

## PERANCANGAN DAN IDENTIFIKASI KENDALI PID PADA ALIRAN HIDROGEN SUMBER ION SIKLOTRON DECY 13

### DESIGN AND IDENTIFICATION OF PID CONTROL ON THE CYCLOTRON DECY 13 HIDROGEN ION SOURCE

Fajar Sidik P<sup>1,2</sup>, Nazrul Effendy<sup>1\*</sup> dan Awang N I Wardana<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departemen Teknik Nuklir dan Teknik Fisika, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada  
Jl. Grafika 2 Yogyakarta, 55281, Indonesia

<sup>2</sup>Pusat Sains dan Teknologi Akselerator, BATAN, Jl. Babarsari Kotak Pos 6101 ykbb, Yogyakarta 55281

\*Email: nazrul@ugm.ac.id

Diterima 4 Mei 2021, diterima dalam bentuk perbaikan 22 Agustus 2021, disetujui 25 Agustus 2021

#### ABSTRAK

**PERANCANGAN DAN IDENTIFIKASI KENDALI PID PADA ALIRAN HIDROGEN SUMBER ION SIKLOTRON DECY 13.** Sumber ion merupakan salah satu bagian dari sistem siklotron yang salah satunya berfungsi memberikan pasokan gas hidrogen. Perubahan masukan gas Hidrogen dari sistem katup manual menjadi otomatis menggunakan perangkat kendali menyebabkan aliran gas tidak stabil. Aliran gas Hidrogen sangat mempengaruhi kevakuman di dalam bejana vakum, apabila terjadi kesalahan terus menerus akan mengganggu arus berkas dan menimbulkan lucutan yang menyebabkan kerusakan pada alat instrumentasi. Sehingga perlu dilakukan pengendalian kesetabilan pada aliran gas Hidrogen. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang sistem kendali otomatis PID (Proporsional, Integral, dan derivative) pada aliran gas hidrogen sehingga dapat mengurangi kesalahan yang terjadi selama operasi siklotron DECY 13. PID yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan metode Ziegler Nichos. Metode ini menggunakan kurva reaksi dari keluaran sistem untuk menentukan nilai kendali. Pemodelan sistem aliran gas dilakukan dengan percobaan secara langsung dengan memberikan masukan berupa aliran ke ruang vakum, sehingga diperoleh kurva tanggap sistem dan diolah dengan software Matlab. Hasil percobaan yang dilakukan diperoleh fungsi transfer orde 3 dengan tingkat kecocokan 88,72%. Dari model tersebut dilakukan penalaan nilai  $K_p$ ,  $K_i$  dan  $K_d$  dengan menggunakan metode Ziegler Nichols dan dibandingkan dengan IAE dan ITAE untuk memperoleh parameter kendali. Hasil dari nilai yang diperoleh menggunakan metode ZN menghasilkan overshoot 0,6%, rise time 0,2 detik dan settling time 0,5 detik. Dengan hasil respon tersebut menunjukkan bahwa aliran gas hidrogen akan stabil dan memberikan respon yang cepat saat ada kesalahan yang terjadi sehingga tidak akan mengganggu kevakuman, menghindari lucutan dan menjaga kestabilan operasi siklotron DECY 13.

**Kata kunci:** siklotron, sumber ion, sistem kendali, PID.

#### ABSTRACT

**DESIGN AND IDENTIFICATION OF PID CONTROL ON THE CYCLOTRON DECY 13 HIDROGEN ION SOURCE.** The ion source is one part of the cyclotron system which functions to provide hydrogen gas input. The change in Hydrogen gas input from a manual valve system to an automatic one using a control device causes the gas flow to become unstable. Hydrogen gas flow affects the vacuum in the vacuum chamber, if an error occurs, it will interfere with the current flow and cause a discharge that causes damage to the instrumentation tool. So it is necessary to control the stability of the hydrogen gas flow. The application of the PID control system to the hydrogen gas flow is one of the efforts made to reduce errors that occur during DECY 13 cyclotron operation. PID is a control that provides proportional, derivative and integral values for errors that occur every time and reduces them. PID used in this study using the Ziegler Nichos method. This method uses the reaction curve of the system output to determine the control value. The modeling of the gas flow system is carried out by direct experiments by providing input in the form of flow to the vacuum chamber, so that the system response curve is obtained and processed with Matlab software. The results of the experiments carried out obtained a 3rd order transfer function with a match rate of 88.72%. From this model, the values of  $K_p$ ,  $K_i$  and  $K_d$  were adjusted using the Ziegler Nichols method and compared with IAE and

