kombinasi kontrol PID, gain mempengaruhi tindakan kontrol I dan juga kontrol D. Karena penggunaan kontrol derivative, kontrol PID tidak dapat digunakan dalam proses dimana terdapat banyak noise, karena noise akan menyebabkan interferensi dengan perkiraan, model proses adalah langkah kedepan. Akan tetapi, kontrol PID digunakan ketika proses memerlukan tidak ada offset dan respon waktu yang cepat.

2.4 Kontroler PID Non-linear

Merupakan kontroler PID yang menggunakan gain non-linear, sehingga parameter yang ada di dalamnya menjadi 5 yaitu 3 untuk kontrol PID (PB%, T_i sec, T_d sec) sedangkan 2 lagi untuk membuat proportional gain $\left[\frac{100}{PB}\right]$ non-linear (GW% dan GG).

Besar controller gain dapat dinaikan dengan cara mengurangi nilai PB % atau menambahkan nilai GG dari 0 – 1. Sebaliknya, nilai controller gain dapat

diturunkan dengan menambahkan nilai PB % atau mengurangi nilai GG dari 0 – 1, dengan catatan bahwa nilai GG hanya akan bereaksi pada daerah yang telah ditentukan oleh GW.

Proses pengendalian PID nonlinear pH air pada percobaan ini tidak terlepas dari grafik titrasi asam basa, karena pengendalian pH yang dilakukan memanfaatkan reaksi netralisasi asam basa dari HCl dan NaOH. Grafik titrasi digunakan untuk memprediksi titik perubahan gain sehingga dapat menentukan nilai GW dan GG. GW merupakan bandwidth di atas dan di bawah setpoint (dalam kasus ini pH = 7), ditunjukkan dalam % pada range pH (2 – 7 – 12).

Sebagai contoh

Jika GW = 10%, maka artinya 10% x 5 pH sehingga range pHnya 6.5 – 7 – 7.5

Jika GW = 40%, maka artinya 40% x 5 pH sehingga range pHnya 5 – 7 – 9

Maka untuk GW = 10% kontrol gainnya akan berjalan sebagai berikut

Saat PV berada pada daerah 6.5 – 7, Gain = $\left[\frac{100}{PB}\right] \times GG$ dimana GG kurang dari 1.0

Sedangkan saat PV berada pada daerah di bawah 6.5 atau di atas 7.5 Gainnya adalah $\left[\frac{100}{PB}\right]$ sama seperti kontrol PID biasa.

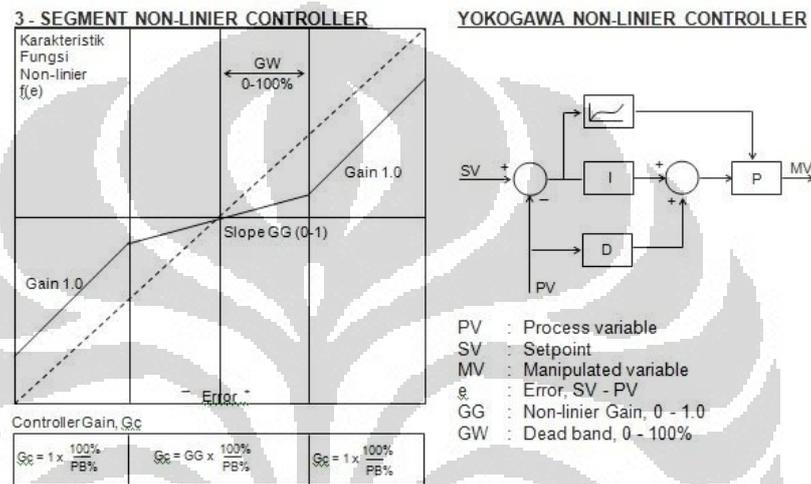
Lalu untuk GW = 40% kontrol gainnya akan sebagai berikut

Saat PV berada pada daerah 5 – 9, Gain = $\left[\frac{100}{PB}\right] \times GG$ dimana GG kurang dari 1.0

Sedangkan saat PV berada pada daerah di bawah 5 atau di atas 9 Gainnya adalah $\left[\frac{100}{PB}\right]$ sama seperti kontrol PID biasa.

Sehingga dapat disimpulkan bahwa GG berfungsi untuk menurunkan nilai kontrol gain normal $\left[\frac{100}{PB}\right]$ dan GW menunjukkan di mana nilai gain $\left[\frac{100}{PB}\right]$ harus diturunkan.

Hal ini dapat dilihat pada gambar 1.1 yang menunjukkan pembagian kurva titrasi menjadi 3 segmen, yaitu segmen 2 segmen menggunakan pengendalian linear dan 1 segmen menggunakan pengendalian nonlinear dengan menggunakan parameter GG dan GW.



Gambar 2.1. Pembagian Segmen Gain Pada Proses Perubahan PH Air

Selain menggunakan kontroler PID sebenarnya ada kontroler yang lain yang dapat digunakan untuk kontroler non-linear diantaranya non-linear fuzzy control. Perbedaan dari kedua kontroler ini adalah untuk kontroler PID digunakan perhitungan error dari rasio output dan inputnya yang nantinya disebut gain, lalu nilai error itulah yang diberikan aksi melalui perhitungan integral ataupun derivative yang nantinya dapat dicari nilai konstanta PIDnya. Sedangkan pada kontroler fuzzy yang digunakan sebagai parameter gainnya adalah error dengan perubahan errornya dimana tujuan akhirnya adalah perubahan error ini harus sama dengan errornya sehingga penjumlahan errornya menjadi 0. Untuk proses non-linear metode ini bisa lebih baik karena kontrolernya sendiri memang memiliki karakteristik nonlinear namun untuk tuningnya memerlukan konstanta PID terlebih dahulu lalu selanjutnya diubah menjadi konstanta pada kontroler fuzzy (Jantze, 1998).

2.5 Metode First Order Plus Dead Time (FOPDT)

2.5.1 Rough Model

Metode ini merupakan sebuah model kasar dari fungsi alih orde tinggi yang disusun secara seri. Fungsi alih untuk FOPDT metode ini yaitu (Marlin, 2000):

$$G = (Ke^{-\theta s})/(\tau s + 1) \quad (2.1)$$

Dengan

$$K = K_1.K_2.K_3.....$$

$$\tau = \tau_i \text{ terbesar dari } \tau_1, \tau_2, \tau_3, \dots$$

$$\theta = (\tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \dots) - \tau_i$$

2.5.2 Model PRC (Precess Reaction Curve)

Metode ini yaitu pendekatan model dengan pendekatan sistem orde tinggi menjadi orde satu dari respon hasil siklus terbuka. Metode pendekatan yang digunakan dengan model ini ada dua macam metode. Metode pertama dengan menggunakan gradien (slope) maksimum dari grafik respon siklus terbuka (Marlin, 2000). Sedangkan metode kedua dan ketiga juga menggunakan grafik yang sama tetapi dengan menggunakan data respon mencapai 28% dan 63% dari nilai akhir respon siklus terbuka untuk Cecil L Smith (Smith dan Corripio, 1985) dan 35,3% dan 85,3% untuk Sundaresh dan Krishnaswamy.

2.6 Metode Penyetelan Pengendali (Controller Tuning) Ziegler Nichols

Hasil FOPDT yang diperoleh baik dari metode rough model maupun dengan PRC disebut dengan model dari proses yang kemudian konstanta-konstantanya akan dipakai untuk mencari nilai dari konstanta pengendali PID. Langkah ini disebut sebagai penyetelan alat pengendali (tuning). Penyetelan ini ada beberapa metode, sedangkan metode yang akan dibahas adalah metode Ziegler Nichols.

2.6.1 Metode Ziegler – Nichols (PRC)

Metode ini menggunakan persamaan sederhana untuk mencari korelasi dari pendekatan orde satu sistem untuk mencari nilai-nilai konstanta pengendali PID. Metode ini didasarkan terhadap reaksi sistem loop

terbuka. Plant sebagai loop terbuka dikenaisinyal fungsi tangga, reaksi-reaksi sistem akan berbentuk S. Kurva berbentuk S mempunyai dua konstanta, waktu mati (dead time) dan time constant. Tabel di bawah ini merupakan persamaan-persamaan yang digunakan pada metode Ziegler – Nichols untuk mendapatkan K_c , τ_i , τ_d , untuk pengendali P, PI, dan PID. Model fungsi alih pengendali dengan metode Ziegler – Nichols yang diperoleh setelah penyetelan yaitu seperti persamaan gain transmitter.

Tabel 2.1. Konstanta PID

Jenis Kontroler	Proportional Gain (K_c)	Integral Time (τ_i)	Derivative Time (τ_d)
P	$1/K (\theta/\tau)^{-1}$	-	-
PI	$0.9/K (\theta/\tau)^{-1}$	3.33θ	-
PID	$1.2/K (\theta/\tau)^{-1}$	2.0θ	$\frac{1}{2} \theta$

2.6.2 Metode Ziegler – Nichols (Online)

Metode Ziegler - Nichols digunakan untuk tuning pengendalian PID linear dengan *time lag* dan *integrator*. Tuning dilakukan dengan mendapatkan *decay ratio* dalam 1 *quarter*. *Decay ratio* merupakan jarak diantara 2 puncak setelah perubahan masukan *step* (Jantze, 1998). Metode ini berbeda dengan metode sebelumnya karena konstanta pengendali diperoleh dengan cara yang lain tanpa melakukan PRC pada model proses tetapi dengan langkah-langkah sebagai berikut (Smith and Corripio, 1985):

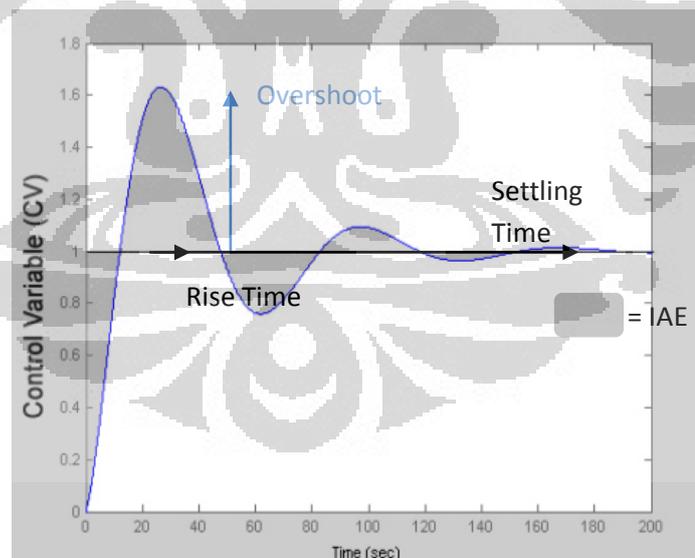
1. Mengatur pengendali menjadi Automatis
2. Mengatur pengendali ke jenis proporsional saja (τ_i maksimum, $\tau_i=0$)
3. Mengubah harga K_c tau PB (propotional band = $100/K_c$) sehingga responnya beresilasi penuh atau siklik)

Dari metode ini akan didapatkan K_c yang disebut K_{cu} (ultimate controller gain) yaitu nilai K_c yang mampu menghasilkan respon beresilasi penuh dan perioda osilasi yang disebut T_n (time ultimate). Penelaan parameter PID didasarkan terhadap edua konstanta hasil eksperimen K_{cu} dan T_n . Kemudian akan diperoleh K_c , τ_i , dan τ_d untuk

pengendali P, PI, PID. Dari konstanta-konstanta di atas diperoleh fungsi alih pengendali dengan memasukkan nilai yang diperoleh ke dalam fungsi alih seperti persamaan gain sensor transmitter.

