

PENGENDALIAN pH LIMBAH CAIR LABORATORIUM DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA UI MENGGUNAKAN PENGENDALI PID LINEAR PADA *MINI PLANT* WA921

Abdul Wahid, Faizal Abdillah

Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia,
Kampus Baru UI, Depok, Indonesia
Email: wahid@che.ui.ac.id

Abstrak -- Setiap semester Laboratorium Dasar Proses Kimia Departemen Teknik Kimia UI menghasilkan sekitar 180 liter limbah cair (asam campuran). Limbah ini tentunya harus diolah supaya dapat dibuang ke lingkungan dengan memenuhi standar baku mutu air buangan. Departemen Teknik Kimia memiliki alat simulasi pengendali pH air yaitu unit mini plant WA921. Penelitian ini bertujuan untuk menemukan parameter PID linear optimum yang dapat diterapkan di unit mini plant WA921 untuk menetralkan pH limbah tersebut yang memiliki sifat nonlinear. Dari pengujian unjuk kerja terhadap alat ini dalam menetralkan pH limbah, didapatkan parameter PID sebagai berikut: PB = 6,6%, TI = 166 detik, TD = 41 detik pada skema S dan PB = 3,4%, TI = 59 detik, TI = 14 detik pada skema L. Kedua hasil tersebut memiliki kinerja yang lebih baik dari pada setelan parameter pengendali PID linear hasil pengujian sebelumnya (asam murni).

Kata kunci: limbah cair, laboratorium,, pH, PID, tuning

Abstract – In each semester Basic Process Chemistry Laboratory Department of Chemical Engineering University of Indonesia produce about 180 liters of liquid waste (mixed acid). This waste must be treated so can be discharged into the environment to meet the effluent quality standards. The Department has simulation tools that control the water pH units WA921 mini plant. This study aims to find the optimum linear PID parameters can be applied in a mini unit WA921 plant to neutralize the pH of the waste that has nonlinear properties. Based on testing the performance of this tool in neutralizing the pH of the waste, the PID parameters is obtained as follows: PB=6.6 %, TI=166 seconds, TD=41 seconds on the scheme S and PB=3.4 %, TI=59 seconds, TI=14 seconds on the scheme L. Both these results have better performance than the linear PID controller parameter setting results of the previous test (pure acid) .

Keywords: wastewater, laboratory, pH, PID tuning

1. PENDAHULUAN

Adanya bahan kimia di Laboratorium Dasar Proses Kimia (Lab. DPK) Departemen Teknik Kimia UI dimulai dari pemberian bahan yang diperlukan dari gudang bahan kimia kepada pekerja atau mahasiswa yang mengambil mata kuliah praktik di laboratorium. Bahan tersebut digunakan untuk sintesis maupun analisis. Karena tujuan penggunaannya maka terbentuk bahan awal, produk samping, pelarut yang digunakan dan bahan kimia yang terkontaminasi, dimana bahan ini harus diurai atau dibuang jika daur ulangnya tidak mungkin dilakukan. Berlawanan dengan limbah industri, limbah kimia dari laboratorium di universitas yang terbentuk biasanya dalam jumlah kecil dari campuran yang sangat kompleks. Pada Lab. DPK ini menghasilkan limbah sekitar 180 liter limbah cair setiap semesternya. Intinya, hal ini

menyatakan jumlah limbah yang berarti dan harus dibuang.

Selama ini, pengolahan limbah laboratorium di Departemen Teknik Kimia UI (DTK UI) dilakukan secara manual dengan menerapkan prinsip pengolahan limbah di industri. Padahal, DTK UI memiliki unit *mini plant* WA921 yang dapat mengolah air buangan asam atau basa seperti pada industri. Alat ini semestinya dapat digunakan untuk pengolahan limbah laboratorium secara otomatis untuk menetralkan pH limbah. Unit *mini plant* ini berasal dari *syntek group*, menggunakan sistem sensor dan pengendalian Yokogawa.