*ITAE to obtain control parameters. The results of the values obtained using the ZN method produce an overshoot of 0.6%, a rise time of 0.2 s and a settling time of 0.5 s. The results of these responses indicate that the flow of hydrogen gas will be stable and provide a fast response when an error occurs so that it will not disturb the vacuum, discharge and maintain the stability of the DECY 13 cyclotron operation.*

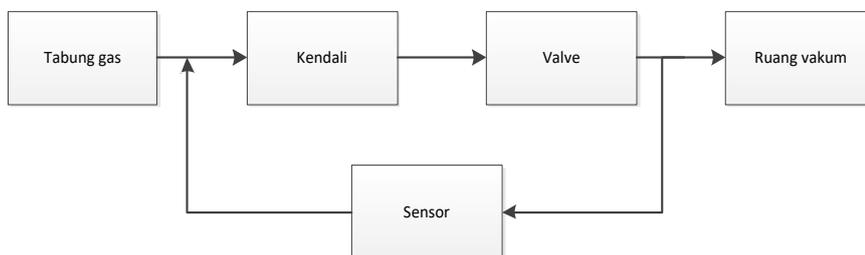
**Keywords:** cyclotron, Ion source, control system, PID.

## PENDAHULUAN

Pemerintah melalui Pusat Sains dan Teknologi Akselerator (PSTA) - Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) sedang melakukan rancang bangun Siklotron proton dengan energi 13 MeV yang diberi nama Siklotron DECY-13. Siklotron tersebut direncanakan akan digunakan untuk produksi radioisotop  $^{18}\text{F}$ . Prinsip kerja mesin akselerator siklotron adalah dengan mempercepat partikel bermuatan secara periodik menggunakan tegangan bolak-balik dan medan magnet sebagai pembelok lintasan partikel di dalam ruang vakum, sehingga partikel akan bergerak secara melingkar dalam radius. Siklotron terdiri dari beberapa sistem antara lain sistem magnet, sistem radio frekuensi, sistem sumber ion, sistem vakum, sistem target, sistem pendingin dan sistem pendukung lainnya.

Sistem sumber ion merupakan salah satu bagian dari sistem siklotron yang berfungsi mengendalikan aliran gas hidrogen yang masuk ke sistem vakum siklotron. Sistem ini akan mengatur laju aliran gas dan posisi pergerakan keluarnya gas yang akan masuk ke dalam sistem vakum agar sesuai pada titik pusat (*central region*) siklotron atau posisi yang diinginkan [1]. Sistem sumber ion yang digunakan pada Siklotron DECY 13 pada saat ini terdiri dari dua buah sub sistem di dalamnya, yaitu katup untuk mengendalikan aliran gas hidrogen dan motor untuk penggerak posisi dari batang sumber ion [2]. Semua kendali masih menggunakan kendali manual yaitu kran *valve* yang diatur dengan tangan dan gerakan motor posisi dengan tombol *on/off* [3].

