

# Desain Pengendali pH pada *Continuous Stirred Tank Reactor* (CSTR) menggunakan Kontrol *Fuzzy*

Feni Isdaryani

Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung 40012

E-mail : [feni.isdaryani@polban.ac.id](mailto:feni.isdaryani@polban.ac.id)

## ABSTRAK

Kendali pH merupakan salah satu proses kendali yang sulit pada proses kimia. Pada proses industri, nilai pH dari sebuah larutan sangat berpengaruh terhadap kualitas produk ataupun berpengaruh terhadap jalannya sebuah proses kimia. Nilai pH yang perlu dijaga agar tetap konstan pada rentang nilai tertentu, menyebabkan pengendali pH menjadi fokus penelitian ini. Jenis tangki proses yang digunakan pun memberi pengaruh terhadap pengendalian pH. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem pengendali pH pada reaktor berpengaduk secara kontinu/*continuous stirred tank reactor* (CSTR). Pemilihan jenis reaktor CSTR bertujuan untuk mempermudah proses pencampuran larutan asam dan basa sehingga pH dalam larutan dapat dengan cepat mencapai nilai referensi yang diinginkan. Metode kontrol yang digunakan adalah kontrol logika *fuzzy*. Hasil implementasi menunjukkan bahwa pengendali *fuzzy* membuat respon sistem dapat mengikuti *set point* pH yang diberikan dengan *error steady state* sebesar 0.1%.

### Kata Kunci

*CSTR, kontrol fuzzy, kontrol pH.*

## 1. PENDAHULUAN

Pengendalian pH memegang peranan penting pada berbagai proses kimia, seperti proses-proses pada industri farmasi, industri elektrokimia, industri makanan, proses fermentasi hingga proses pada pengolahan air limbah. Proses pengendalian pH ini merupakan salah satu skema kontrol yang sulit pada industri kimia, dikarenakan sifat nonlinieritas dan sensitivitas terhadap gangguan yang kecil sekalipun.

Rentang operasi pH yang dibutuhkan untuk mencapai performa optimal berbeda-beda. Pada [1], pengendalian pH dilakukan untuk sistem pengolahan air limbah. PH sangat berpengaruh terhadap aktivitas mikroorganisme pada air, sehingga sangat menentukan air tersebut layak digunakan atau tidak. PH optimal pada menara pendingin berada pada rentang 6.5 sampai 7.0. PH diatas 7.0 menyebabkan garam besi dalam air mengendap sehingga mengotori air dan mengurangi efektifitas transfer panas.

Pada skala industri kimia, biasanya pengendalian pH perlu dilakukan pada tangki berukuran besar ataupun pada reaktor berpengaduk secara kontinu/ *continuous stirred tank reactor* (CSTR). Hal ini membuat proses pengendalian semakin sulit karena nilai pH pada tangki yang besar seringkali *overshoot* dari nilai referensinya sehingga membutuhkan waktu yang lama untuk mencapai nilai yang diinginkan [2]. Reaktor berpengaduk secara kontinu (CSTR) memiliki karakteristik nonlinier dan *time varying* sehingga secara umum CSTR merupakan bagian pada proses kimia yang sulit untuk dikendalikan [3]. Efektivitas pengendali pH juga dipengaruhi oleh pemodelan proses. Pemodelan pH dan *plant* yang akurat akan membuat proses menjadi stabil dan berada pada titik kesetimbangannya (ekuilibrium). Berbagai teknik kontrol dilakukan untuk mengendalikan CSTR, pada [4] metode kontrol nonlinier digunakan untuk mengendalikan pH pada CSTR. Metode kontrol nonlinear lebih bisa mendekati karakteristik sistem nonlinear, namun proses perhitungannya lebih rumit karena dibutuhkan pengetahuan yang utuh mengenai kompleksitas sistem itu sendiri. Ada juga yang menggunakan metode linier, dimana CSTR dilinierisasi di sekitar titik ekuilibriumnya untuk mendapatkan model linier. Setelah model linier diperoleh, metode kontrol linier dapat diterapkan. Seperti pada [2]-[3] yang menggunakan metode kontrol PID dan *Linier Quadratic Regulator* (LQR). Teknik pengendali *fuzzy* digunakan untuk pengendalian dan monitoring pH dimana hasil desain pengendali disimulasikan pada reaktor proses/ *process tank* [5]. Pada [6], pengendali *fuzzy* digunakan untuk mengatur temperatur CSTR, hasil simulasi menunjukkan respon dapat mengikuti setpoint, namun dengan aturan *fuzzy* yang banyak yaitu 49 aturan.