2.7 Analisis Kestabilan

Penentuan konstanta pengendali merupakan suatu hal yang penting untuk mendapatkan kinerja pengendali yang optimum diantaranya, IAE atau Integral Absolute error-nya minimum. IAE menunjukkan luas daerah antara perbedaan grafik variable yang dikontrol dengan grafik input dalam hal ini set point, dengan demikian IAE minimum juga menunjukkan *osilasi*, *overshoot*, *settling time*, dan *rise time* yang minimum juga, seperti ditunjukkan pada gambar. Kriteria pengendalian yang baik mempertimbangkan respon dengan osilasi, *overshoot* (puncak grafik respon), *settling time* (waktu untuk mencapai 5% kestabilan), dan *rise time* (waktu untuk mencapai set point) yang minimum serta tidak memiliki *offset* (penyimpangan dari set point) pada waktu kestabilan tercapai.



Gambar 2.2 Grafik Kestabilan

Penentuan konstanta pengendali merupakan suatu hal yang penting untuk mendapatkan kinerja pengendali yang optimum diantaranya, IAE atau Integral Absolute error-nya minimum. IAE menunjukkan luas daerah antara perbedaan grafik variable yang dikontrol dengan grafik input dalam hal ini set

point, dengan demikian IAE minimum juga menunjukkan osilasi, overshoot, settling time, dan rise time yang minimum juga, seperti ditunjukkan pada gambar. IAE dapat dihitung dengan

$$IAE = \int |SP(t) - CV(t)| dt \quad (2.2)$$

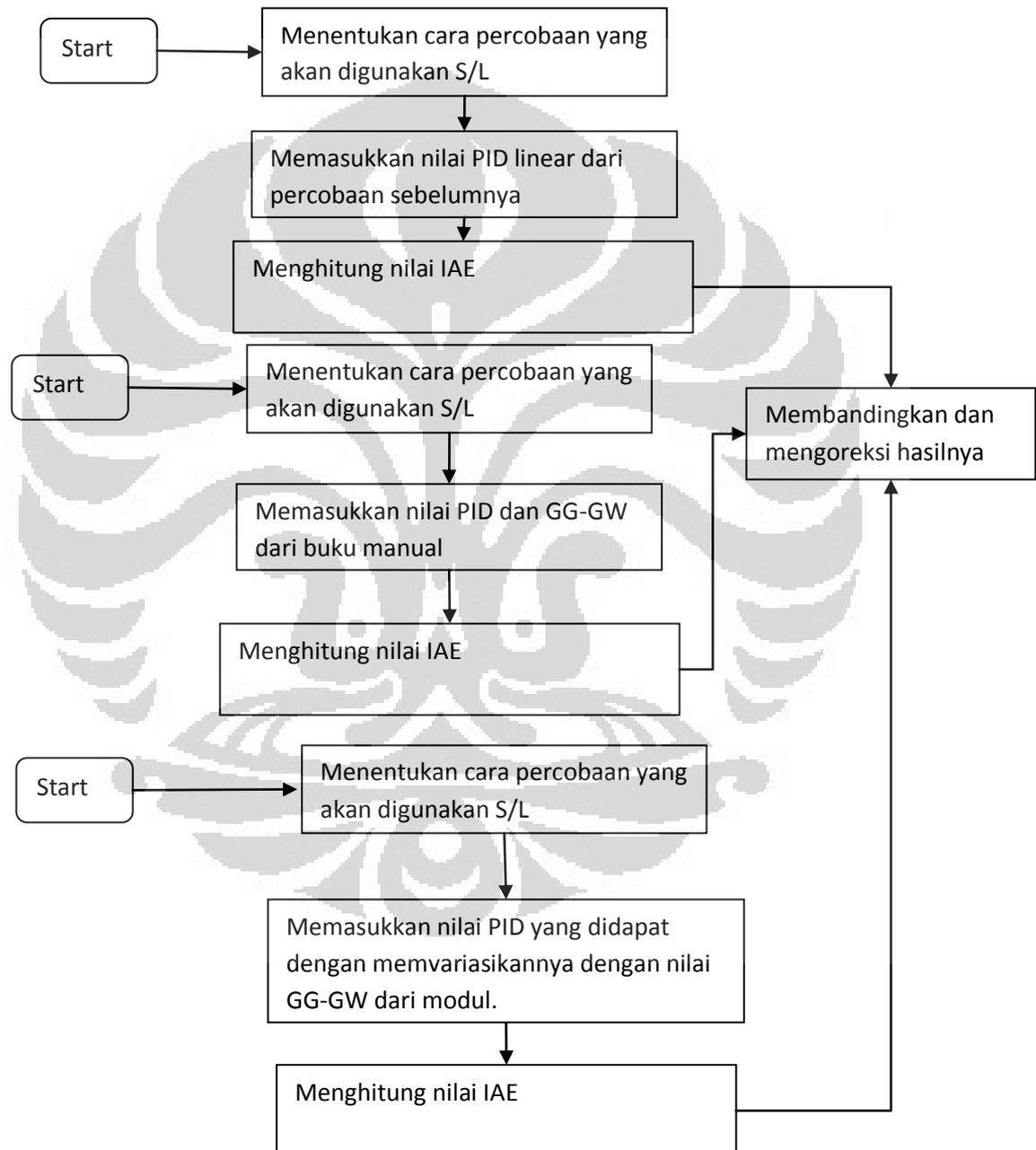
Kriteria pengendalian yang baik mempertikan respon dengan osilasi, overshoot (puncak grafik respon), settling time (waktu untuk menmcapai 5% kestabilan), dan rise time (waktu untuk mencapai set point) yang minimum serta tidak memiliki offset (penyimpangan dari set point) pada waktu kestabilan tercapai. (Wahid, 2005)



BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini akan dilakukan dengan tahapan-tahapan sebagai berikut:



Gambar 3.1. Diagram Alir Percobaan

3.2 Bahan

1. Larutan asam (HCl)
2. Larutan basa (NaOH)

3.3 Peralatan

1. Unit mini plant model WA921
2. Kompresor
3. Timbangan 100 gr
4. Gelas Ukur 100 ml
5. Pipet tetes
6. Batang pengaduk

3.4 Prosedur Penelitian

3.4.1 Persiapan Larutan Asam-Basa

Menyiapkan larutan asam

1. Siapkan air pada T52 (tangki) sampai garis level batas yang ada pada bagian tangki sejumlah 70 L.
2. Ambil dan ukur 19.62 ml larutan H₂SO₄ 98% pada gelas ukur 50 ml.
3. Tuangkan secara perlahan larutan H₂SO₄ kedalam T52 sambil diaduk hingga merata. Dengan ini kita mendapatkan larutan asam H₂SO₄ dengan konsentrasi 0.01 N.

Menyiapkan larutan basa

1. siapkan air pada T51 sampai garis level batas yang ada pada bagian tangki sejumlah 70 L.
2. Ambil dan timbang 28.3 NaOH 99% yang berbentuk granula 98% pada wadah 1 atau 2 L dan menggunakan air pada T51 yang sudah diukur sebanyak 70 L.

Tuangkan secara perlahan larutan NaOH pada wadah tersebut kedalam T51 sambil diaduk hingga merata. Dengan ini kita mendapatkan larutan basa NaH dengan konsentrasi 0.01N.

3.4.2 Persiapan Tinta dan Kertas Recorder

Tinta dan kertas recorder disiapkan dengan memasukkan kertas dan tinta pada unit PLC yang tersedia di mini plant WA921.

3.4.3. Percobaan Process Control PID Non-linear

Percobaan process kontrol PID dilakukan secara non-linear control secara otomatis (closed loop) dengan cara S dan L. Cara S merupakan cara kontrol dimana aliran asam dan basa dari tangki pompa asam (P52) dan pompa basa (P51) langsung dimasukkan ke wadah sensor (W53) tanpa melalui tangki process (T53), konfigurasi ini akan menghasilkan proses pH dengan dead time dan time constan yang singkat. Cara S ini dilakukan dengan membuka manual valve 2 serta 3 dan menutup valve 1 serta 4. Sebaliknya cara L merupakan cara kontrol dimana aliran asam dan basa dilewatkan terlebih dahulu ke tangki process (T53) sebelum dimasukkan ke wadah sensor (W53), konfigurasi ini akan menghasilkan proses pH dengan dead time dan time constant yang panjang. Cara L ini dilakukan dengan membuka manual valve 1 serta 4 dan menutup manual valve 2 serta 3. perbedaan kedua cara S dan L ini sebetulnya hanya terletak pada penempatan sensornya. Pada cara S, sensor ditempatkan sebelum tangki proses, sedangkan pada cara L, sensor ditempatkan sesudah tangki proses.

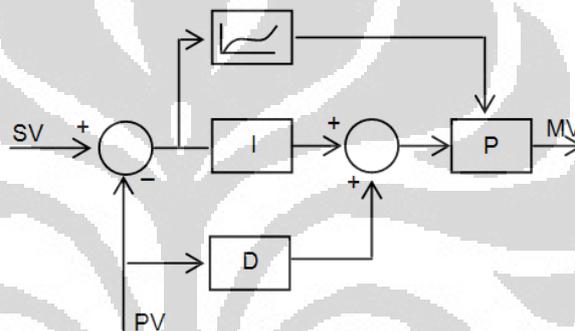
Pada percobaan pertama akan dilakukan pengendalian PID linear, dimana hasilnya akan dijadikan sebagai pembanding bagi pengendalian secara non-linear. Sedang untuk percobaan pengendalian PID non-linear akan dilakukan dengan 2 cara. Cara pertama akan menggunakan nilai-nilai parameter PID non-linear yang didapat dari modul, sedangkan pada cara kedua, nilai-nilai parameter non-linear akan didapat dari *trial and error* berdasarkan petunjuk *rule of thumbs* dari buku manual. Percobaan akan dilakukan dengan cara memasukkan semua setting parameter pengendalian, lalu menjalankannya dalam mode automatic. Selanjutnya pH akan diturunkan sampai 3.8 dengan cara mematikan pompa basa. Ketika pH sudah mencapai 3.8 maka pompa basa akan dihidupkan kembali.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Identifikasi Sistem

Unit WA921 merupakan miniplat dari proses pengolahan limbah pabrik, dalam hal ini proses pengendalian pH air. Oleh karena itu reaksi yang terjadi pada unit ini merupakan reaksi netralisasi asam-basa. Asam yang digunakan merupakan asam kuat (H_2SO_4) sedangkan basa yang digunakan adalah basa kuat ($NaOH$). Proses pengendalian yang terjadi merupakan *Closed Loop Control* seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Diagram Blok Yokogawa Non-linear Controller
(Yokogawa WA921 Handbook)

Dalam hal ini yang PV merupakan keluaran pH yang dihasilkan sistem, SV merupakan pH yang kita inginkan, sedangkan MV yang merupakan *Manipulated Variable* adalah spm (*stroke per minute*) dari pompa aliran basa, yang nantinya akan mempengaruhi laju alir basa.

Penjelasan proses pengendalian pH pada unit ini secara umum adalah sebagai berikut. Tangki 52 berisi larutan encer asam sulfat (H_2SO_4), sedangkan tangki T51 mengandung larutan encer $NaOH$. Pengendalian netralisasi hingga titik akhir (SV) pH 7 dilakukan dengan kontroler PID pHIC51 yang akan mengatur pompa larutan basa terhadap asam yang dibuang dari tangki P52. Untuk meningkatkan pengadukan, yang homogen maka asam dan basa dapat dimasukkan kedalam pompa sirkulasi P53A. Pengadukan yang baik akan selesai di dalam pompa 53A dan pada pipa

pengeluaran, khususnya pada aliran static mixer termasuk elbow dan valve. Untuk asam dan basa kuat dengan waktu reaksi yang cepat, reaksi netralisasi diharapkan dapat tercapai selesai pada keluaran pipa P53A. *Analyzer* pH (PHIT51) dan potensial oksidasi-reduksi (ORPPIT51) diukur dengan merendam elektroda (pHE51, ORPE51) kedalam wadah pengukur W53. Tampilan dan penunjuk pH atau potensial oksidasi-reduksi berada di kontrol panel dimana pHIT51 dan ORPIT51 ditempatkan. Isi tangki T53 hanya bisa dibuang jika nilai pH berada pada rentang yang diijinkan (6 sampai 8 atau 8.5), hal ini diatur oleh kontroller ON/OFF pH pHIC51, yang secara otomatis membuka solenoid valve pHSV51, yang kemudian mengalirkan udara untuk membuka control valve pHCV51 untuk melakukan pembuangan.