Pada percobaan yang telah dilakukan Silakhuddin, dkk dalam pengujian berkas sumber ion pada *central region* telah terjadi arus berkas yang keluar. Tetapi arus berkas yang dihasilkan belum stabil dan tidak linier dalam waktu yang lama. Ketidak stabilan arus berkas yang terjadi antara lain adalah arus katoda dari catu daya katoda yang tidak stabil, catu daya anoda/penarik berkas yang tidak stabil, tingkat kevakuman pada *chamber* yang turun, posisi *head* sumber ion yang tidak pas pada *central region* dan lain sebagainya [3]. Salah satu dari sekian faktor yang mempengaruhi arus berkas adalah dari aliran gas hidrogen yang dikeluarkan pada tabung gas tidak stabil atau konstan dan cenderung turun selama operasi sehingga ruang vakum berubah tingkat kevakumannya. Selain itu, terjadi pembaharuan sistem pada sumber ion yang sebelumnya merupakan *valve* manual menjadi *valve* otomatis yang dapat dikendalikan secara langsung dari ruang kontrol. Pembaruan perangkat menjadi jarak jauh dikarenakan operator siklotron tidak boleh berada di dekat plant karena adanya radiasi yang timbul saat operasi. Sistem kendali aliran gas hidrogen ditunjukkan pada Gambar 1. Sistem terdiri dari tabung gas yang dialirkan melewati katup menuju ruang vakum. Penambahan sistem kendali bertujuan untuk mengatur kesetabilan aliran gas Hidrogen yang masuk ke dalam ruang vakum [4-6].

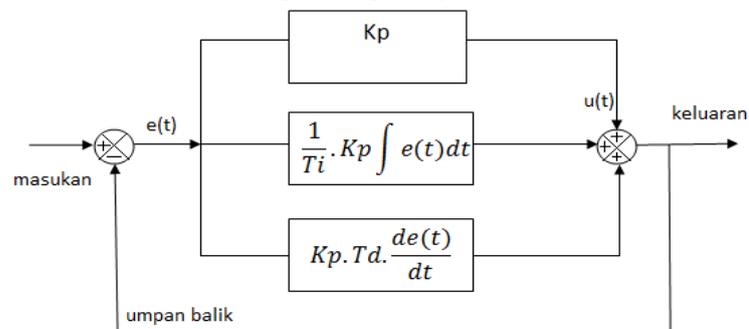


**Gambar 1.** Sistem kendali aliran gas Hidrogen.

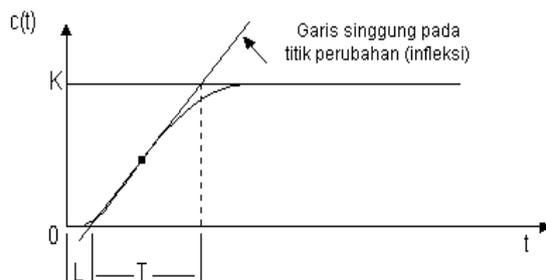
Perancangan dan identifikasi sistem kendali aliran gas hidrogen pada sumber ion Siklotron DECY-13 dimodelkan dengan menggunakan sistem identifikasi kendali pada tools matlab. Metode Ziegler Nichols (ZN) dilakukan untuk mencari nilai kendali karena kurangnya pengetahuan karakteristik pemodelan fisis dan dinamis dari suatu sistem [7]. Sehingga untuk memudahkan dalam mengetahui karakteristik dari sistem dapat dilakukan dengan melihat tanggap *input* dan *output* yang diberikan ke dalamnya. Metode PID sudah banyak digunakan dalam pengendalian sistem tanpa harus mencari nilai fisis dari sistem kendali instrumentasi di berbagai industri [8-10]. Pada pengendalian aliran gas yang paling ditekankan adalah mengurangi *error* dalam lonjakan aliran gas yang tinggi saat pertama kali di berikan *input* (*overshoot*), waktu keluar gas untuk menuju *set point* yang diberikan (*rise time*) dan ketidak stabilan gas selama operasi/ *error* osilasi gas (*settling time*) [9-11].