Berdasarkan uraian tersebut, dalam penelitian ini dilaksanakan desain pengendali pH pada CSTR menggunakan kontrol *fuzzy*. Secara garis besar metode yang digunakan adalah dengan pendekatan *heuristic*, dimana perlu pengetahuan khusus mengenai dimanika CSTR untuk menentukan aturan kontrol yang tepat sehingga tujuan pengendalian pH dapat dipenuhi.

## 2. PENJELASAN DAN PEMODELAN *PLANT*

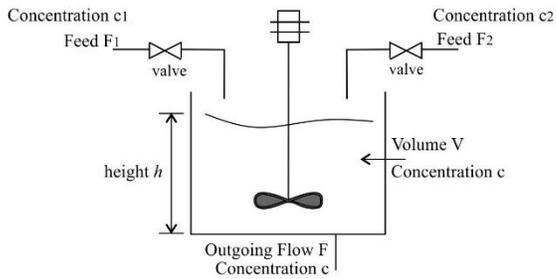
Reaktor berpengaduk secara kontinu (CSTR) adalah salah satu jenis reaktor yang sederhana untuk dibuat dan dipelajari. Reaktor terdiri dari pengaduk yang berputar secara kontinu sehingga larutan dalam reaktor dapat diasumsikan tercampur dengan sempurna. Gambar 1 menunjukkan skema CSTR, dimana terdapat dua buah input dengan laju aliran  $F_1(t)$  dan  $F_2(t)$  dan satu buah output yang terdapat pada dasar reaktor. Laju aliran output dinotasikan oleh  $F(t)$ . Konsentrasi material dari larutan yang masuk ke dalam masing-masing input adalah berbeda, dinotasikan dengan  $c_1$  dan  $c_2$ . Dalam hal ini, diasumsikan tangki mengaduk secara kontinu dan larutan teraduk dengan sempurna sehingga konsentrasi output sama dengan konsentrasi larutan dalam tangki yang dinotasikan dengan  $c(t)$ . Laju aliran output  $F(t)$  tergantung pada tinggi tangki  $h(t)$ .

Persamaan matematika dari CSTR dapat diperoleh dari persamaan berikut [3]:

$$\frac{\partial v(t)}{\partial t} = F_1(t) + F_2(t) - F(t) \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} [c(t)V(t)] = c_1 F_1(t) + c_2 F_2(t) - c(t)F(t) \quad (2)$$

dimana  $V(t)$  adalah volume cairan dalam tangki.



Gambar 1. Skematik dari model tabung CSTR

Laju aliran output  $W(t)$  tergantung pada tinggi tangki  $h(t)$  yang didefinisikan sebagai berikut,

$$F(t) = k\sqrt{h(t)} \quad (3)$$

dimana  $k$  adalah eksponensial konstanta. Jika tangki memiliki luas penampang yang dinotasikan  $S$  maka persamaan (3) dapat ditulis,

$$F(t) = k\sqrt{V(t)/S} \quad (4)$$

sehingga persamaan keseimbangan massa adalah:

$$\frac{\partial v(t)}{\partial t} = F_1(t) + F_2(t) - k\sqrt{V(t)/S} \quad (5)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} [c(t)V(t)] = c_1 F_1(t) + c_2 F_2(t) - c(t)k\sqrt{V(t)/S} \quad (6)$$

Asam dan basa adalah unsur kimia yang digunakan di banyak industri proses. Asam berasal dari bahasa Latin *Acidus*. Asam atau istilah asingnya *acid* didefinisikan sebagai substansi yang menyediakan ion hidrogen

dalam larutan air. Senyawa ionik dalam larutan akan terdissosiasi menjadi ion-ion penyusunnya.

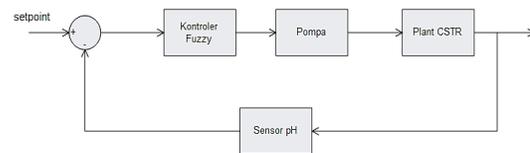
Berikut pengertian Asam dan basa menurut [2]:

- Asam: zat/ senyawa yang dapat menghasilkan ion hydrogen ( $H^+$  dalam air)  
 $HCl_{(aq)} \rightarrow H^+_{(aq)} + Cl^-_{(aq)}$
- Basa: zat/ senyawa yang dapat menghasilkan ion hidroksida ( $OH^-$ ) dalam air  
 $NaOH_{(aq)} \rightarrow Na^+_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$
- Reaksi netralisasi adalah reaksi antara asam dengan basa yang menghasilkan garam:  
 $HCl_{(aq)} + NaOH_{(aq)} \rightarrow NaCl_{(aq)} + H_2O(\lambda)$   
 $H^+_{(aq)} + OH^-_{(aq)} \rightarrow H_2O(\lambda)$