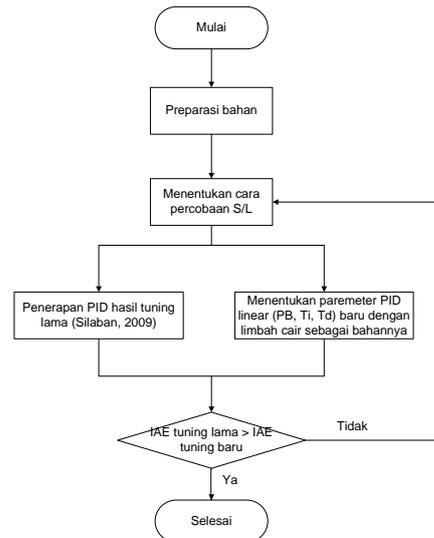
Unit *mini plant* WA921 memiliki sistem sensor untuk mendeteksi parameter proses secara langsung pada unit-unit operasi, *control valve* yang bekerja mengendalikan *set point* proses pada keadaan tertentu, *programmable logic controller* (PLC) untuk menampilkan data proses pada komputer proses, dan *interface*

user untuk melakukan manipulasi *Proportional* (P), *Integral* (I), dan *Derivative* (D) (Syntek Group, 2009). Proses netralisasi (pH) adalah proses nonlinear (Gustafsson dkk, 1995; Tang & Karim, 2011). Karena itu, pengendaliannya seharusnya juga menggunakan pengendalian nonlinear. Wahid dan Faturohman (2012) telah menerapkan pengendalian PID nonlinear untuk netralisasi pH untuk asam murni setelah sebelumnya untuk proses yang sama digunakan pengendali PID linear (Silaban, 2009). Di dalam penelitian ini akan dimulai dengan pengendali PID linear untuk netralisasi pH limbah cair (asam) sebelum nantinya dilakukan dengan pengendali PID nonlinear untuk kasus yang sama. Pengendali PID dipilih dalam mengendalikan pH karena memiliki kinerja sangat cepat dalam mencapai kestabilan dan *offset*-nya tidak ada (Smith & Corripio, 1985; Coulson & Richardson, 1999; Marlin, 2000).

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi solusi dalam penetralan pH limbah di Laboratorium Dasar Proses Kimia DTK UI, agar di masa yang akan datang alat ini dapat digunakan dalam penetralan limbah cair Lab. DPK DTK UI. Sehingga, alat ini selain sebagai sarana belajar mahasiswa DTK UI juga dapat menjadi salah satu alat pengolah limbah Lab. DPK DTK UI, dalam hal ini digunakan sebagai penetral pH limbah agar dapat sesuai dengan mutu baku air buangan yang sudah ditetapkan dalam Peraturan MENLH Nomor 03 Tahun 2010.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan unit *mini plant* WA921 yang mampu menetralkan pH air pada Laboratorium Sistem Proses Kimia, Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia. Tahapan-tahapan pada penelitian ini tergambar dalam diagram alir penelitian pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

2.1. Preparasi Bahan

Bahan yang perlu disiapkan dalam penelitian ini adalah limbah cair asam yang berasal dari Laboratorium Dasar Proses Kimia, Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, dan larutan NaOH sebagai pengontrol pH limbah yang asam.

A. Persiapan Larutan Limbah

1. Mengumpulkan limbah dari Laboratorium Dasar Proses Kimia pada suatu wadah dan memberi koagulan agar kandungan logam mengendap. Limbah berada pada pH 2,51.
2. Setelah limbah sepenuhnya mengendap, memfilter limbah cair agar terbebas dari padatan yang tidak diinginkan.
3. Kemudian mengambil filtrat limbah cair dan menaruhnya di tangki asam T52 sebanyak 70 L.

B. Persiapan Larutan Basa

1. Menyiapkan air pada tangki T51 sampai garis level batas yang ada pada bagian tangki sejumlah 70 L.
2. Mengambil dan menimbang 30 gram NaOH 99% yang berbentuk granula pada wadah 1 atau 2 L dan menggunakan air pada T51 (tangki basa) yang sudah diukur sebanyak 70 L.
3. Menuangkan secara perlahan larutan NaOH ke dalam tangki T51 sambil mengaduknya hingga merata. Larutan basa NaOH yang telah dibuat memiliki konsentrasi 0,01 N.