## METODOLOGI

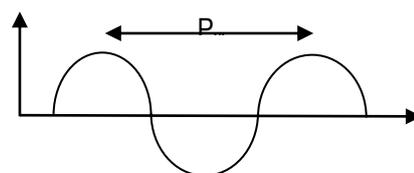
Dalam mengurangi *error*  $e(t)$  dalam suatu sistem dibutuhkan sistem kendali yang berumpan balik. *Error* yang dikirimkan oleh sistem harus direduksi hingga mencapai nilai nol atau dihilangkan dari sistem agar tidak mengganggu proses yang berlangsung [9]. PID merupakan suatu kendali yang banyak digunakan pada dunia industri untuk mereduksi *error* dari suatu sistem. Kendali ini hanya menggunakan tiga buah konstanta pengendalian yaitu proporsional ( $K_p$ ), integral ( $K_i$ ) dan derifative ( $K_d$ ) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Dengan mengatur konstanta kontrol tersebut dapat mempercepat respon sistem, menghilangkan *error overshoot* dan menghasilkan perubahan sistem secara signifikan [10-13].



Gambar 2. Blok diagram kendali PID.



Gambar 3. Kurva respon S. [7]



Gambar 4. Respon Osilasi.

Ziegler Nichols mengembangkan metode ZN pada tahun 1942 yang sering dinamakan dengan metode kurva reaksi. Metode ini digunakan untuk mencari P, I dan D tanpa harus mengetahui *plant*. Metode ini terdiri dari dua cara yaitu metode osilasi dan kurva reaksi [9]. Metode kurva reaksi seperti ditunjukkan Gambar 3 dilakukan dengan memberikan *input* ke sistem dan menghasilkan kurva berbentuk seperti huruf S. Metode ini juga dilakukan tanpa *feedback* (umpan balik). Dari grafik akan diperoleh nilai  $L$  (waktu mati) dan  $T$  (waktu tunda). Nilai tersebut dimasukkan ke dalam Tabel 1 untuk memperoleh nilai PID. Metode ke ZN 2 menggunakan respon sistem berbentuk osilasi seperti ditunjukkan Gambar 4. Metode ini dilakukan dengan cara menentukan nilai  $K_p$  terlebih dahulu dan dinaikkan sampai sistem berosilasi mencapai nilai kritis ( $K_{cr}$ ) sehingga didapatkan periode

osilasi konstan atau penguatan kritis ( $P_{cr}$ ). Selain itu percobaan ini dilakukan pada sistem *close loop*. Respon yang dihasilkan diolah menggunakan Tabel 2 [12-15].

**Tabel 1.** Penalaan Kurva Reaksi.

Tipe kontrol	$K_p$	$T_i$	$T_d$
P	T/L	-	-
PI	0,9T/L	L/0,3	-
PID	1,2T/L	2L	0,5L

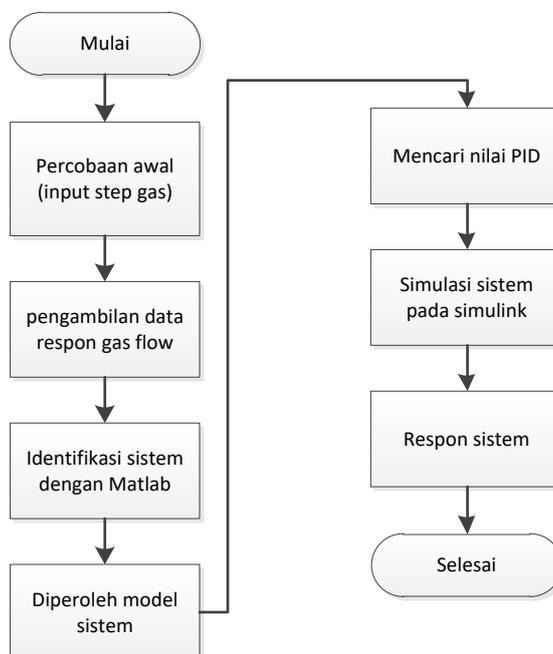
**Tabel 2.** Penalaan Osilasi.