Skenario pengendalian pada unit miniplant ini bisa dilakukan dalam 2 skema, diantaranya yaitu:

- Cara L

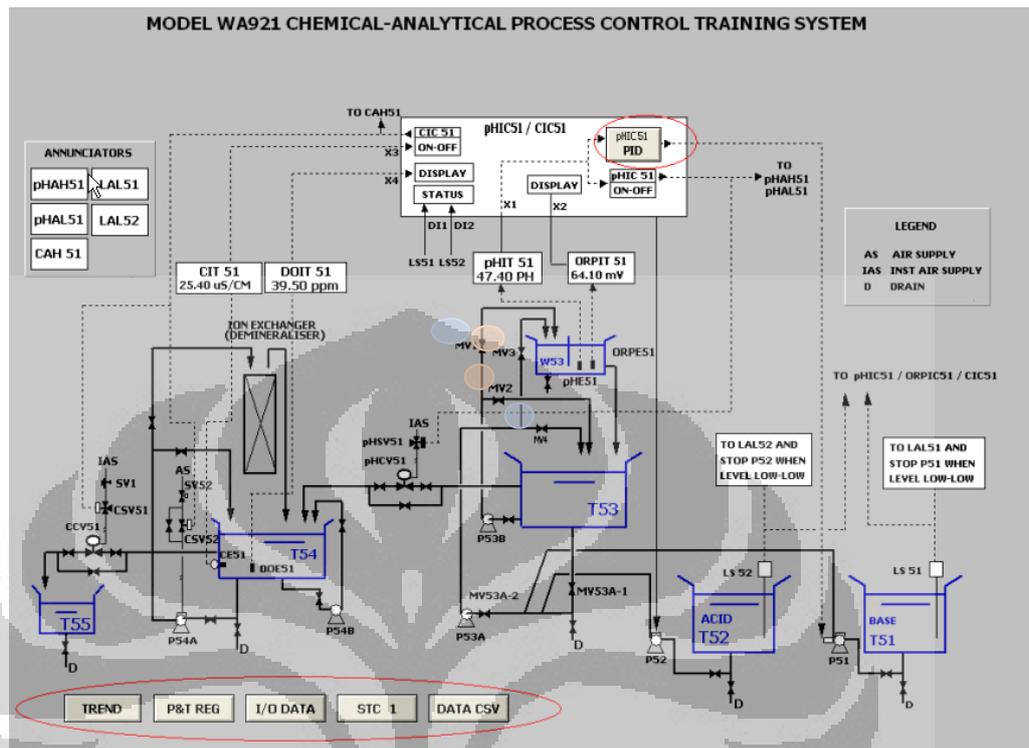
Jika tangki T53 digunakan sebagai tangki reaksi dalam loop pengendalian pH, dampaknya adalah untuk menambahkan gain rendah-time konstan tinggi kapasitas lag dan dead time kedalam proses. Cara pengendalian proses ini dilakukan dengan membuka manual valve MV1/MV1 dan menutup MV2/MV3.

- Cara S

Jika tangki T53 digunakan hanya untuk memperlancar bagian bawah diluar loop kontrol pH, lag gain kapasitas yang rendah dan dead time karena tangki T53 diabaikan. Cara pengendalian proses ini dilakukan dengan menutup manual valve MV1/MV4 dan membuka MV2/MV3.

Tangki T54 menerima aliran buangan dari tangki T53 dengan aliran gravitasi dan diaduk dengan mensirkulasi ulang melalui pompa P54B. Konduktivitas (CIT51) dan oksigen terlarut (DOIT51) diukur pada keadaan ini dengan merendam elektroda (CE51, DOE51) kedalam tangki T54. tampilan dan indikasi konduktivitas dan oksigen terlarut berad di control panel dimana CIT51 dan DOIT51 dipasang. Untuk untuk dapat

memahami lebih jelas lagi terkait alur proses pengendalian yang terjadi pada unit ini maka dapat dilihat pada gambar 4.2.



Gambar 4.2. P&ID Unit Miniplant WA921
(Yokogawa WA921 Handbook)

4.2 Skema Proses S

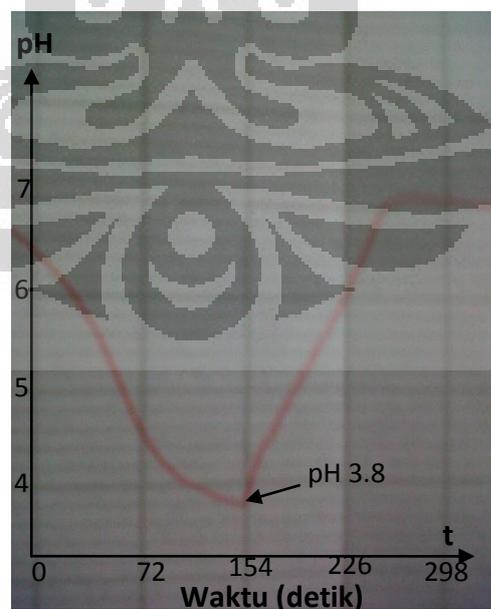
4.2.1 Pengendali PID (Linear)

Pengendalian ini merupakan pengendalian PID linear, nilai-nilai PB, Ti, dan Td yang digunakan didapat dari hasil penelitian Andy Silaban (2009) seperti ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Tuning pengendalian PID linear skema S

Parameter	Nilai
PB	5 %
Ti	40 s
Td	10 s
Gw	0 %
Gg	1

Nilai-nilai ini dipakai karena berdasarkan percobaan yang dilakukan oleh yang bersangkutan, nilai-nilai tersebut merupakan nilai-nilai yang memberikan performa pengendalian terbaik untuk pengendalian PID linear jika dibandingkan dengan nilai-nilai yang diberikan oleh modul. Grafik pengendaliannya dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Respon Kontrol PID linear pada PB= 5%, Ti= 40s, Td= 10s

Percobaan yang dilakukan dimulai dengan menurunkan pH pada titik 3.8 dengan cara mematikan pompa yang mengalirkan basa P51. Ketika pH sudah mencapai titik 3.8, maka pompa basa P51 akan dihidupkan kembali.

Respon yang didapat terlihat pengendalian yang dilakukan cukup baik. Hal ini terlihat dari *overshoot* yang hanya 3.125%. *Overshoot* yang baik berada di bawah 25%. Jika *overshoot* melebihi angka tersebut maka dikhawatirkan kinerja katub dalam proses pengendalian akan terlalu berat (Martin, 2000). Nilai *Rise Time* pun termasuk cepat, yaitu 100.8 detik, dengan nilai IAE sebesar 223 mm².

4.2.2 Pengendali PID Non-Linear

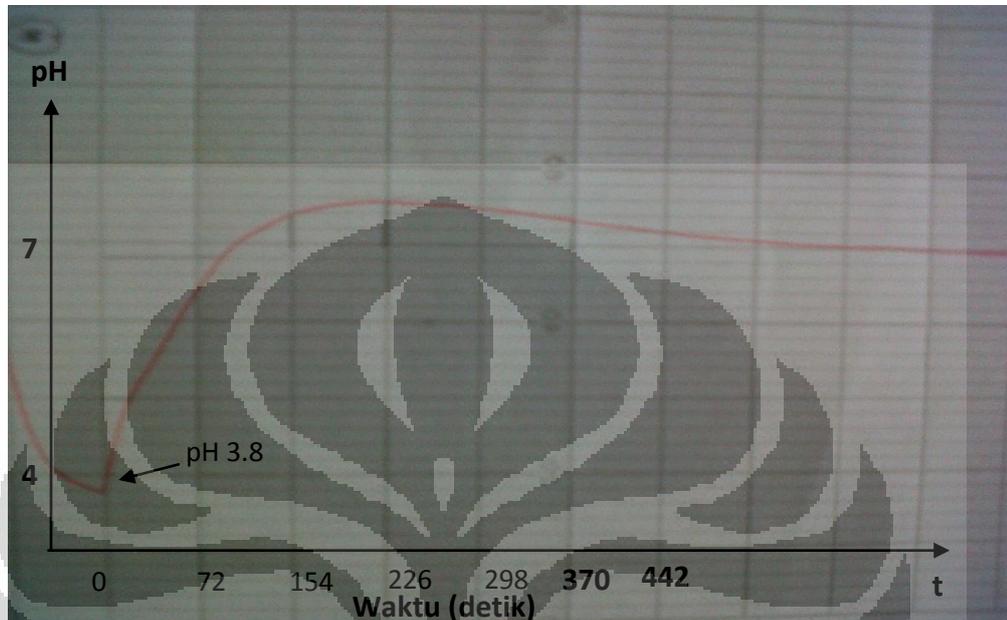
4.2.2.1 Modul No. 1

Pengendalian ini merupakan Pengendalian PID non-linear, nilai-nilai PB, Ti, Td, Gw, dan Gg yang digunakan didapat dari buku manual unit miniplant WA921 dari Yokogawa. Nilai-nilai ini dipakai sebagai pembandingan dari performa pengendalian secara PID linear dan juga sebagai acuan awal untuk mencari parameter-parameter pengendalian PID non-linear yang baru yang diharapkan nantinya memberikan performa pengendalian yang lebih baik dari parameter-parameter yang sudah diberikan oleh modul. Untuk modul 1 nilai-nilai parameter pengendali PID Nonlinearnya dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Tuning pengendalian PID non-linear skema S modul no.1

Parameter	Nilai
PB	5 %
Ti	150 s
Td	15 s
Gw	38 %
Gg	0.1

Hasil pengendaliannya dapat dilihat pada Gambar 4.4. Respon yang didapat tidak sebaik sebelumnya. Nilai *overshoot* mencapai 18% dengan IAE sebesar 378, dan *rise time* 100,8.



Gambar 4.4 Respon Kontrol PID non-linear pada $PB= 5\%$, $T_i= 150s$, $T_d= 15s$, $G_w=38\%$, $G_g=0.1$

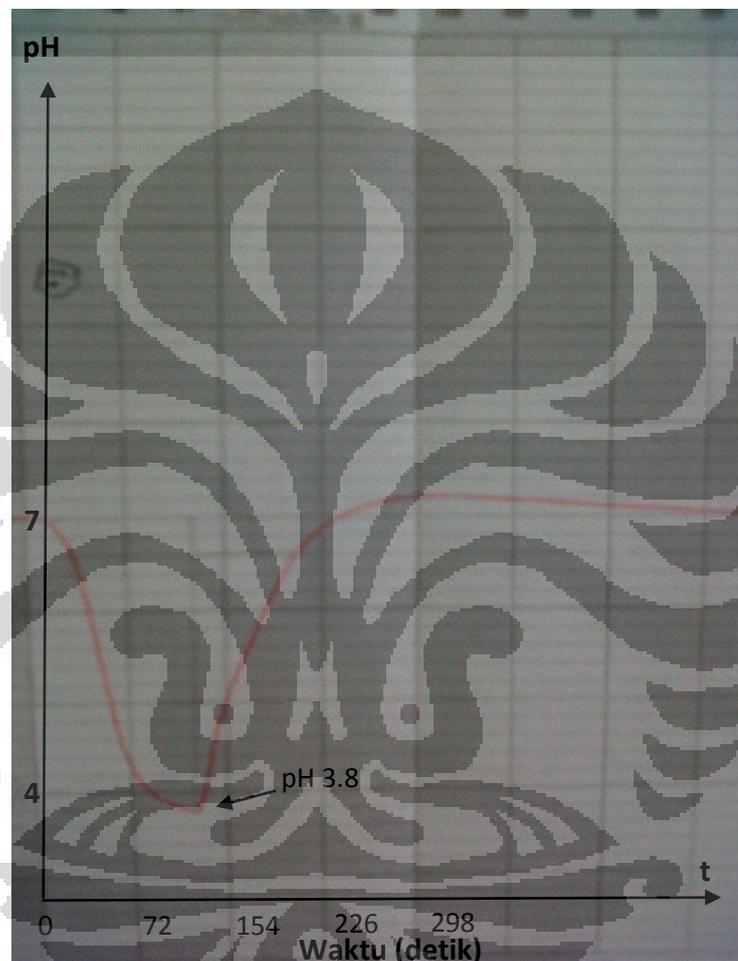
4.2.2.2 Modul No. 2

Untuk pengujian modul no.2 menggunakan nilai parameter pengendali PID Nonlinear sebagaimana ditunjukkan oleh Tabel 4.3.