### 3. PERANCANGAN SISTEM

#### 3.1 Diagram Blok Sistem

Struktur kontrol sistem pengatur pH ini dapat dilihat pada Gambar 2. Sistem yang diinginkan adalah pH pada CSTR harus dijaga sesuai dengan *set point*/referensi yang diberikan, oleh karena itu pengendali disini berperan untuk memberikan perintah pada aktuator (berupa dosing pump) untuk memompa cairan asam ataupun basa sesuai dengan yang diperlukan.



Gambar 2. Diagram Blok Sistem

Jika sensor pH dalam CSTR membaca bahwa cairan dalam tabung terlalu asam, maka pengendali akan mengirimkan sinyal kontrol ke aktuator. Aktuator akan memompa cairan basa

agar pH dalam tabung tetap terjaga. Dalam penelitian ini, *propeller* pengaduk dalam CSTR berputar pada kecepatan konstan.

### 3.2 Perancangan Pengendali Fuzzy

Desain pengendali untuk pengaturan pH pada CSTR ini menggunakan kendali *fuzzy* dengan dua buah premis dan sembilan aturan/*rules*. Desain pengendali ini digunakan sebagai otak dari sistem, dimana mengatur aliran cairan asam dan basa yang masuk pada CSTR sehingga respon dapat sesuai dengan referensi yang diberikan.

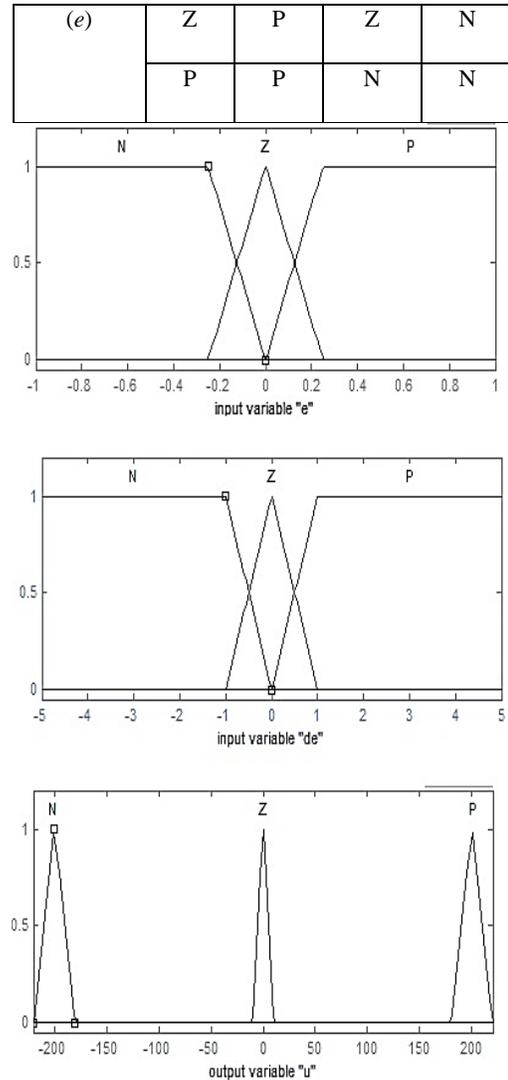
Variabel premis terdiri dari error ( $e$ ) dan *derivative error* ( $de$ ). Fungsi keanggotaan yang digunakan adalah fungsi keanggotaan segitiga dengan fungsi sebagai berikut:

$$\mu(x) = f(x; a, b, c) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x - a}{b - a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{c - x}{c - b}, & b \leq x \leq c \\ 0, & c \leq x \end{cases}$$

Himpunan *fuzzy* yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.2. Terdapat 3 himpunan yang digunakan untuk  $e$ ,  $de$ , dan aksi kontrol ( $u$ ) yaitu, negatif (N), zero (Z) dan positif (P). Jika konsekuen  $u$  adalah kesimpulan yang didapat ketika suatu premis  $e$  dan  $de$  terpenuhi, maka terdapat sembilan aturan *fuzzy* untuk kontrol pH seperti yang diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Tabel Aturan Fuzzy untuk Kontrol pH

| Konsekuen<br>( $u$ ) |   | Premis<br>( $de$ ) |   |   |
|----------------------|---|--------------------|---|---|
|                      |   | N                  | Z | P |
| Premis               | N | P                  | P | N |
|                      | Z | P                  | P | N |
|                      | P | P                  | P | N |



Gambar 3. Fungsi Keanggotaan Kontrol Fuzzy

Variabel premis pertama ( $e$ ) dan kedua ( $de$ ) dibagi ke dalam tiga fungsi keanggotaan (seperti pada Gambar 3), yaitu *Negative*, *Zero* dan *Positive*. *Negative* untuk menggambarkan pH pada nilai batas bawah, *zero* menggambarkan pH dalam kondisi netral dan *positif* menggambarkan pH pada nilai batas atas.