Tipe kontrol	$K_p$	$T_i$	$T_d$
P	0,5 $K_{cr}$	-	-
PI	0,45 $K_{cr}$	1/1,2 $P_{cr}$	-
PID	0,6 $K_{cr}$	0,5 $P_{cr}$	0,125 $P_{cr}$

Selain menggunakan metode ZN ada beberapa kriteria dasar dalam mengolah error yang terjadi dalam suatu sistem antara lain *integral of absolute error* (IAE) dan *integral of time multiplied by absolute error* (ITAE). IAE merupakan integral dari nilai mutlak error tiap satuan waktu [14]. Metoda ini banyak dipakai untuk menghilangkan nilai osilasi yang terjadi pada sistem dan sangat efektif dalam menghilangkan error kecil. Tetapi saat terjadi error yang besar akan bergerak lambat dalam mereduksi error. ITAE merupakan penambahan pengali waktu pada IAE, sehingga akan lebih mempercepat respon dalam mereduksi error.

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

$$ITAE = \int_0^{\infty} t|e(t)| dt \quad (2)$$



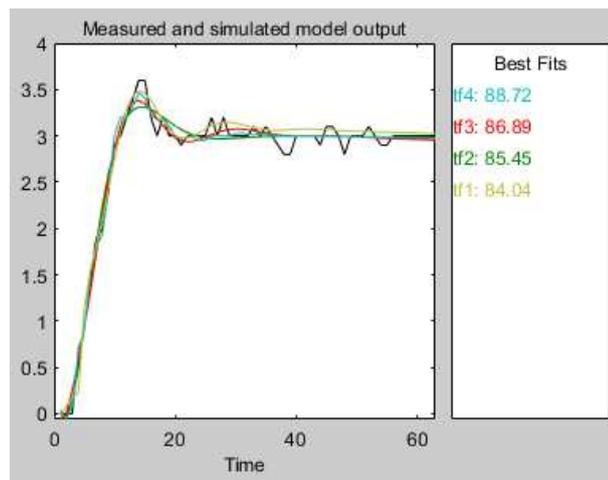
**Gambar 5.** Diagram alir percobaan.

Percobaan pertama dilakukan pada saat bejana berada pada kondisi vakum seperti pada eksperimen yang dilakukan pada penelitian sebelumnya [17]. Gas dimasukkan dengan *input step* dan diamati waktunya (respon waktu) dari nilai 0 sampai mencapai *input* yang diberikan. Dari hasil tersebut akan terlihat respon sistem terhadap waktu (grafik respon) sehingga dapat diolah menggunakan persamaan ZN untuk memperoleh nilai PID. Respon sistem yang diperoleh akan diolah menggunakan sistem identifikasi untuk mendapatkan persamaan berupa fungsi transfer. Persamaan yang akan tersebut akan menjadi fungsi dari sistem aliran gas hidrogen yang digunakan. Fungsi transfer dimasukkan dalam simulink seperti yang dilakukan Arun R, dkk [11] untuk melihat repon dari sistem aliran gas hidrogen, dengan kendali PID, IAE dan ITAE akan terlihat repon *error* yang direduksi dari pada sistem sebelum menggunakan kontrol.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Identifikasi Sistem dan eksperimen

Identifikasi sistem dilakukan dengan eksperimen *input* dan *output* pada banyaknya gas yang mengalir ke dalam ruang vakum. Banyaknya aliran gas yang diberikan untuk pembuatan model 3 sccm dengan masing-masing sebanyak 5 kali percobaan dan menghasilkan hasil yang hampir sama. Eksperimen dilakukan pada saat tingkat kevakuman  $10^{-3}$  Torr (vakum rendah) dan  $10^{-5}$  Torr (vakum tinggi) [17]. *Input* gas diberikan berupa sinyal step dan *output* diukur dengan alat ukur aliran gas (*mass flow meter*) dengan satuan sccm ( $\text{cm}^3/\text{min}$ ). Data output yang diperoleh diolah menggunakan Matlab fungsi diidentifikasi untuk mencari pemodelan sistem [11]. Dengan menggunakan fitur yang sama dilakukan *fitting* sehingga didapatkan model berupa fungsi transfer yang memiliki presentasi tertinggi yaitu sistem orde 3 dengan kecocokan 88,72% yang ditunjukkan pada Gambar 6.