Tabel 4.3. Tuning pengendalian PID non-linear skema S modul no.2

Parameter	Nilai
PB	5 %
Ti	150 s
Td	15 s
Gw	38 %
Gg	0.2

Hasil pengendaliannya dapat dilihat pada Gambar 4.5. Respon yang didapat menunjukkan kinerja yang lebih bagus dari pengendalian PID linear, dengan IAEnya sebesar 213, meskipun nilai *overshoot* mencapai 6%, lebih besar disbanding PID linear, dan nilai *rise time* yang sama dengan pengendalian PID linear sebesar 100.8 s.



Gambar 4.5 Respon Kontrol PID non-linear pada $PB= 5\%$, $T_i= 150s$, $T_d= 15s$, $G_w=38\%$, $G_g=0.2$

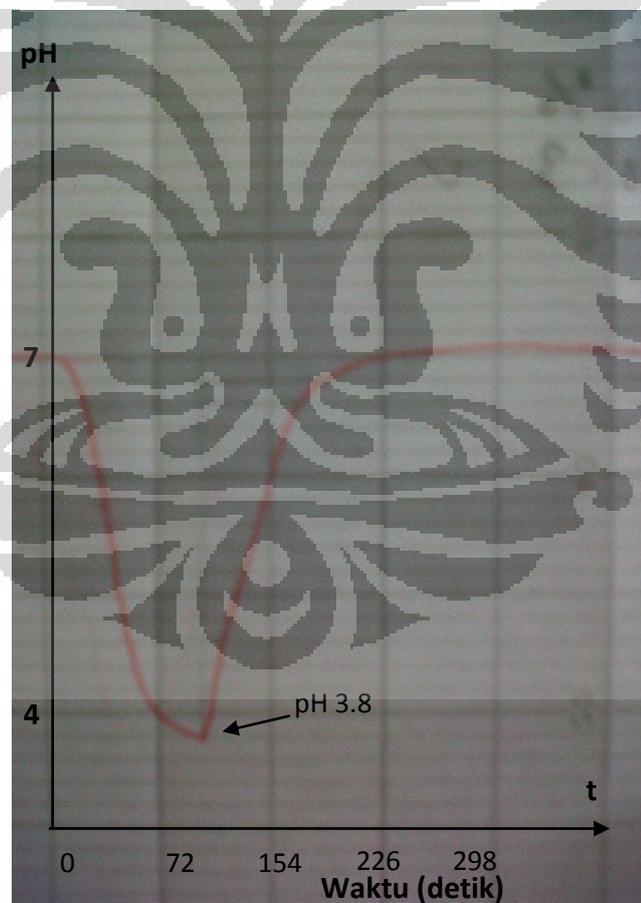
4.2.2.3 Modul No. 3

Percobaan ini merupakan percobaan PID non-linear, nilai-nilai PB , T_i , T_d , G_w , dan G_g yang digunakan didapat dari buku manual unit miniplant WA921. Nilai-nilai parameternya dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4. Tuning pengendalian PID non-linear skema S modul no.3

Parameter	Nilai
PB	10 %
Ti	120 s
Td	10 s
Gw	10 %
Gg	0.3

. Sedangkan grafik kinerja pengendaliannya dapat dilihat pada Gambar 4.6. Respon yang didapat menunjukkan performa yang lebih bagus dari pengendalian PID linear, dengan tidak adanya *overshoot* dan nilai IAE sebesar 154, walaupun nilai *rise time* lebih besar dari pengendalian linear.



Gambar 4.6 Respon Kontrol PID non-linear pada PB=10%, Ti=120s, Td=10s, Gw=10%, Gg=0.3

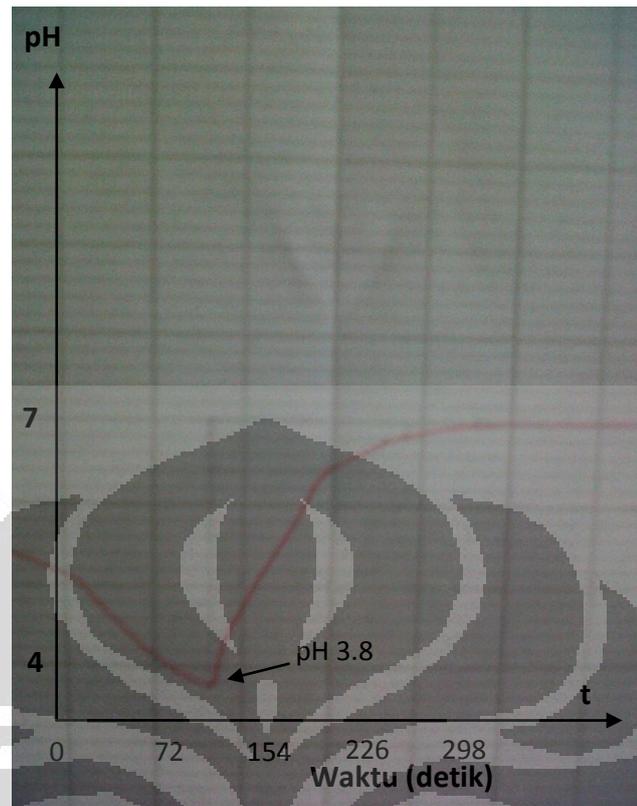
4.2.2.4 Tuning No. 1

Percobaan ini merupakan percobaan PID non-linear, nilai-nilai PB, Ti, Td, Gw, dan Gg yang digunakan menggunakan *rule of thumbs* serta variasi dari nilai-nilai yang didapat dari buku manual unit miniplant WA921. Nilai-nilai ini dipakai sebagai pembanding dari performa pengendalian secara PID linear dan pengendalian PID non-linear dari modul, nilai parameter-parameter ditunjukkan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5. Tuning pengendalian PID non-linear skema S tuning no.1

Parameter	Nilai
PB	5 %
Ti	120 s
Td	10 s
Gw	10 %
Gg	0.3

Respon yang didapat menunjukkan performa yang kurang bagus dari pengendalian PID linear, dengan tidak adanya *Overshoot* dan nilai IAE yang lebih besar dari pengendali linear sebesar 275.4, dengan *rise time* 241.2 s. Grafik pengendaliannya dapat dilihat pada gambar 4.7.



Gambar 4.7 Respon Kontrol PID non-linear pada $PB= 5\%$, $Ti= 120s$, $Td= 10s$, $Gw=10\%$, $Gg= 0.3$

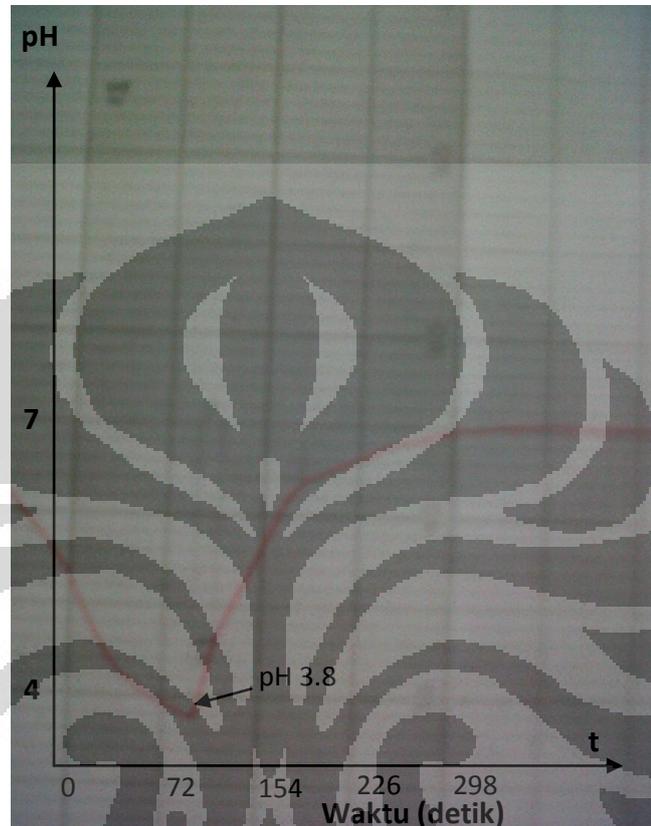
4.2.2.5 Tuning No. 2

Percobaan ini merupakan tuning kedua yang nilai-nilai ini dipakai sebagai pembandingan dari performa pengendalian secara PID linear dan pengendalian PID non-linear dari modul, nilai parameter-parameter dapat dilihat dari Tabel 4.6

Tabel 4.6. Tuning pengendalian PID non-linear skema S tuning no.2

Parameter	Nilai
PB	8 %
Ti	120 s
Td	10 s
Gw	10 %
Gg	0.3

Respon yang didapat menunjukkan performa yang kurang bagus bagus dari pengendalian PID linear, dengan tidak adanya *Overshoot* dan nilai IAE sebesar 239.5, dengan *rise time* 194.4 s. Grafik pengendaliannya dapat dilihat pada gambar 4.8.



Gambar 4.8 Respon Kontrol PID non-linear pada $PB= 8\%$, $T_i= 120s$, $T_d= 10s$, $G_w= 10\%$, $G_g= 0.3$

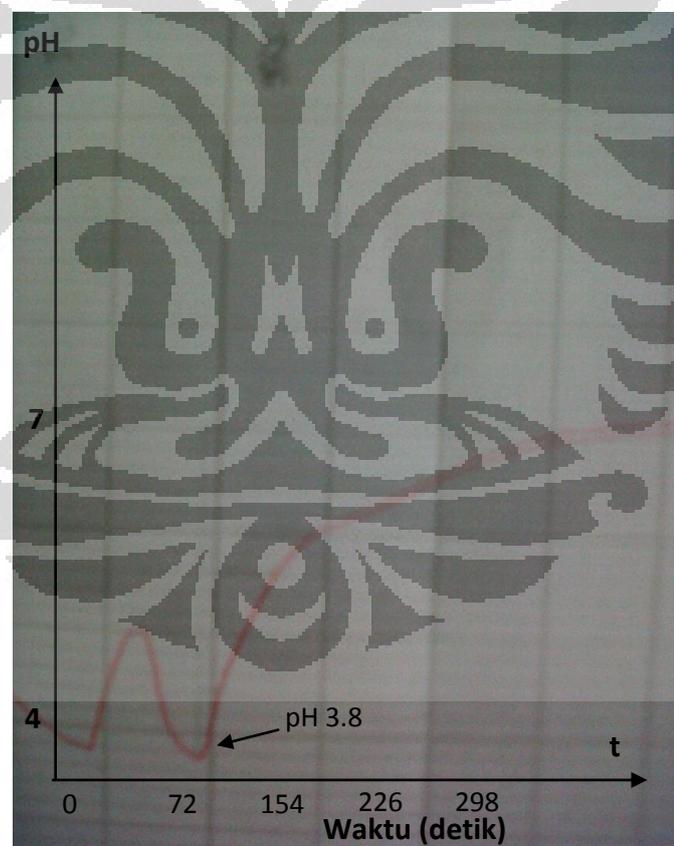
4.2.2.6 Tuning No. 3

Tuning ketiga diganti nilai PB , dengan harapan akan meningkatkan *gain* yang bisa meningkatkan waktu pengendalian. Parameter pengendalian untuk tuning ketiga dapat dilihat pada Tabel 4.7

Tabel 4.7. Tuning pengendalian PID non-linear skema S tuning no.3

Parameter	Nilai
PB	13 %
Ti	120 s
Td	10 s
Gw	30 %
Gg	0.3

Respon yang didapat menunjukkan performa yang kurang bagus dari pengendalian PID linear, dengan *overshoot* 3% dan nilai IAE sebesar 590, dengan *rise time* sebesar 223.2. Grafik pengendaliannya dapat dilihat pada gambar 4.9.