2.2. Pemilihan Skema S atau L

Percobaan proses kontrol PID dilakukan secara linear kontrol yang meliputi metode manual (*open loop*) dan 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 proses (T53), konfigurasi ini akan menghasilkan proses pH dengan *dead time* dan *time constant* yang singkat. Cara S ini dilakukan dengan membuka *manual valve* 2 dan 3 serta menutup *valve* 1 dan 4. Sebaliknya cara L merupakan kontrol dimana aliran asam dan basa dilewatkan terlebih dahulu ke tangki proses (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 secara *manual valve* 1 dan 4 serta menutup *valve* 2 dan 3.

2.3. Menemukan Parameter PID Linear Optimum

Parameter PID linear optimum dapat dicari dengan metode FOPDT (*First Orde Plus Dead Time*). Percobaan manual (*open loop*) menghasilkan *process reaction curve* (PRC) dan dengan metode grafik didapatkan nilai θ , τ , dan K . Kemudian melakukan penyetelan PID yang nilainya diperoleh dari *open loop* (Wahid dan Gunawan, 2005). Nilai tersebut dimasukkan pada pengendali *mini plant* WA921 dan dilakukan set otomatis yang akan memberikan respon variabel terkontrol terhadap *setpoint*.

2.4. Membandingkan Hasil Tuning

Hasil tuning yang diperoleh dibandingkan dengan hasil tuning yang pernah dilakukan oleh Silaban (2009). Parameter yang dibandingkan adalah $PB=17\%$, $TI=190$ detik, dan $TD=48$ detik pada skema S dan $PB=5\%$, $TI=40$ detik, dan $TD=10$ detik pada skema L. Dalam membandingkan hasil tuning ini menggunakan nilai dari *settling time* dan IAE (*Integral Absolute Error*) dengan Pers. 1.

$$IAE = \int_0^{\infty} |SP(t) - CV(t)| dt \quad (1)$$

Apabila nilai *settling time* dan IAE pada tuning yang baru lebih kecil, maka penelitian ini telah berhasil. Apabila kedua nilai tersebut masih lebih besar, maka perlu dikaji ulang.

3. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

3.1. Karakteristik Limbah

Limbah yang digunakan adalah limbah cair yang berasal dari Laboratorium Dasar Proses Kimia, Departemen Teknik Kimia,

Fakultas Teknik, Universitas Indonesia dengan karakteristik seperti pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Karakterisasi limbah cair laboratorium DPK – DTK UI

Jenis Karakterisasi	Hasil
Volume	180 liter per semester
Warna	Keruh
Bau	Menyengat
Suhu	24°C
pH	2,51
Besi total	16 mg/l
Klorida	570 mg/l
Nitrat	9.6 mg/l
Sulfat	1850 mg/l
Fosfat	352 mg/l
CIT	396.8 μ s/cm
ORP	278 mV
DO	3.28 mg/l

Tabel 2. Karakterisasi air buangan unit *mini plant* WA921

Jenis Karakterisasi	Hasil
Debit	35 liter/jam
Warna	Bening
Bau	Sedikit berbau
Suhu	23°C
pH	7,00
CIT	442.7 μ s/cm
ORP	301 mV
COD	2400 mg/l
DO	4.08 mg/l

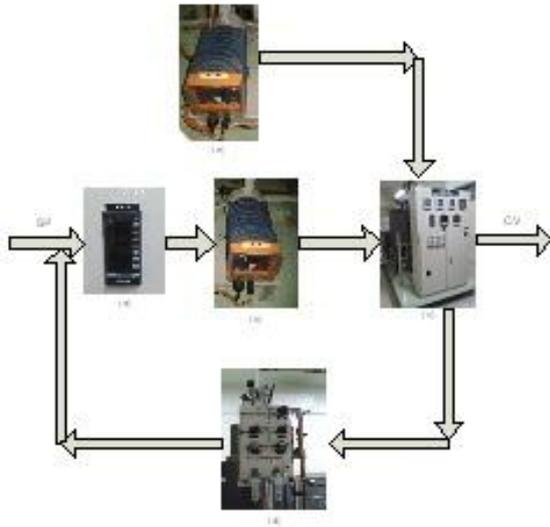
Tabel 1 menunjukkan bahwa limbah memiliki pH yang sangat asam yaitu pH 2,51 dan banyak mengandung klorida, sulfat, dan fosfat yang tinggi. Limbah ini merupakan limbah asam campuran. Selanjutnya limbah ini dinetralkan dengan menggunakan unit *mini plant* WA921. Karakterisasi dari hasil air buangan unit *mini plant* WA921 ditunjukkan pada Tabel 2.

