

PENGENDALIAN TEGANGAN GENERATOR OKSIHIDROGEN MENGUNAKAN METODE KONTROL PID

VOLTAGE REGULATION OF OXYHYDROGEN GENERATOR USING PID CONTROL METHOD

Hanafi Rusmantika¹, Dr. Dudi Darmawan, S. Si., M.T.², Reza Fauzi Iskandar, S. Pd., M.T.³
^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom
¹rusmantikahanafi@gmail.com, ²dudidw@gmail.com, ³rezafauzii@gmail.com

Abstrak

Dalam jurnal ilmiah ini, penulis melaporkan penelitian penulis mengenai perancangan algoritma kontrol PID pada sebuah model sistem sel oksihidrogen yang terdiri dari sebuah model konverter *buck-boost* dan model sel elektrolisis yang dirangkai secara lup-tertutup. Dari penelitian penulis, ditemukan konstanta PID K_p , K_i , dan K_d berturut-turut adalah 0,02982, 39,236842, dan 0,0000056658. Selain itu ditemukan juga rasio redaman ζ dan frekuensi natural ω_n berturut-turut 0,02679, dan 2187,782 Hz. Hasil temuan penulis menunjukkan perilaku sistem pada simulasi lebih lambat dibandingkan dengan prediksi perilaku sistem orde-dua secara analitik. Hal ini dikarenakan adanya zero bidang kanan pada fungsi transfer dari sistem serta karakteristik dari rangkaian konverter *buck-boost* itu sendiri. Selain itu, algoritma kontrol PID berhasil menstabilkan sistem dibuktikan dari hasil uji set-point dan plot Nyquist yang dibuat berdasarkan fungsi transfer dari sistem.

Kata Kunci : PID, oksihidrogen, konverter buck-boost, MATLAB, Simulink

Abstracts

In this science paper work, a research on PID control scheme on a closed-loop oxyhydrogen cell system, which consists of a buck-boost converter and an electrolysis cell, is reported. From the research, it is concluded that the PID constants K_p , K_i , dan K_d are respectively 0.02982, 39.236842, dan 0.0000056658. Besides, it is also found that the damping ratio ζ and natural frequency ω_n are respectively 0.02679, dan 2187.782 Hz. On this research, the system's behavior is found out slower than a second-order system model by analytical approach. This is due to a right-half-plane zero in the system's transfer function and the unique characteristic of the buck-boost converter itself. It is also found that the PID Control Algorhytm can stabilize system based on the set-point tests conducted and the Nyquist Plot generated based on the system's transfer function.

Keywords : HHO, Electrolysis, Buck-Boost Converter, PID, Ziegler-Nichols, MATLAB

1. Pendahuluan

Populasi kendaraan bermotor semakin meningkat seiring waktu. Efek samping dari hal ini terhadap lingkungan adalah meningkatnya kadar gas karbon monoksida (CO) di udara akibat reaksi pembakaran tidak sempurna pada mesin bakar kendaraan bermotor. Gas CO ini dapat mengakibatkan dampak buruk bagi kesehatan [1]. Untuk mengatasi hal ini, digunakanlah sel oksihidrogen pada kendaraan bermotor agar emisi CO dari mesin bakar dapat berkurang.

Penelitian penggunaan generator oksihidrogen pada mesin bensin yang dilakukan di Universitas Khartoum, Sudan berhasil meniadakan emisi CO dari 0,14% menjadi 0% [7]. Penelitian Penggunaan generator oksihidrogen pada mesin bensin juga telah dilakukan di Universitas Iskenderun dan Universitas Çukurova dan ditemukan bahwa penggunaan gas oksihidrogen dapat mengurangi emisi gas buang sekaligus meningkatkan performa mesin [8]. Pengembangan optimasi generator oksihidrogen pernah dilakukan Masjuki, dkk dan Sage, Yonnas dari ITS yang berfokus pada formasi elektroda dan kadar elektrolit [9][10]. Iskandar, dkk dari Universitas Telkom dalam penelitiannya telah menemukan bahwa emisi CO dari motor bakar berbanding terbalik dengan kadar gas oksihidrogen yang masuk dalam motor bakar [11]. Berdasarkan hal ini, diperlukan

sistem yang dapat mengatur laju produksi gas oksihidrogen dalam sistem generator oksihidrogen sehingga output generator dapat disesuaikan dengan kebutuhan.