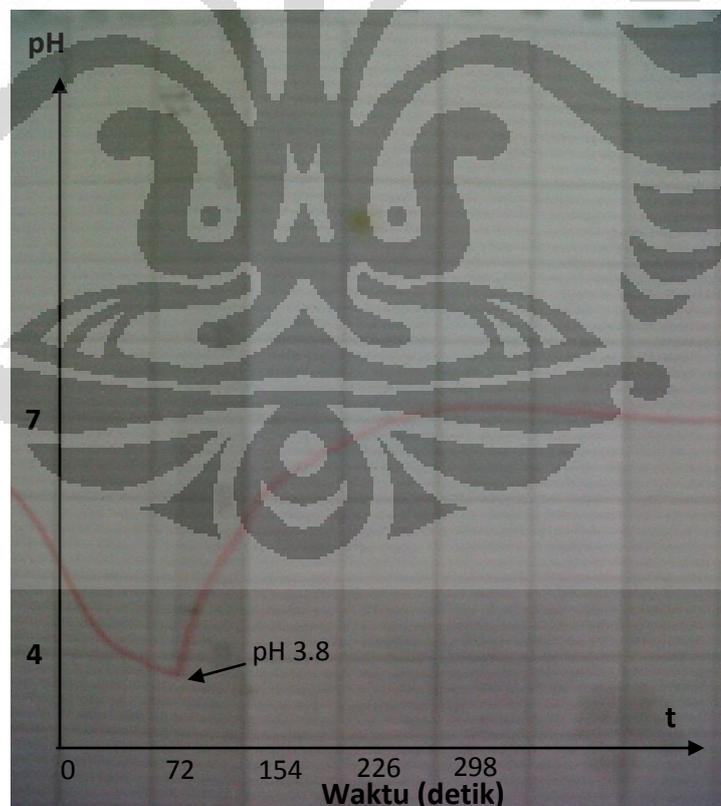
Gambar 4.9 Respon Kontrol PID non-linear pada PB= 13%, Ti= 120s, Td= 10s, Gw= 10%, Gg= 0.3

4.2.2.7 Tuning No. 4

Tuning ketiga diganti nilai PB dengan menurunkannya, dengan harapan akan mengurangi *overshoot* yang akan mengurangi nilai IAE. Parameter pengendalian untuk tuning ketiga dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8. Tuning pengendalian PID non-linear skema S tuning no.4

Parameter	Nilai
PB	10 %
Ti	80 s
Td	10 s
Gw	10 %
Gg	0.3



Gambar 4.10 Respon Kontrol PID non-linear pada PB= 10%, Ti= 80s, Td= 10s, Gw= 10%, Gg= 0.3

Respon yang didapat menunjukkan performa yang kurang bagus dari pengendalian PID linear, dengan *overshoot* 5% dan nilai IAE sebesar 260, dengan *rise time* 180 s. Grafik pengendaliannya dapat dilihat pada gambar 4.10.

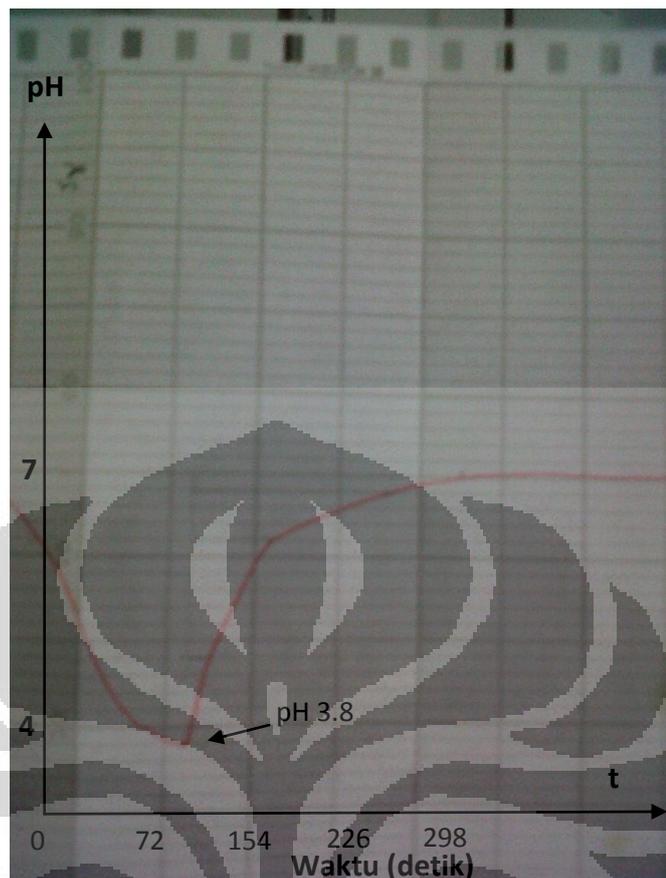
4.2.2.8 Tuning No. 5

Pada tuning kelima divariasikan nilai T_i untuk mendapatkan nilai *overshot* yang lebih kecil dari tuning sebelumnya. Parameter tuning yang baru didapat ada pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9. Tuning pengendalian PID non-linear skema S tuning no.5

Parameter	Nilai
PB	10 %
T_i	160 s
T_d	10 s
Gw	10 %
Gg	0.3

Respon yang didapat menunjukkan performa yang kurang bagus dari pengendalian PID linear, dengan tidak ada *Overshoot* dan nilai IAE sebesar 241, dengan *rise time* sebesar 252. Grafik pengendaliannya dapat dilihat pada gambar 4.11.



Gambar 4.11 Respon Kontrol PID non-linear pada $PB= 10\%$, $T_i= 160s$, $T_d= 10s$, $G_w= 10\%$, $G_g= 0.3$

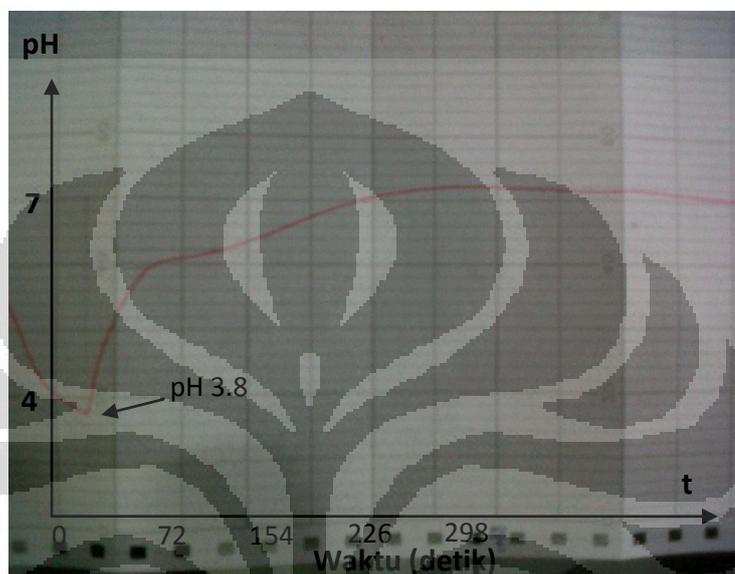
4.2.2.9 Tuning No. 6

Tuning pada pengendalian kali ini mrngursngi nilai G_g agar dapat mengurangi *gain* sehingga dapat mengurangi *overshoot* yang nantinya akan turut serta mengurangi nilai IAE. Tuning yang baru dapat dilihat pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10. Tuning pengendalian PID non-linear skema S tuning no.6

Parameter	Nilai
PB	10 %
T_i	120 s
T_d	10 s
G_w	10 %
G_g	0.1

Respon yang didapat menunjukkan performa yang kurang bagus dari pengendalian PID linear, dengan nilai *overshoot* 6.25% dan nilai IAE sebesar 446 , *rise time* yang lebih lama juga sebesar 302.4. Grafik pengendaliannya dapat dilihat pada gambar 4.12.



Gambar 4.12 Respon Kontrol PID non-linear pada $PB= 10\%$, $T_i= 120s$, $T_d= 10s$, $G_w= 10\%$, $G_g= 0.1$

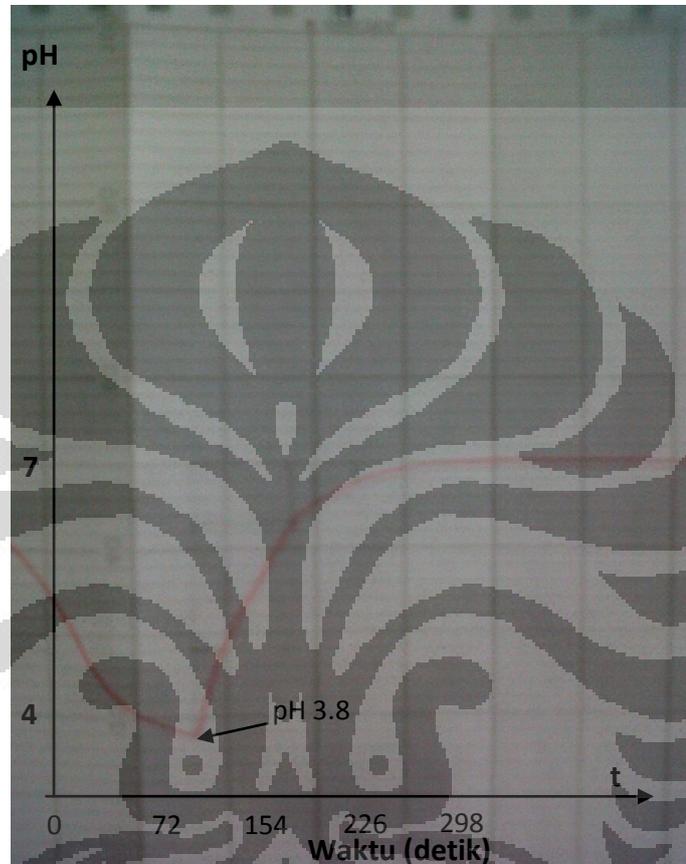
4.2.2.10 Tuning No. 7

Tuning pada pengendalian ini akan menaikkan nilai G_g untuk mendapatkan waktu pengendalian yang lebih cepat, karena pada pengendalian tuning n 6, waktunya relatif lama. Tuning baru dapat dilihat pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11. Tuning pengendalian PID non-linear skema S tuning no.7

Parameter	Nilai
PB	10 %
Ti	120 s
Td	10 s
Gw	10 %
Gg	0.5

Respon yang didapat menunjukkan performa yang kurang bagus dari pengendalian PID linear, dengan tidak ada *overshoot* dan nilai IAE sebesar 235, dengan *rise time* 187,2 s (lebih baik dari pengendalian tuning no 6). Grafik pengendaliannya dapat dilihat pada gambar 4.13.