Pada Tabel 2, nilai kualitas air buangan belum memenuhi baku mutu sesuai dengan Peraturan MENLH Nomor 03 Tahun 2010 dari segi COD (*Chemical Oxygen Demand*), karena angka COD nya melebihi 100 mg/l yang dianjurkan dalam baku mutu air limbah. COD atau kebutuhan oksigen kimia adalah jumlah oksigen yang diperlukan agar bahan buangan yang ada di dalam air dapat teroksidasi melalui reaksi kimia. Angka COD yang tinggi berarti masih terdapat banyak bahan kimia organik berbahaya yang terkandung dalam air buangan. Hal ini berarti *mini plant* WA921 belum dapat mengolah limbah cair laboratorium menjadi layak untuk dibuang secara langsung ke lingkungan. Oleh karena itu perlu dilakukan

perlakuan lebih lanjut setelah melalui penetralan pH di *mini plant* WA921.

3.2. Pemodelan Proses

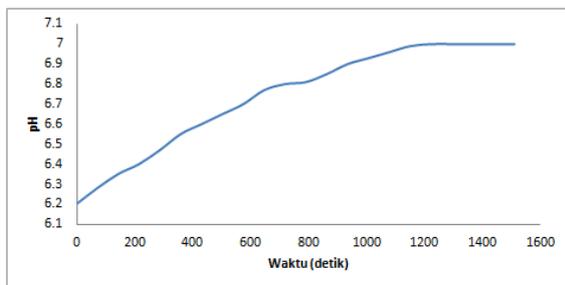
Model proses pada penelitian menggunakan unit *mini plant* WA921 ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Skema kontrol otomatis (*close loop*). (a) input PID (kontroler), (b) pompa basa jenis *speed variable pump* (elemen akhir), (c) unit *mini plant* (alat proses), (d) sensor, dan (e) pompa asam jenis ON/OFF (gangguan)

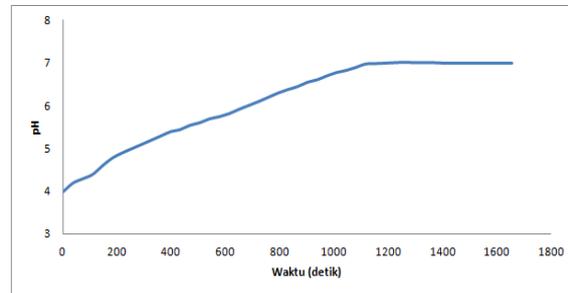
3.3. Hasil Percobaan dengan Skema S

Model PRC didapatkan untuk mencari nilai PB%, TI, dan TD. Model ini didapatkan dengan tuning Ziegler-Nichols secara manual (*open loop*). Tuning manual ini dilakukan dengan memberikan *step respons* pada kontroler. *Step respons* yang diberikan terhadap kontroler akan mengubah nilai *manipulated variable* (MV) bergerak membentuk PRC. Dari PRC yang didapatkan untuk menentukan parameter PID yang baru. Gambar 3 menunjukkan PRC yang dihasilkan untuk mendapatkan nilai PID linear optimum.



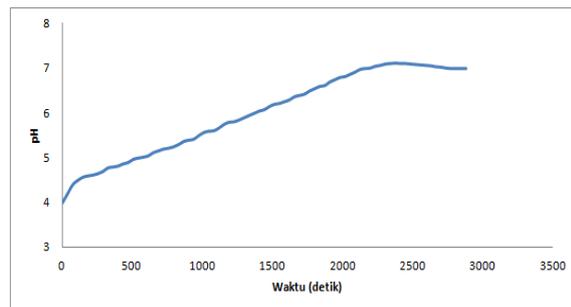
Gambar 3. PRC skema S

Dari PRC yang didapatkan dihasilkan parameter PID linear yang baru, yaitu PB=6,6%, TI=166 detik, dan TD=41 detik. Gambar 4 menunjukkan hasil responnya.