Beberapa penelitian juga telah menemukan bahwa skema kontrol PID dapat digunakan pada sistem yang melibatkan konverter buck-boost. Ikhsan, dkk dari Universitas Indonesia dan Priyadarshini, dkk dari Canara Engineering College, India telah berhasil membuat algoritma kontrol PID untuk mengendalikan atau menstabilkan tegangan output berdasarkan tegangan input yang tidak stabil (metode input-to-output) [12] [13]. Musyafa, dkk dari Institut Teknologi Sepuluh November telah berhasil membuat algoritma kontrol PID untuk mengendalikan tegangan output dari konverter buck-boost melalui pengaturan *duty-cycle* [5]. Maka dari itu penggunaan algoritma kontrol PID cukup baik untuk dijadikan skema kontrol dari penelitian ini.

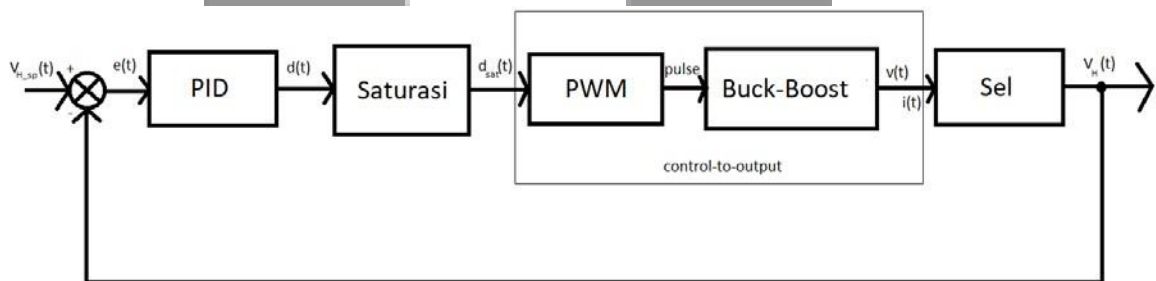
Penelitian pada jurnal ini hanya mencakup pada pengendalian sistem sel oksihidrogen dengan output berupa laju produksi volumetrik gas oksihidrogen dalam lingkungan simulasi komputer MATLAB. Selain itu, Albarghot, dkk dari Memorial University of Newfoundland, Canada, dalam penelitiannya telah membandingkan hasil simulasi sel elektrolisis sudah cocok dengan hasil eksperimental dari sel elektrolisis. Pada penelitiannya, dengan tegangan 2 Volt dan arus 1 Ampere, pada simulasi dihasilkan laju produksi 7,461 ml/menit sedangkan pada eksperimen riil dihasilkan laju produksi 7,0 ml/menit [14].

Berdasarkan beberapa referensi, timbul sebuah gagasan untuk merancang dan membuat skema kontrol PID pada sistem sel elektrolisis dalam lingkup simulasi.

2. Metodologi Penelitian

2.1. Metode Penelitian

Penelitian ini berfokus pada aplikasi kontrol PID pada sel oksihidrogen Generator. Dalam hal ini, variabel yang dijaga nilainya adalah laju produksi volumetrik gas oksihidrogen. Elemen pengontrol yang digunakan adalah PID controller dari simulink. Skema pengontrolan dapat dilihat pada gambar 2.1.