Rentang nilai variable  $e$  bernilai -1 hingga 1 dikarenakan pertimbangan perlunya ketelitian dan keakuratan dalam pengukuran pH ini. Kedua variabel premis  $e$  dan  $de$  memiliki jenis

fungsi keanggotaan segitiga dan *trapezium*. Untuk aksi kontrol ( $u$ ) terdiri dari fungsi keanggotaan segitiga dengan rentang nilai antara -200 hingga 200.

#### 4. HASIL

Pada penelitian ini, hasil desain pengendali *fuzzy* di implementasikan pada *plant* CSTR yang telah dibuat. CSTR terdiri dari *propeller* pengaduk, sensor pH, dua buah inlet untuk cairan asam dan basa dengan dua buah *dosing pump* untuk memompa cairan asam dan basa. *Dosing pump* 1 digunakan untuk memompa cairan basa sedangkan *dosing pump* 2 digunakan untuk memompa cairan asam dengan maksimal tegangan kerja 12 volt.

Pengendali *fuzzy* didesain menggunakan *software* Matlab. Komunikasi data antara *plant* dan pengendali *fuzzy* menggunakan Arduino uno sebagai antarmuka, sedangkan respon sistem diamati menggunakan *toolbox scope* pada *software* Matlab. Gambar 4 menunjukkan realisasi pengendali pH pada CSTR.



Gambar 4. Realisasi pengendali pH

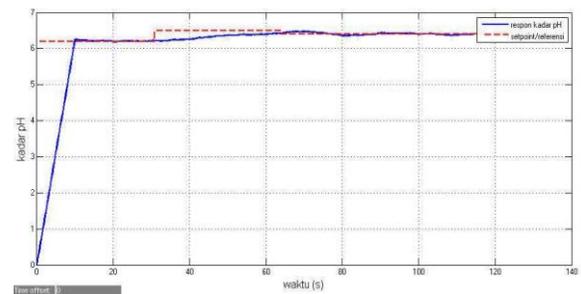
Sensor pH yang digunakan adalah 1 set modul sensor pH yang terdiri dari probe sensor dengan

konektor BNC dan pH *sensor interface*. Interface ini berfungsi untuk mengkonversi nilai pH menjadi satuan tegangan.

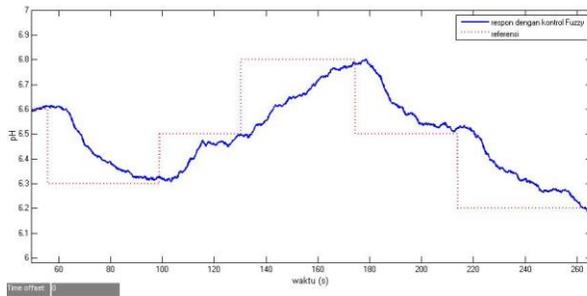
Pengendalian pH pada CSTR dilakukan dengan mengatur aliran inlet baik cairan asam maupun basa yang masuk pada CSTR. Jika sensor pH dalam CSTR membaca bahwa cairan dalam tabung terlalu asam, maka pengendali *fuzzy* akan mengirimkan sinyal kontrol ke aktuator. Aktuator akan memompa cairan basa agar pH dalam tabung tetap terjaga.

Pengendali *fuzzy* yang didesain ada penelitian ini terdiri dari sembilan buah aturan *fuzzy*. Desain pengendali menunjukkan hasil yang baik ketika diimplementasikan pada CSTR yang memiliki karakteristik nonlinier. Pengujian dilakukan dengan mengatur pH yang diinginkan berada antara rentang nilai 6.2 hingga 6.8. Gambar 5 menunjukkan kondisi performa saat diberi nilai referensi pH 6.2. Pada gambar tersebut, respon sistem dapat mengikuti referensi/*set point* pH yang diberikan yaitu 6.2, kemudian *set point* dinaikkan kembali menjadi 6.5 respon dapat mengikuti dengan *steady state error* sebesar 0.1 %.