Gambar 4. Hasil respon kontrol dinamik secara otomatis dengan PB=6,6%, TI=166 detik, TD=41 detik

Hasil tuning dari Gambar 4 di atas, dibandingkan dengan hasil tuning dengan PB=17%, TI=190 detik, dan TD=48 detik. Respon kontrol saat PB=17%, TI=190 detik, dan TD=48 detik ditunjukkan pada Gambar 5.



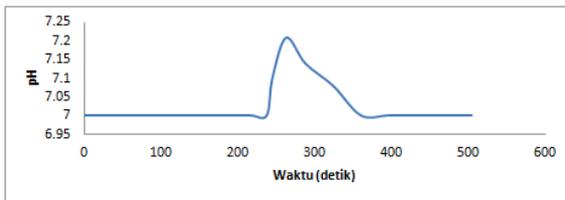
Gambar 5. Hasil respon kontrol dinamik secara otomatis dengan PB=17%, TI=190 detik, TD=48 detik

Perbandingan dari hasil respon pada Gambar 4 dan Gambar 5 ditunjukkan pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Perbandingan hasil tuning lama dan baru pada skema S

Parameter Perbandingan	Tuning Lama (PB=17%, TI=190 detik, TD=48 detik)	Tuning Baru (PB=6,6%, TI=166 detik, TD=41 detik)
Overshoot	0,007	0
Settling time, detik	2628	1098
IAE	4102	2233

Dari Tabel 3, terlihat bahwa *settling time* dan IAE dari respon kontrol pada PB=6,6%, TI=166 detik, TD=41 detik lebih kecil dibandingkan pada PB=17%, TI=190 detik, TD=48 detik. Hal ini menunjukkan bahwa tuning yang didapatkan sudah optimum. Untuk mengetahui performa dari hasil tuning optimum ini dapat dilihat dari responnya terhadap gangguan yang ditunjukkan pada Gambar 6.

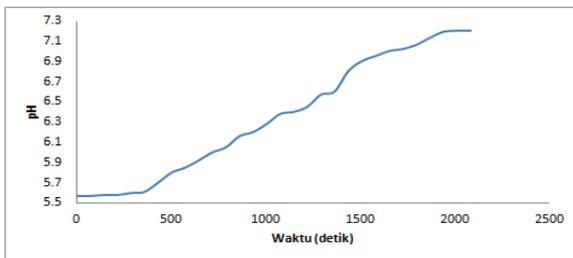


Gambar 6. Hasil uji distubansi terhadap tuning optimum skema S

Gambar 6 menunjukkan bahwa ketika sistem yang stabil diberikan gangguan, pH menjadi naik. Namun, sistem kembali stabil dengan cepat dengan *settling time* 100,8 detik dan IAE sebesar 16.

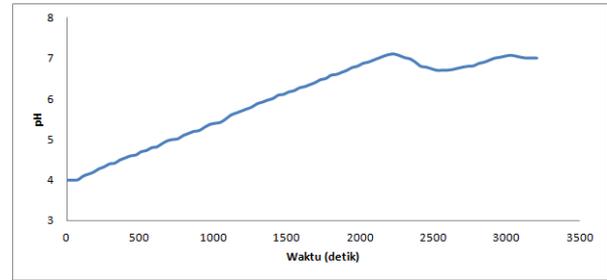
3.4. Hasil Percobaan dengan Skema L

Pada skema L, untuk mendapatkan parameter PID linear optimum juga menggunakan metode FOPDT dengan menggunakan grafik PRC. Gambar 7 adalah PRC yang didapatkan untuk skema L.