Gambar 4.13 Respon Kontrol PID non-linear pada $PB= 10\%$, $T_i= 120s$, $T_d= 10s$, $G_w= 10\%$, $G_g= 0.5$

4.3 Skema Percobaan L

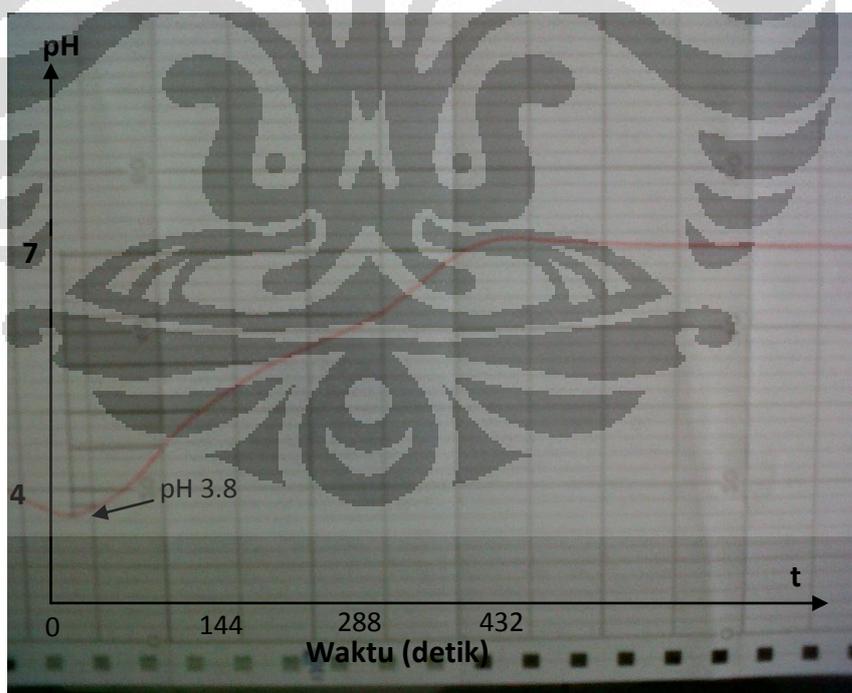
4.3.1 Pengendali PID (Linear)

Percobaan ini merupakan percobaan PID linear, nilai-nilai PB , T_i , dan T_d yang digunakan didapat dari hasil penelitian Andy Silaban (2009). Parameter-parameternya ditunjukkan pada Tabel 4.12.

Tabel 4.12. Tuning pengendalian PID linear skema L

Parameter	Nilai
PB	17 %
Ti	190 s
Td	48 s
Gw	0%
Gg	1

Nilai-nilai ini dipakai karena berdasarkan percobaan yang dilakukan oleh yang bersangkutan, nilai-nilai tersebut merupakan nilai-nilai yang memberikan performa pengendalian terbaik untuk pengendalian PID linear jika dibandingkan dengan nilai-nilai yang diberikan oleh modul. Percobaan yang dilakukan dimulai dengan menurunkan pH pada titik 3.8 dengan cara mematikan pompa yang mengalirkan basa P51. Ketika pH sudah mencapai titik 3.8, maka pompa basa P51 akan dihidupkan kembali. Grafik pengendaliannya dapat dilihat pada Gambar 4.14.



Gambar 4.14 Respon Kontrol PID linear pada PB= 17%, Ti= 190s, Td= 48s, Gw=0%, Gg= 1

Respon yang didapat terlihat pengendalian yang dilakukan cukup baik. Hal ini terlihat dari *overshoot* yang hanya 5%. *overshoot* yang baik berada dibawah 25%. Nilai *rise time* cenderung lebih lama yaitu 388.8 detik, hal ini karena pada skema L memiliki proses yang lebih panjang dibanding skema S. Nilai IAE yang dihasilkan sebesar 888 mm².

4.3.2 Pengendali PID Non-Linear

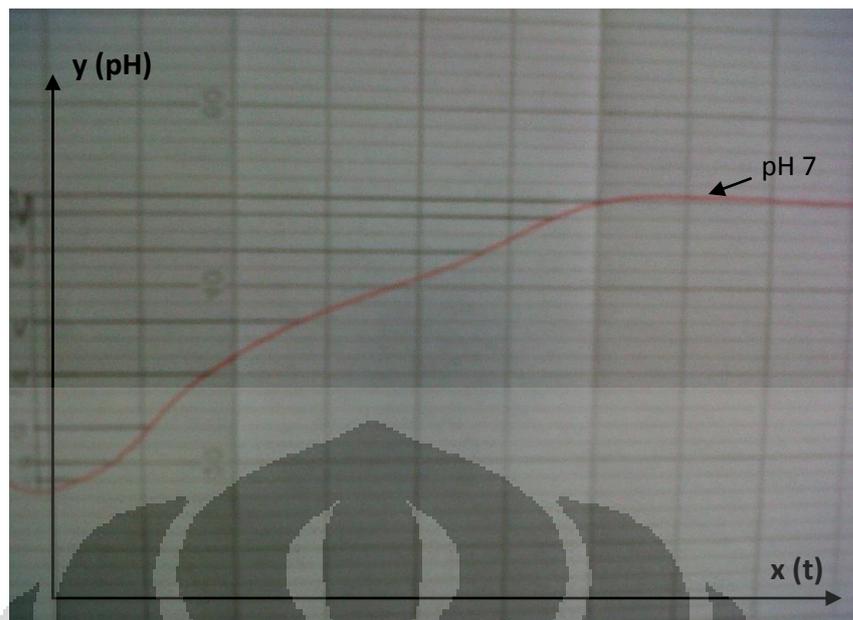
4.3.2.1 Modul No. 1

Percobaan ini merupakan percobaan PID non-linear, nilai-nilai PB, Ti, Td, Gw, dan Gg yang digunakan didapat dari buku manual unit miniplant WA921 dari Yokogawa. Nilai-nilai ini dipakai sebagai pembandingan dari performa pengendalian secara PID linear dan juga sebagai acuan awal untuk mencari parameter-parameter pengendalian PID non-linear yang baru yang diharapkan nantinya memberikan performa pengendalian yang lebih baik dari parameter-parameter yang sudah diberikan oleh modul. Hasil tuning dapat dilihat pada Tabel 4.13.

Tabel 4.13. Tuning pengendalian PID non-linear skema L modul no.1

Parameter	Nilai
PB	5 %
Ti	400 s
Td	40 s
Gw	38%
Gg	0.2

Respon yang didapat tidak sebaik pengendalian linear. walau tidak adanya nilai *overshoot* akan tetapi IAE sebesar 918 dikarenakan nilai *rise time* yang lebih besar dengan nilai 439,2 s. Grafik pengendaliannya dapat dilihat pada gambar 4.15.



Gambar 4.15 Respon Kontrol PID linear pada $PB= 5\%$, $T_i= 400s$, $T_d= 40s$, $G_w=38\%$, $G_g= 0.2$

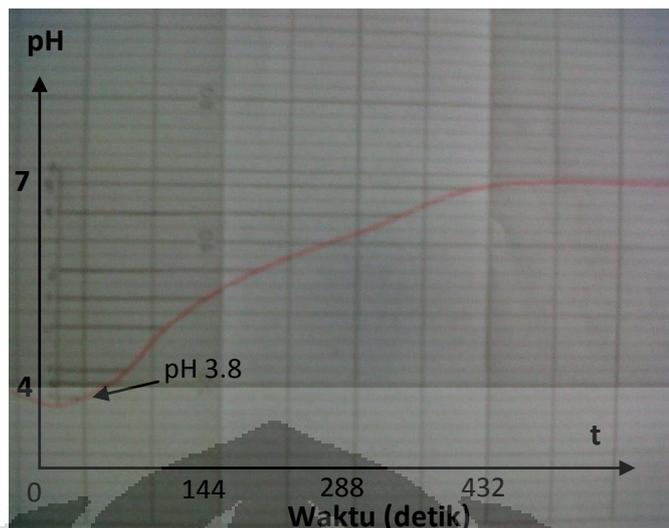
4.3.2.2 Modul No. 2

Untuk pengujian modul no.2 menggunakan nilai parameter pengendali PID non-linear sebagaimana ditunjukkan oleh Tabel 4.14.

Tabel 4.14. Tuning pengendalian PID non-linear skema L modul no.2

Parameter	Nilai
PB	5 %
T_i	450 s
T_d	40 s
G_w	30%
G_g	0.25

Respon yang didapat tidak sebaik pengendalian linear. Bahkan lebih buruk dari pengendalian dengan tuning modul no 1. Adanya *overshoot* sebesar 4.5% serta nilai *rise time* yang sedikit lebih kecil dari kinerja modul no 1 dengan nilai 432 s membuat nilai IAE menjadi lebih besar pula dengan nilai 946. Grafik pengendaliannya dapat dilihat pada gambar 4.15. Grafik pengendaliannya dapat dilihat pada Gambar 4.16.



Gambar 4.16 Respon Kontrol PID linear pada $PB= 5\%$, $T_i= 450s$, $T_d= 40s$,
 $G_w=30\%$, $G_g=0.25$

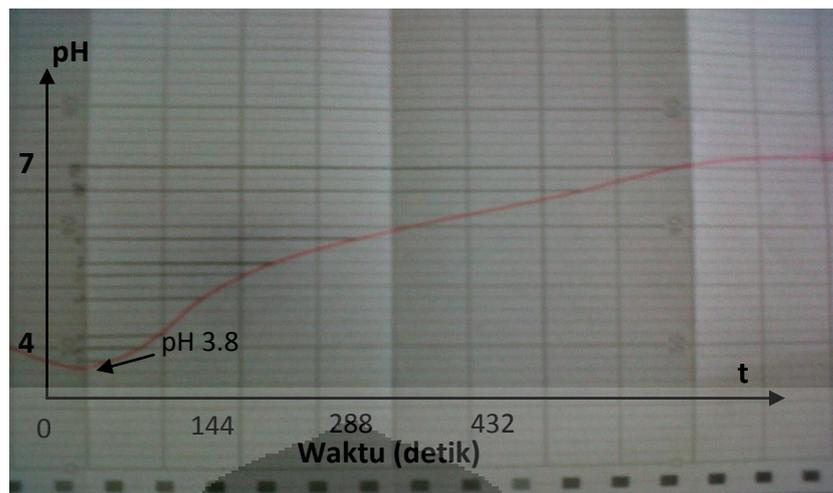
4.3.2.3 Modul No. 3

Untuk pengujian modul no.3 menggunakan nilai parameter pengendali PID non-linear sebagaimana ditunjukkan oleh Tabel 4.15.

Tabel 4.15. Performa pengendalian PID non-linear skema L modul no.3

Parameter	Nilai
PB	10 %
T_i	280 s
T_d	28 s
G_w	20%
G_g	0.25

Respon yang didapat tidak sebaik pengendalian linear, bahkan lebih buruk dibandingkan dengan pengendalian oleh tuning modul no 1 dan no 2. Nilai *overshoot* yang terjadi mencapai 6% serta *rise time* yang lama sebesar 561,6 s, menghasilkan IAE sebesar 1021. Grafik pengendaliannya dapat dilihat pada Gambar 4.17.



Gambar 4.17 Respon Kontrol PID linear pada $PB= 10\%$, $T_i= 280s$, $T_d= 28s$, $G_w=20\%$, $G_g=0.25$

4.3.2.4 Tuning No. 1

Percobaan ini merupakan percobaan PID non-linear, nilai-nilai PB , T_i , T_d , G_w , dan G_g yang digunakan menggunakan variasi dari nilai-nilai yang didapat dari buku manual unit miniplant WA921 dari Yokogawa. Nilai-nilai ini dipakai sebagai pembandingan dari performa pengendalian secara PID linear dan pengendalian PID non-linear dari modul dengan nilai seperti pada Tabel 4.16.

Tabel 4.16. Tuning pengendalian PID non-linear skema L tuning no.1

Parameter	Nilai
PB	5 %
T_i	425 s
T_d	40 s
G_w	38%
G_g	0.2

Respon yang didapat menunjukkan performa yang lebih bagus dari pengendalian PID linear, walaupun nilai *overshoot* mencapai 6%, lebih besar 1% dari pengendali linear, akan tetapi nilai *rise time* lebih kecil 72 s dengan 316 s sehingga nilai IAE yang dihasilkan pun lebih baik sebesar 734. Grafik pengendaliannya dapat dilihat pada Gambar 4.18.