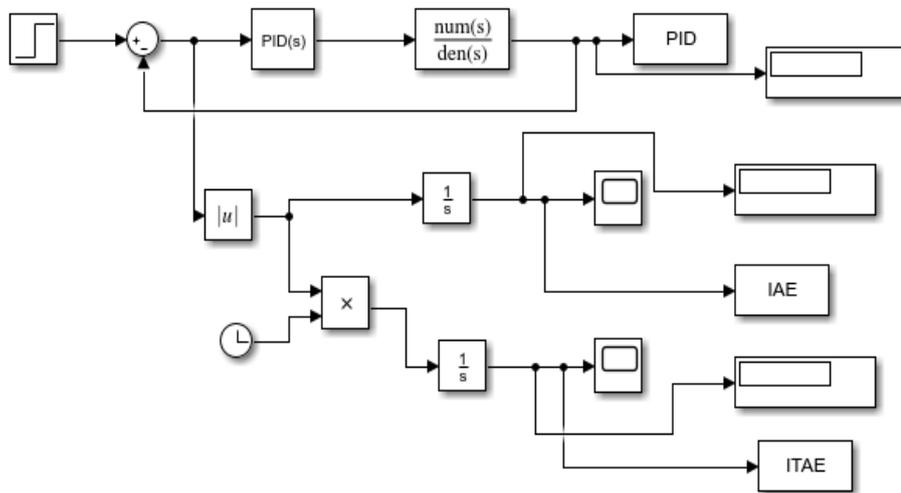
Gambar 6. Model *output* aliran gas hidrogen.

Tabel 3. Respon aliran gas Hidrogen.

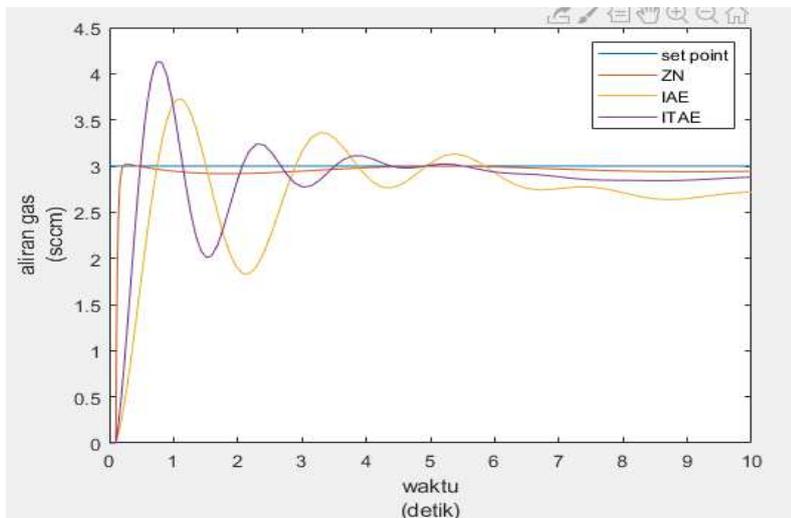
No	Kendali	Max Overshoot	Rise time	Settling time
1	Tanpa kendali	20 %	20 detik	-
2	PID ZN	0,6 %	0,2 detik	0,5 detik
3	IAE	24 %	0,7 detik	3,2 detik
4	ITAE	36 %	0,4 detik	2,4 detik