Keterangan :

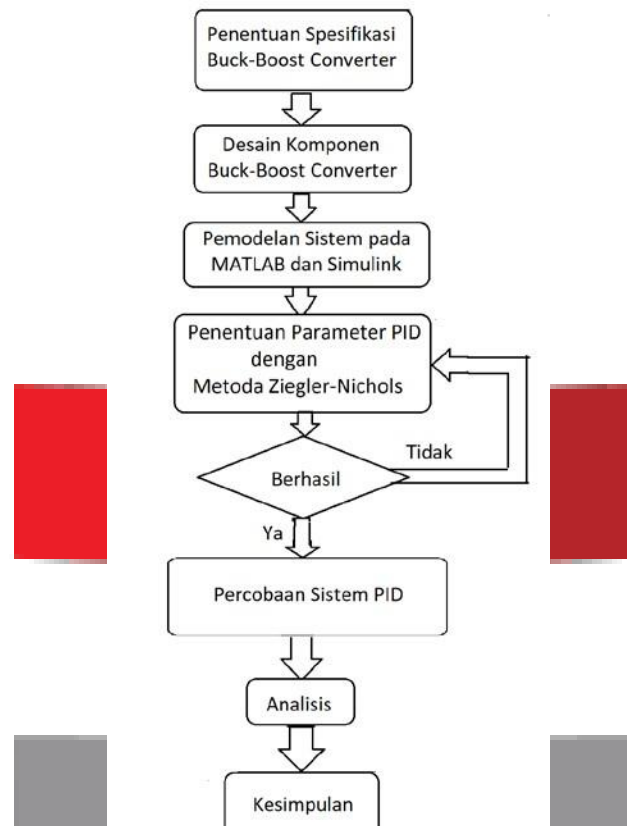
- $V_h(t)$ = Laju Produksi Volumetrik (mL/menit)
- $V_h(t)$ = Set Point Laju Produksi Volumetrik (mL/menit)
- $e(t)$ = Error
- $d(t)$ = Sinyal Kontrol berupa Duty Cycle
- $d_{sat}(t)$ = Sinyal Kontrol berupa Duty Cycle tersaturasi
- pulse = Sinyal Pulsa pada MOSFET Buck-Boost Converter (V)
- $v(t)$ = Tegangan Output Buck-Boost Converter (V)
- $i(t)$ = Arus Output Buck-Boost Converter (A)

Gambar 2.1. Diagram Blok Kontrol Tegangan Sel Oksihidrogen

Tegangan input sel penghasil oksihidrogen akan dikendalikan oleh suatu mikrokontroler menggunakan skema lup tertutup dan kontrol PID dengan error berupa selisih antara laju produksi volumetrik dari oksihidrogen dan set point yang ditentukan. Produksi gas oksihidrogen sebanding dengan arus dan tegangan yang diberikan pada sel generator oksihidrogen.

2.2. Tahapan Penelitian

Langkah-langkah yang akan dilakukan pada penelitian ini diilustrasikan pada flowchart pada gambar 2.2.



Gambar 2.2. Diagram Alur Tahapan Penelitian

3. Analisis Data

3.1. Desain dan Pemodelan Konverter *Buck-Boost*

1) Desain Komponen Konverter *Buck-Boost*

Konverter *buck-boost* yang diaplikasikan dalam penelitian ini mempunyai spesifikasi sebagai berikut :

Tabel 3.1. Spesifikasi Konverter *Buck-Boost*

V_{in}	Tegangan <i>Input Buck-Boost</i> atau Tegangan Sumber Daya DC	12 V
V_{out}	Tegangan <i>Output Buck-Boost</i> yang digunakan Sel Generator Oksihidrogen	24 V
I_{out}	Arus <i>Output Buck-Boost</i> yang digunakan Sel Generator Oksihidrogen	4 A
f_s	Frekuensi switching Konverter <i>Buck-Boost</i>	62500 Hz
ΔI	<i>Ripple</i> arus yang diinginkan	10%
ΔV_{out}	<i>Ripple</i> tegangan yang diinginkan	3%
η	Efisiensi	85%