Gambar 4.18 Respon Kontrol PID non-linear pada $PB= 5\%$, $Ti= 425s$, $Td= 40s$, $Gw=38\%$, $Gg= 0.2$

4.3.2.5 Tuning No. 2

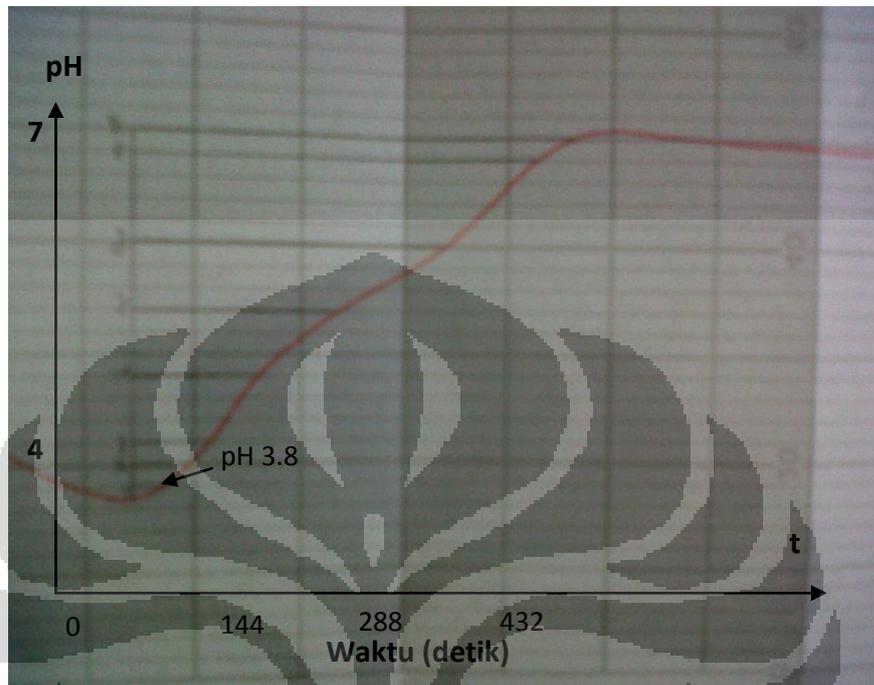
Untuk pengujian selanjutnya, diturunkan nilai Gw dan dinaikkan nilai Gg , hal ini dilakukan agar pengendalian menuju kestabilan dapat dilakukan lebih cepat lagi. Tuning PID non-linear yang baru ditunjukkan oleh Tabel 4.17.

Tabel 4.17. Performa pengendalian PID non-linear skema L tuning no.2

Parameter	Nilai
PB	5 %
Ti	425 s
Td	40 s
Gw	30%
Gg	0.25

Respon yang didapat menunjukkan performa yang lebih bagus dari pengendalian PID linear, bahkan dibandingkan dengan pengendalian dari modul dan tuning no 1, nilai *overshoot* hanya 2% dengan *rise time* paling

cepat senilai 302.4 s, sehingga menghasilkan IAE yang paling baik sebesar 656. Grafik pengendaliannya dapat dilihat pada Gambar 4.19.



Gambar 4.19 Respon Kontrol PID non-linear pada $PB= 5\%$, $Ti= 425s$, $Td= 40s$, $Gw=30\%$, $Gg= 0.25$

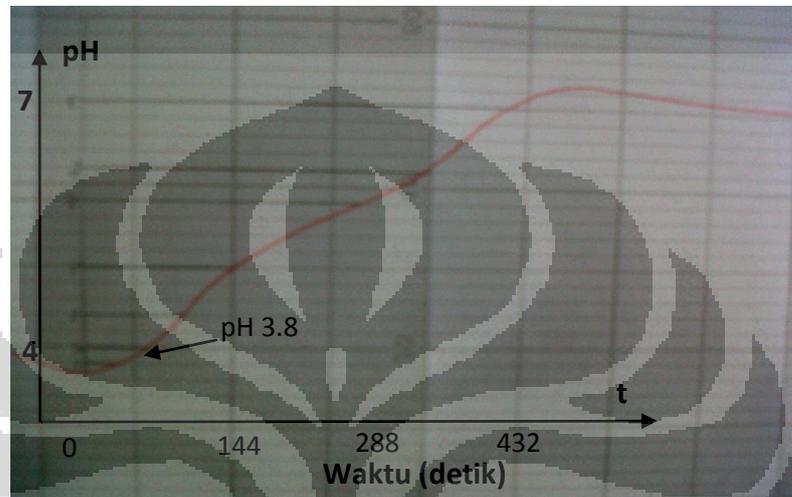
4.3.2.6 Tuning No. 3

Untuk pengujian tuning no.3 Gw dinaikkan menjadi 35 sedangkan Gg dikembalikan ke 0.2 dengan harapan akan menghilangkan *overshoot* 2% dari percobaan sebelumnya. Tuning PID non-linear sebagaimana ditunjukkan oleh Tabel 4.18.

Tabel 4.18. Tuning pengendalian PID non-linear skema L tuning no.3

Parameter	Nilai
PB	5 %
Ti	425 s
Td	40 s
Gw	35%
Gg	0.2

Respon yang didapat menunjukkan kinerja yang lebih bagus dari pengendalian PID linear dan tuning non-linear modul, walau nilai *overshoot* lebih besar mencapai 9% akan tetapi nilai *rise time* bernilai lebih baik sebesar 309.6 s, sehingga nilai IAE menjadi lebih bagus dengan 787. Grafik pengendaliannya dapat dilihat pada Gambar 4.20.



Gambar 4.20 Respon Kontrol PID non-linear pada $PB= 5\%$, $Ti= 425s$, $Td= 40s$, $Gw=35\%$, $Gg= 0.2$

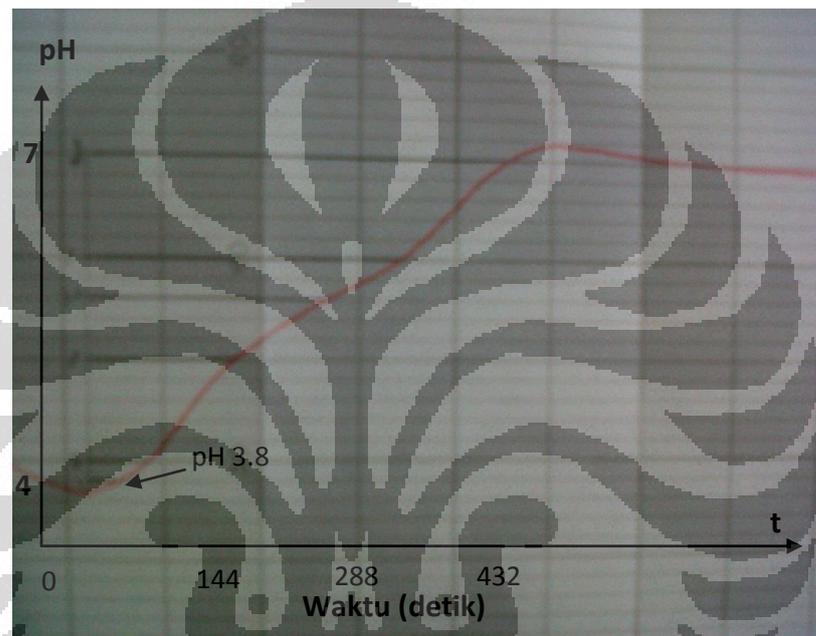
4.3.2.7 Tuning No. 4

Karena *overshoot* pada pengendalian sebelumnya cenderung tinggi sebesar 9%, maka untuk menurunkannya akan dinaikkan nilai Gg untuk mengimbangi kenaikan nilai Gw pada tuning sebelumnya. Nilai PID non-linear ditunjukkan oleh Tabel 4.19.

Tabel 4.19. Tuning pengendalian PID non-linear skema L tuning no.4

Parameter	Nilai
PB	5 %
Ti	425 s
Td	40 s
Gw	35%
Gg	0.25

Respon yang didapat menunjukkan performa yang lebih bagus dari pengendalian PID linear dan tuning pada modul, nilai *overshoot* berkurang menjadi 6% dibandingkan dengan pengendalian sebelumnya (tuning no 3), serta nilai *rise timer* yang cenderung sama dengan pengendalian sebelumnya sebesar 309.6. menghasilkan nilai IAE sebesar 736. Grafik pengendaliannya dapat dilihat pada Gambar 4.21.



Gambar 4.21 Respon Kontrol PID non-linear pada $PB= 5\%$, $T_i= 425s$, $T_d= 40s$, $G_w=35\%$, $G_g= 0.2$

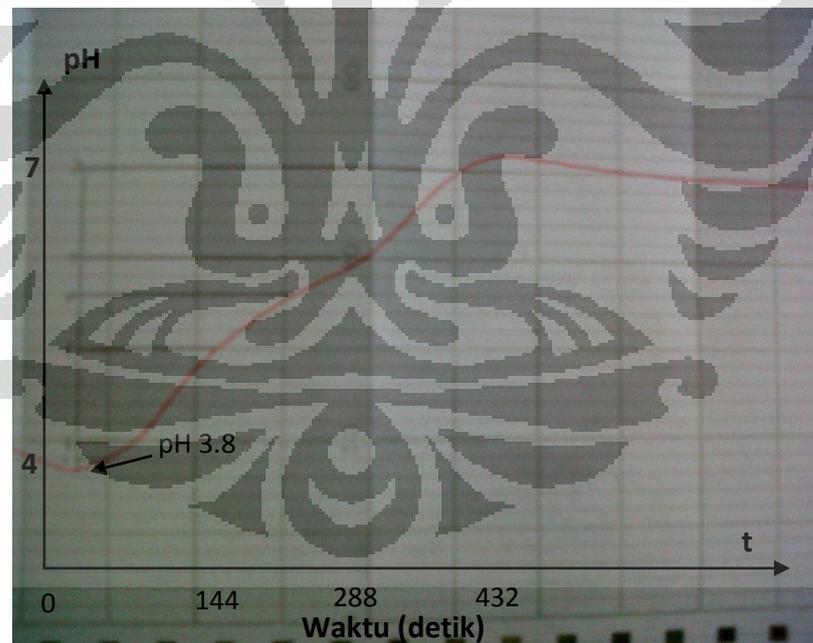
4.3.2.8 Tuning No. 5

Untuk pengujian modul no.5 digunakan kombinasi menurunkan nilai T_i dan G_w dengan harapan dapat menurunkan kembali nilai *overshoot*. Sehingga nilai tuning pada pengendalian selanjutnya parameter PID Non-linear ditunjukkan oleh Tabel 4.20.

Tabel 4.20. Tuning pengendalian PID non-linear skema L tuning no.5

Parameter	Nilai
PB	5 %
Ti	400 s
Td	40 s
Gw	30%
Gg	0.25

Respon yang didapat menunjukkan performa yang lebih bagus dari pengendalian PID linear dan tuning oleh nilai modul, walaupun ternyata menghasilkan nilai *overshoot* dan *rise time* yang sama dengan pengendalian sebelumnya (tuning no 4), berturut-turut nilainya 6% dan 309,6 s, sehingga menghasilkan IAE yang tidak jauh berbeda sebesar 726. Grafik pengendaliannya dapat dilihat pada Gambar 4.22.