Model yang diperoleh dihitung menggunakan Tabel 3 untuk memperoleh nilai  $K_p$ ,  $K_i$  dan  $K_d$ . Nilai tersebut dimasukan pada Simulink untuk melihat repon sistem yang terjadi (Gambar 6). Hasil output secara langsung tanpa kontroler menghasilkan performa yang buruk dengan *rise time* yang sangat lama yaitu 20 detik. Dengan adanya *error* setiap waktu maka memiliki *settling time* yang tidak terhingga. Dengan menggunakan metode ZN diperoleh nilai yang paling baik yaitu  $K_p=4,7$ ,  $K_i= 4,2$  dan  $K_d=0,002$  seperti ditunjukkan pada Gambar 8. Hasil

respon sistem menggunakan ZN menghasilkan *overshoot* sebesar 0,6%, *rise time* 0,2 detik dan *settling time* 0,5 detik. Metode penalaan IAE menghasilkan *overshoot* sebesar 24%, *rise time* 0,7 detik dan *settling time* 3,2 detik dengan toleransi *error*  $\pm 0,2$ . Tetapi metode IAE menghasilkan *error* yang semakin besar apabila sistem beroperasi lama terlihat setelah detik ke 6. Metode penalaan ITAE menghasilkan *max overshoot* sebesar 36%, *rise time* 0,4 detik dan *settling time* 2,4 detik dengan toleransi *error*  $\pm 0,2$ . Metode ITAE menghasilkan respon sistem lebih baik dari pada IAE dengan menghasilkan *overshoot* semakin turun dan mendekati *set point* setelah detik ke 4.



Gambar 7. Implementasi PID pada Simulink.



Gambar 8. Respon sistem sumber ion dengan ZN, IAE dan ITAE.

Dari hasil yang ditunjukkan pada Gambar 8 dan Tabel 3 menunjukkan bahwa metode ZN memberikan performa yang paling baik dalam mengatur kestabilan aliran gas, kendali aliran gas hidrogen yang diberikan dapat menuju ke *set point* (3 sccm) saat diberikan masukan tanpa terjadi lonjakan gas yang tinggi atau *overshoot* 0,6%, dengan waktu respon untuk mendekati *set point* yaitu 0,4 detik dan aliran gas berada dalam kondisi setimbang dengan *error* kurang dari 1% selama operasi berlangsung. Dengan stabilnya aliran gas Hidrogen yang masuk ke dalam ruang vakum Siklotron maka sistem aliran gas tidak akan menyebabkan *discharge* kecuali dari sistem lain yang mengganggu. Aliran gas tidak akan mengalami lonjakan dan beresilasi selama operasi berlangsung selama *error* masih bisa dikendalikan oleh sistem kendali.