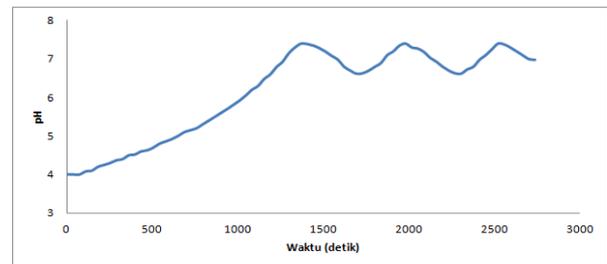
Gambar 7. PRC skema L

Parameter PID linear yang dihasilkan dari Gambar 7 di atas adalah PB=3,4%, TI=59 detik, dan TD=14 detik. Gambar 8 di bawah menunjukkan hasil respon dari tuning dengan PB=3,4%, TI=59 detik, dan TD=14 detik.



Gambar 8. Hasil respon kontrol dinamik secara otomatis dengan PB=3,4%, TI=59 detik, TD=14 detik

Hasil tuning dari Gambar 4 di atas, dibandingkan dengan hasil tuning dengan PB=5%, TI=40 detik, dan TD=10 detik. Respon kontrol saat PB=5%, TI=40 detik, dan TD=10 detik ditunjukkan pada Gambar 9 berikut.



Gambar 9. Hasil respon kontrol dinamik secara otomatis dengan PB=5%, TI=40 detik, TD=10 detik.

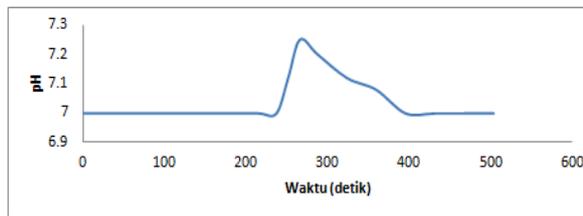
Hasil respon pada PB=5%, TI=40 detik, TD=10 detik cenderung tidak stabil atau lama untuk mencapai *setpoint* karena responnya yang selalu berosilasi. Perbandingan dari hasil respon pada Gambar 8 dan Gambar 9 ditunjukkan pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4. Perbandingan hasil tuning lama dan baru pada skema L

Parameter Perbandingan	Tuning Lama (PB=5%, TI=40 detik, TD=10 detik)	Tuning Baru (PB=3,4%, TI=59 detik, TD=14 detik)
Overshoot	0,133	0,003
Settling time, detik	tetap berosilasi	2880
IAE	sangat besar	4517

Dari Tabel 4, terlihat bahwa *settling time* dan IAE dari respon kontrol pada PB=3,4%, TI=59 detik, TD=14 detik lebih kecil dibandingkan pada PB=5%, TI=40 detik, TD=10 detik yang selalu berosilasi. Hal ini menunjukkan bahwa tuning yang didapatkan pada skema L ini sudah optimum. Pada gambar 10 berikut akan menunjukkan hasil uji respon terhadap

gangguan yang diberikan pada sistem yang stabil dengan PB=3,4%, TI=59 detik, dan TD=14 detik.



Gambar 10. Hasil uji distubansi terhadap tuning optimum skema L

Dari Gambar 10, dapat dilihat bahwa ketika sistem yang stabil diberikan gangguan, pH menjadi naik. Namun, sistem kembali stabil dengan cepat dengan *settling time* 144 detik dan IAE sebesar 28,1.

3.5. Karakteristik Proses

Pada percobaan ini, asam campuran (limbah) digunakan sebagai bahan untuk dilakukan penetralan dengan menggunakan basa. Sedangkan pada percobaan sebelumnya, percobaan yang dilakukan oleh Silaban (2009), asam murni adalah asam yang dinetralkan dengan penambahan basa. Hasil setelah tuning yang didapatkan berbeda pada penggunaan asam murni dan asam campuran padahal alat yang digunakan sama. Hal ini dikarenakan ada faktor dari karakteristik proses yang mempengaruhi reaksi. Penjelasan untuk perbedaan ini dapat dilihat dari pemodelan sistem yang akan dijabarkan di penjelasan selanjutnya.