Gambar 4.22 Respon Kontrol PID non-linear pada PB= 5%, Ti= 400s, Td= 40s, Gw= 30%,Gg= 0.25

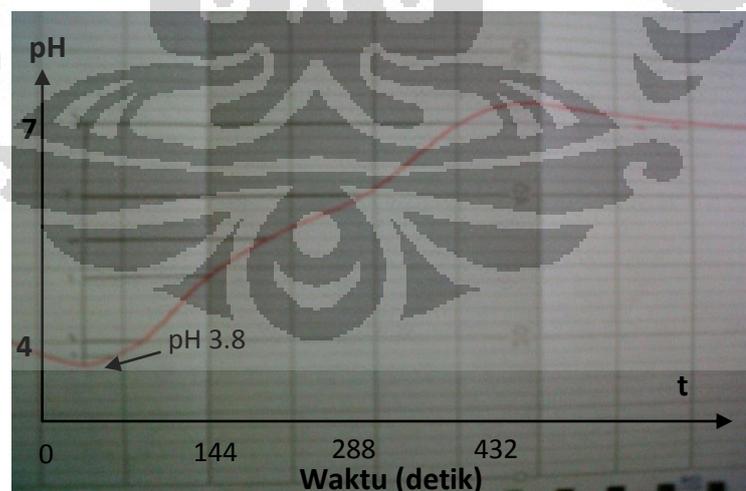
4.3.2.9 Tuning No. 6

Untuk pengujian modul no.6 nilai T_i dan G_w dinaikkan lagi akan tetapi kali ini disertai dengan penurunan nilai G_g , diharapkan *rise time* akan lebih cepat. Nilai PID non-linear ditunjukkan oleh Tabel 4.21.

Tabel 4.21. Tuning pengendalian PID non-linear skema L tuning no.6

Parameter	Nilai
PB	5 %
T_i	450 s
T_d	40 s
G_w	38%
G_g	0.2

Respon yang didapat menunjukkan performa yang lebih bagus dari pengendalian PID linear dan tuning dari modul, akan tetapi nilainya menjadi paling jelek dibandingkan dengan tuning secara mandiri. nilai *overshoot* mencapai 9% dengan IAE sebesar 797,5, serta nilai *rise time* 316,8. Grafik pengendaliannya dapat dilihat pada Gambar 4.23.



Gambar 4.23 Respon Kontrol PID non-linear pada $PB= 5\%$, $T_i= 400s$, $T_d= 40s$, $G_w= 30\%$, $G_g= 0.25$

4.4 Diskusi

Simulasi yang dilakukan adalah mengendalikan pH air menggunakan unit miniplant WA921 yang berada di Lab Simulasi Proses Kimia, Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Simulasi ini bertujuan untuk mengevaluasi dan melihat unjuk kerja dari alat ini dalam proses pengendalian pH air dengan menggunakan pengendali PID non-linear. Untuk dapat mengevaluasi baik buruknya performa pengendalian yang dilakukan oleh pengendali PID non-linear pada unit ini, maka akan hasilnya akan dibandingkan dengan performa pengendalian menggunakan pengendalian PID linear, dengan parameter utama yang dievaluasi berupa nilai IAE (*Integral Absolute Error*) serta parameter tambahan berupa *Settling Time* dan *Overshoot*. Untuk melihat unjuk kerja secara keseluruhan, maka skema percobaan yang dilakukan akan mengikuti skema yang telah disediakan dalam modul yang dibuat oleh produsen alat ini (Yokogawa), yaitu skema percobaan S dan skema percobaan L.

Percobaan diawali dengan melakukan pengendalian menggunakan pengendalian PID linear. Pengendalian menggunakan pengendali ini memerlukan 3 parameter yang perlu diatur, yaitu nilai PB, Ti, dan Td. Ketiga nilai parameter ini didapat dari hasil penelitian yang dilakukan oleh Andy Silaban pada tahun 2009, dimana pada hasil penelitiannya didapat *setting* parameter yang memberikan performa pengendalian terbaik untuk pengendali PID linear pada unit ini. Performa dari pengendali PID linear ini memberikan hasil untuk skema S berupa IAE sebesar 223, *settling time* 100.8 s, dan *maksimum overshoot* sebesar 3%. Sedangkan untuk skema L didapatkan nilai IAE sebesar 888, *settling time* 388.8 s, dan *maksimum overshoot* sebesar 5.4%.

Lalu selanjutnya dilakukan pengendalian secara PID non-linear, dimana pada pengendalian ini ada 2 parameter tambahan yaitu nilai Gw dan Gg, sehingga ada 5 parameter yang harus ditentukan. Untuk menentukan nilai dari parameter pengendalian secara PID non-linear ini dilakukan dengan 2 cara. Cara pertama adalah dengan menggunakan nilai-nilai yang telah disediakan di

modul, sedangkan cara kedua adalah *trial and error* menggunakan petunjuk (*rule of thumbs*) seperti yang telah dijelaskan modul.

Performa pengendalian dengan nilai-nilai parameter PID non-linear dengan nilai yang telah diberikan modul ternyata memberikan hasil yang berbeda untuk skema S dan skema L jika dibandingkan dengan performa pada pengendali PID linear. Untuk skema S, pengendalian PID non-linear memberikan performa yang lebih baik. Hal ini terlihat dari nilai IAE sebesar 154, *settling time* 115 dan dengan tidak adanya *overshoot*. Sedangkan untuk skema L, tidak ada nilai-nilai parameter dari modul yang mampu memberikan performa pengendalian PID non-linear yang lebih baik dibandingkan pengendalian PID linear. Sedangkan untuk nilai-nilai parameter yang dicari dengan *trial and error* menggunakan *rule of thumbs* dari modul, didapat performa pengendalian yang lebih buruk pada skema S. sedangkan pada skema L didapat pengendalian yang lebih baik dengan nilai IAE sebesar 726, *settling time* 309 s, dan *maksimum overshoot* sebesar 6%. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada table 5.1 dan 5.2.

Tabel 5.1 Performa Pengendalian Skema Percobaan S

no	PB	Ti	Td	Gw	GG	IAE (mm ²)	Settling Time (s)	Max OS	Keterangan
1	5	40	10	0	1	223	100.8	0.031	PID Linear
2	5	150	15	38	0.1	378	100.8	0.187	PID Non-linear modul
3	5	150	15	38	0.2	213	108	0.062	
4	10	120	10	10	0.3	154	115.2	-	
5	5	120	10	10	0.3	275.4	241.2	-	PID Non-linear tuning
6	8	120	10	10	0.3	239.5	194.4	-	
7	13	120	10	10	0.3	590	223.2	0.031	
8	10	80	10	10	0.3	260	180	0.056	
9	10	160	10	10	0.3	241	252	-	
10	10	120	10	10	0.1	446	302.4	0.062	
11	10	120	10	10	0.5	235	187.2	-	

Tabel 5.2. Performa Pengendalian Skema Percobaan L

No	PB	Ti	Td	Gw	GG	IAE (mm ²)	Settling Time (s)	Max OS	Keterangan
1	17	190	48	1	0	888	388.8	0.054	PID Linear
2	5	400	40	38	0.2	918	439.2	0.009	PID Non-linear modul
3	5	450	40	30	0.25	946.5	432	0.045	
4	10	280	28	20	0.25	1021.5	561.6	0.060	
5	5	425	40	38	0.2	734	316.8	0.060	PID Non-linear tuning
6	5	425	40	30	0.25	656.75	302.4	0.024	
7	5	425	40	35	0.2	7878.5	309.6	0.090	
8	5	425	40	35	0.25	736	309.6	0.060	
9	5	400	40	30	0.25	726	309.6	0.060	
10	5	450	40	38	0.2	797.5	316.8	0.090	

Secara umum dapat dilihat pada grafik pengendalian, terdapat perbedaan yang mendasar antara pengendali PID linear dengan pengendali PID non-linear. Perbedaan itu terlihat dari profil grafik yang dihasilkan. Pada pengendalian PID linear terlihat gradien yang dihasilkan cenderung tetap. Sedangkan pada pengendalian PID non-linear terlihat bahwa ada perbedaan gradient ketika pH naik dari 3,8, dengan gradient ketika pH mendekati 7. Hal ini menunjukkan parameter Gg dan Gw yang notabeneanya merupakan parameter PID non-linear bekerja dengan baik. Gg dan Gw lah yang dalam hal ini berperan untuk menentukan dimana kah perubahan gradient (gain) terjadi dan seberapa besarkah gradient itu berubah.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Percobaan dengan cara S memberikan *dead time* dan *time constant* proses yang lebih kecil dibandingkan dengan cara L, sehingga prosesnya lebih sulit dikendalikan dan cenderung memerlukan waktu yang lama untuk mencapai *setpoint*.
2. Unjuk kerja unit mini plant dalam mengendalikan pH air pada percobaan skema S sudah cukup memuaskan dengan parameter-parameter pengendali yang telah diberikan dari modul: PB 10, Ti 120 s, Td 10 s, Gw 10%, Gg 0.3, dengan IAE 154, lebih kecil dibandingkan dengan PID (linear) sebesar 223.
3. Unjuk kerja unit mini plant dalam mengendalikan pH air pada percobaan skema L belum cukup memuaskan dengan parameter-parameter tuning yang telah diberikan dari modul. Sehingga kurang bagus jika dibandingkan dengan pengendalian PID linear pada skema tersebut. Hasil optimumnya pada setelan parameter pengendali: PB 5, Ti 425 s, Td 40 s, Gw 30%, Gg 0.25, dengan IAE 656, lebih kecil dibandingkan dengan PID (linear) sebesar 888.

5.2 Saran

1. Perlu ada pembersihan secara keseluruhan pada unit minipant ini untuk menjaga performa pengendaliannya. Karena reaksi yang terjadi merupakan reaksi asam-basa yang berpotensi menghasilkan garam yang dapat mengganggu kinerja alat.
2. Perlu dicoba mengintegrasikan kembali penggunaan SCADA dan DCS pada unit ini sehingga dapat dihubungkan dengan computer dan dapat memantau kinerja pengendalian secara lebih akurat lagi.
3. Menguji performa pengendalian dengan variasi *disturbance* (gangguan) pada proses yang lebih banyak lagi, seperti menambahkan larutan asam atau basa langsung ke tangki proses.
4. Menguji perfrma pengendalian dengan perubahan *setpoint*.

DAFTAR PUSTAKA

- Bequette, B.W. (1998). *Process Dynamics : Modelling, Analysis, and Simulation*. New Jersey, Prentice Hall, Inc.
- Chen, J., Peng, Y., Han, W., Guo, M. (2011). *Adaptive Fuzzy Sliding Mode Control in PH Neutralization Process: Beijing University of Chemical Technology, Beijing, China.*
- Gyongy, I.J., Clarke, D.W. ,(2004). *On the Automatic Tuning and Adaptation of PID Controllers, Oxford University, Oxford, United Kingdom.*
- Jantzen J, (1998). *Tuning Of Fuzzy PID Controllers: Technical University of Denmark, Lyngby, Denmark.*
- Juan P. S, et all., (2003). *An Adaptive Pattern Based Nonlinear PID Controller. Department of Electrical Engineering, Universidad de Concepcion, Concepcion, Chile.*
- Kang, J., Wang, M., Xiao, Z. (2009). *Modeling and Control of pH in Pulp and Paper Wastewater Treatment Process: Shanxi University of Science and Technolgy, Xi'an, China.*
- Marlin T.E. *process Control – Designing Process and Control Systems for Dynamic Performance. 2nd ed. Singapore: Mc Graw Hill, 2000.*
- Metcalf et all., *Wastewater Engineering – Treatment and reuse. Mc Graw Hill, 2003.*
- Pearson, R.K. (2003). “Selecting nonlinear model structures for computer control.” *Process Control.*
- Setiawan, I. *Kontroler PID untuk Proses Industri. PT. Elex Media Komputindo. Jakarta. 2008.*
- Shinskey, F. G. *Process Control Systems. McGraw-Hill. New York. 1998.*
- Smith, C.A., et ll, *Principles and Practice of Automatic Process Control. John Wiley & Sons Inc, 1985.*
- Syntek Group. *Model WA921 Chemical Analytical Process Control Training System. 2009.*
- Valarmathi, K., Devaraj, D., Radhakrishnan, T.K. (2009). *Intelligent Techniques for System Identification and Controller Tuning in PH Process : National Institute of Technology, India.*
- Wahid, A., Gunawan, R. (2005). *Metode Korelasi Baru Pada Penyetelan Pengendali PID Dengan Pendekatan Model Empirik FOPDT : Universitas Indonesia, Depok, Indonesia.*