Hubungan antara selisih pH pada cairan dalam reaktor dan tegangan *dosing pump* yang dibangkitkan untuk memompa cairan asam dan basa kedalam CSTR dapat dilihat pada Tabel 2.



Gambar 5. Respon CSTR dengan pengendali *fuzzy*



Gambar 6. Respon CSTR dengan pengendali *fuzzy* dengan variasi *set point*

Tabel 2. Hubungan Selisih pH dengan Tegangan Dosing Pump

| Selisih pH  | Tegangan dosing pump 1 (volt) | Tegangan dosing pump 2 (volt) |
|-------------|-------------------------------|-------------------------------|
| $\leq -0.8$ | 11                            | 0                             |
| -0.5        | 9.5                           | 0                             |
| -0.4        | 8.5                           | 0                             |
| -0.2        | 8.3                           | 0                             |
| 0           | 0                             | 0                             |
| 0.2         | 0                             | 8.3                           |
| 0.4         | 0                             | 8.5                           |
| 0.5         | 0                             | 9.5                           |
| $\geq 0.8$  | 0                             | 11                            |

Untuk mengetahui kemampuan sistem dalam *tracking* referensi, maka dianalisa respon sistem saat diberi nilai *set point* yang bervariasi. Referensi yang diberikan bervariasi, yaitu antara rentang 6.2 – 6.8. Hasilnya seperti ditunjukkan oleh Gambar 6. Respon dapat mengikuti *set point* yang diberikan, namun terdapat keterlambatan pada respon untuk

mencapai *set point* dengan waktu tunda sebesar 15 detik. Hal ini dapat dikarenakan karakteristik sensor pH yang terdapat waktu tunda dalam pembacaan.

## 5. KESIMPULAN

Penelitian ini menyajikan strategi kontrol untuk menyelesaikan permasalahan kendali pH pada CSTR menggunakan kontrol *fuzzy*. Pendekatan yang digunakan adalah pendekatan *heuristic*, sehingga diperoleh aturan kontrol *fuzzy* yang tepat dengan jumlah aturan fuzzy yang sedikit yaitu sembilan aturan.

Hasil implementasi menunjukkan bahwa sistem kontrol dapat menstabilkan pH dalam cairan pada CSTR dengan *steady state error* sebesar 0.1 %. Untuk menunjukkan kemampuan *tracking*, sistem diberi nilai *set point* yang berbeda-beda, dan hasilnya menunjukkan bahwa respon dapat mengikuti *set point* yang diberikan dengan terdapat waktu tunda kurang lebih 15 detik.

## 6. SARAN

Pada penelitian ini kondisi kecepatan *propeller* untuk mengaduk cairan dalam CSTR dikondisikan dalam keadaan konstan. Hal ini dapat menjadi pertimbangan untuk pengembangan penelitian selanjutnya dengan mengatur pula kecepatan putar *propeller* sehingga diharapkan dapat mempengaruhi performa stabilitas kendali pH menjadi lebih baik.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Kang, M. Wang, dan Z. Xiao, "Modeling and Control of pH in Pulp and Paper Wastewater Treatment Process," in *Journal of Water Resource and Protection (JWARP)*, vol. 2, 2009.

- [2] S. P. Mushonga, “pH Control Using Two Continuous Stirred Tank Reactors In Series,” *A Thesis*, California State University, Long Beach, 2015.
- [3] F. B. Poyen, D. Mukherjee, dan D. B. Santu Guin, “Implementation Of Linear Quadratic Regulator For CSTR Tank,” *Proc. Of the Second Int. Conf. on Advances in Electronics and Electrical Engineering (AEEE)*, 2013.
- [4] S. S. Ram, D. Dinesh Kumar, dan B. Meenakshipriya, “Designing of Controllers for pH Neutralization Process,” in *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET)*, vol. 3, 2015.
- [5] V. Manoj, S. Varunkumar, R. Manoranjith dan V. Radhika., “Control and Monitoring of pH Process Using Fuzzy Based Controller” in *International Journal of Innovation Research in Electrical, Electronics, Instrumentation and Control Engineering*, vol. 3, Issue 1, 1 Januari 2015.
- [6] T. Manish., “Fuzzy Logic Based CSTR Control”, in *International Journal of Advance Research and Application (IJAERA)*, vol. 1, issue 11, Maret 2016.
- [7] K. M. Pasino dan S. Yurkovich, *Fuzzy Control*, California: Addison Wesley Longman, 1998.