Sistem ini dianggap sebagai sistem CSTR karena pada tangki reaksi terjadi pengadukan oleh aliran balik dari atas tangki, selain itu aliran asam dan basa dialirkan menggunakan pompa. Sistem juga dianggap isothermal karena tidak terjadi perubahan suhu sehingga harga k tetap. Dengan menganggap sistem sebagai sistem CSTR isothermal, maka pemodelan sistem menjadi:

$$V \frac{dC_A}{dt} = F(C_{A0} - C_A) - V k C_A \quad (2)$$

Dengan karekteristik proses sebagai berikut.

$$\tau_p = \frac{V}{F + V k} \quad (3)$$

$$K_p = \frac{F}{F + V k} \quad (4)$$

Keterangan:

V = volume reaktor

F = laju alir

C_{A0} = konsentrasi awal

C_A = konsentrasi akhir

k = konstanta laju reaksi

τ_p = konstanta waktu

K_p = gain proses

Karakteristik proses (τ_p dan K_p) dipengaruhi oleh harga k , F dan V . Untuk netralisasi asam murni dan limbah cair asam campuran, harga k berbeda, sedangkan harga F dan V sama. Karena itu harga τ_p dan K_p pun akan berbeda antara proses dengan asam murni dan asam campuran. Hal ini akan mempengaruhi pemodelan empirik yang dihasilkan dan selanjutnya akan mempengaruhi nilai parameter pengendalian (K_c atau PB, TI dan TD) untuk menghasilkan kinerja pengendaliannya yang optimum.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan, yaitu:

1. Limbah (asam campuran) laboratorium DPK di DTK UI yang digunakan untuk percobaan terhadap mini plant WA921 memberikan setelan parameter pengendali PID yang berbeda dengan asam murni karena memiliki karakteristik proses yang berbeda.
2. Unit *mini plant* WA921 dapat digunakan dalam menetralkan pH limbah asam dan kinerjanya lebih baik menggunakan cara S dengan parameter optimum PB = 6,6%, TI = 166 detik, dan TD = 41 detik dengan IAE sebesar 2233.
3. Dengan menggunakan cara L, didapatkan parameter optimum PB = 3,4%, TI = 59 detik, dan TD = 14 detik dalam menetralkan pH limbah asam dengan IAE sebesar 4517.
4. Jika fluida proses berbeda dengan yang sebelumnya, sebaiknya dilakukan penentuan nilai parameter pengendali PID yang baru agar diperoleh kinerja pengendalian yang optimum.

DAFTAR PUSTAKA

- Coulson, J. M. & Richardson, J. F. (1999). *Coulson and Richardson's Chemical Engineering: Chemical Engineering Design Volume 3*. United States: Butterworth-Heinemann Ltd.
- Gustafsson, T. K., Bengt O. Skrifvars, Katarina V. Sandstram, and Kurt V. Waller. (1995).

- Modeling of pH for Control. *Ind. Eng. Chem. Res.* 34, 820-827
- Marlin, T. E. (2000). *Process Control: Designing Processes and Control Systems for Dynamic Performance 2nd Edition*. United States: McGraw-Hill.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 03 Tahun 2010 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Kawasan Industri.
- Silaban, A. (2009). *Unjuk Kerja Proses Pengendalian pH Air pada Unit Mini Plant*. Skripsi Sarjana Teknik, Departemen Teknik Kimia Universitas Indonesia.
- Smith, C. A. & Corripio, A. B. (1985). *Principles and Practice of Automatic Process Control*. United States: John Wiley & Sons Inc.
- Syntek Group. (2009). *Model WA921 Chemical Analytical Process Control Training System*.
- Tang, Weiting, and Karim, M. Nazmul. (2011). Multi-Model MPC for Nonlinear Systems: Case Study of a Complex pH Neutralization Process. *21st European Symposium on Computer Aided Process Engineering – ESCAPE 21*. E.N. Pistikopoulos, M.C. Georgiadis and A.C. Kokossis (Editors)
- Wahid, A. dan Faturohman, I. (2012). "Pengendalian pH Air Menggunakan Pengendali PID Non-Linear pada Unit Miniplant". *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia 4*: 906 – 911. Engineering Center, Fakultas Teknik Universitas Indonesia
- Wahid, A. and Gunawan, Rudy (2005) "Metode Korelasi Baru Pada Penyetelan Pengendali PID dengan Pendekatan Model Empirik FOPDT", In *Proceeding of National Seminar of Chemical Process Technology VII 2005*. Jakarta, Indonesia, 23rd March. pp 1 – 9