## KESIMPULAN

Nilai kendali PID pada sistem gas hidrogen untuk sumber ion siklotron DECY-13 telah diperoleh dengan menggunakan PID metode ZN, IAE dan ITAE. Hasil respon sistem aliran gas dengan menggunakan metode ZN memberikan hasil terbaik dengan *max overshoot* 0,6%, *rise time* 0,2 detik dan *settling time* 0,5 detik. Nilai tersebut lebih baik jika dibandingkan dengan IAE dan ITAE yang masih memiliki *error* dan berosilasi selama operasi. Dengan hasil tanggap tersebut menunjukkan bahwa aliran gas hidrogen dengan metode ZN akan stabil dan memberikan tanggapan yang cepat untuk mereduksi *error* yang terjadi, sehingga tidak akan mengganggu kevakuman, menghindari *discharge* dan menjaga kestabilan operasi siklotron DECY 13.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih penulis sampaikan kepada rekan-rekan, bapak dan ibu di Departemen Teknik Nuklir dan Teknik Fisika, Universitas Gadjah Mada dan PSTA Batan Yogyakarta atas bantuannya dalam penyelesaian penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Li *et al.*, "The design and implementation of the beam diagnostics control system for HIMM," *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sect. Accel. Spectrometers Detect. Assoc. Equip.*, vol. 919, pp. 27–35, 2019.
- [2] Saefurrochman, Saminto, and A. Susanto, "Analisis perancangan sistem instrumentasi perangkat pengatur posisi sumber ion Decy-13," *Prosiding Pertemuan Dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan Dan Teknologi Nuklir, Pusat Sains dan Teknologi Akselerator-Batan, Yogyakarta*, 2018.
- [3] Y. B. Kong, M. G. Hur, E. J. Lee, J. H. Park, Y. D. Park, and S. D. Yang, "Predictive ion source control using artificial neural network for RFT-30 cyclotron," *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sect. Accel. Spectrometers Detect. Assoc. Equip.*, vol. 806, pp. 55–60, 2016.
- [4] S. Silakhuddin *et al.*, "Ion beam preliminary testing of DECY-13 cyclotron at the central region using dc extraction voltage," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 432, p. 012026, 2018.
- [5] Y. H. Yeon, M. Ghergherehchi, X. Mu, K. M. M. Gad, and J. S. Chai, "Development and discharge characteristics of negative hydrogen ion source for the SKKUCY-9 cyclotron," *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sect. Accel. Spectrometers Detect. Assoc. Equip.*, vol. 763, pp. 510–516, 2014.
- [6] S. Silakhuddin and I. A. Kudus, "Optimization of Ion Source Head Position in the Central Region of DECY-13 Cyclotron," *At. Indonesia.*, vol. 43, no. 2, p. 81, 2017.
- [7] P. Parikh, S. Sheth, R. Vasani, and J. K. Gohil, "Implementing Fuzzy Logic Controller and PID Controller to a DC Encoder Motor – 'A case of an Automated Guided Vehicle,'" *Procedia Manuf.*, vol. 20, pp. 219–226, 2018.
- [8] S. Ozdemir, O. Kaplan, I. Sefa, and N. Altin, "Fuzzy PI controlled Inverter for Grid Interactive Renewable Energy Systems," *IET Renewable Power Generation*, vol. 9, no. 7, pp. 729–738, 2015.
- [9] V. H. Haji, A. Fekih, and C. A. Monje, "A Dynamic Firefly Algorithm-Based Fractional Order Fuzzy-PID Approach for the Control of a Heavy-Duty Gas Turbine," *IFAC-Pap.*, vol. 53, no. 2, pp. 11913–11919, 2020.
- [10] D. E. Seborg, *Process Dynamics and Control*, 3<sup>rd</sup> ed. Hoboken, N.J: John Wiley & Sons, Inc, 2011
- [11] Aruna, R., & Jaya Christa, S. T, Modeling system identification and design of fuzzy PID controller for discharge dynamics of metal hydride hydrogen storage bed, *International Journal of Hydrogen Energy*, 2019.
- [12] D. E. P. Lebukan, A. N. I. Wardana, and N. Effendy, "Pengembangan Blok Fungsi Kendali PI-Fuzi pada IEC 61499," *J. Tek. Elektro*, vol. 11, no. 1, pp. 16–25, 2019.

- [13] D. E. P. Lebukan, A. N. I. Wardana, and N. Effendy, "Implementation of Plant-Wide PI-Fuzzy Controller in Tennessee Eastman Process," in *2019 International Seminar on Application for Technology of Information and Communication (iSemantic)*, Semarang, Indonesia, 2019, pp. 450–454.
- [14] K. Candra and L. H. Pratomo, "Pengendalian Tegangan Keluaran DC-DC Boost Converter Tipe Voltage Doubler Menggunakan Mikrokontroler STM32F1038CT," *J. Tek. Elektro*, vol. 12, no. 2, pp. 40–46, Dec. 2020.
- [15] H. Wicaksono, "Analisa Performansi dan Robustness Beberapa Metode Tuning Kontroler PID pada Motor DC," *J. Tek. Elektro*, vol. 4, no. 2, p. 70-78, 2004.
- [16] K. Ogata, *Modern control engineering*, 5th ed. Boston: Prentice-Hall, 2010.
- [17] F. I. Diah, Saminto, V. A. F. Sari, K. Wibowo, and F. S. Permana, "Evaluation of hydrogen gas flow system in DECY - 13 cyclotron," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1825, no. 1, 2021.