Konverter *buck-boost* didesain memiliki *output* sebesar 24 volt dari *input* sebesar 12 volt. Dengan begitu, *Duty-Cycle* (D) dalam perhitungan adalah 0,67 dan D' sebesar 0,33. Selanjutnya perhitungan besaran-besaran komponen konverter *buck-boost* dihitung dengan rumus-rumus pada tabel 3.2. dan didapatkan

Tabel 3.2. Rumus Perhitungan dan Nilai Komponen Konverter *Buck-Boost* yang Digunakan

R	$\frac{V_{out}}{I_{out}}$	6 Ω.
L	$\frac{(1 - D)^2}{2 \times f_s}$	16 μH
C	$\frac{V_{out} \times D}{R \times \Delta V_{out} \times f_s}$	1422 μF

2) **Pemodelan Fungsi Transfer Konverter *Buck-Boost***

Menurut referensi, fungsi transfer *control-to-output* dari konverter *Buck-Boost* adalah :

$$G_{vd}(s) = \frac{V_{out} \times s \times \frac{D \times R}{D \times L \times s^2 + \frac{D \times L}{R} + D \times D^2}}{2} \tag{3.1}$$

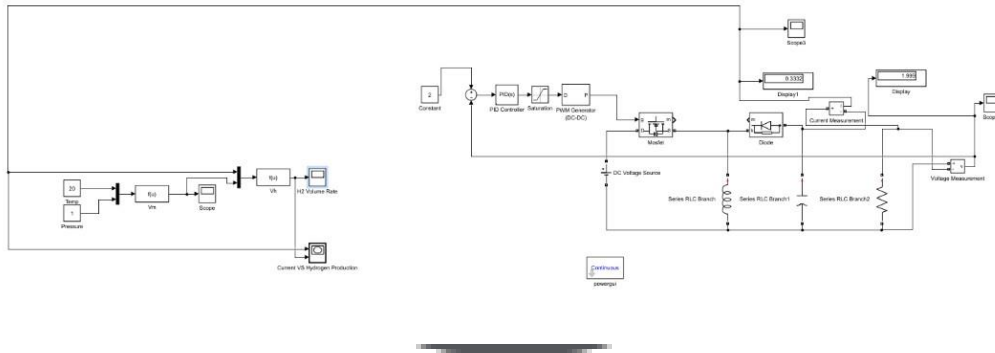
Setelah nilai V_{out} , D , D' , L , C , dan R disubstitusikan, didapatkan fungsi transfer *control-to-output* konverter *buck-boost* yaitu :

$$G_{vd}(s) = \frac{24 - 0,000394s}{1,52 \times 10^{-8}s^2 + 1,787 \times 10^{-6}s + 0,07296}$$

3.2. **Pemodelan Sel Generator Oksihidrogen**

Laju Produksi Volumetrik dari Sel Oksihidrogen dapat dimodelkan dengan rumus :

$$\text{Laju Produksi Volumetrik } H_2 \text{ (cm}^3\text{/menit)} = 1000 \times 60 \times \frac{R(273+T)}{P} \times \frac{i}{2 \times 96.487}$$



Gambar 3.1. Simulasi Keseluruhan Sistem dalam Simulink

3.3. **Penentuan Konstanta Kontrol PID Menggunakan Metode Ziegler-Nichols**

Dari Metode Ziegler-Nichols yang dilakukan pada sistem didapatkan osilasi sistem pada K_{cr} 0,0497 dan nilai P_{cr} 1.552 ms. Dengan begitu konstanta-konstanta kontrol dapat dihitung.

Tabel 3.3. Rumus Perhitungan Konstanta PID Metode Ziegler-Nichols

K_p	0,6 K_{cr}	0,02982
-------	--------------	---------

T_i	$0,5 P_{cr}$	$0,00076 \text{ s}$
-------	--------------	---------------------

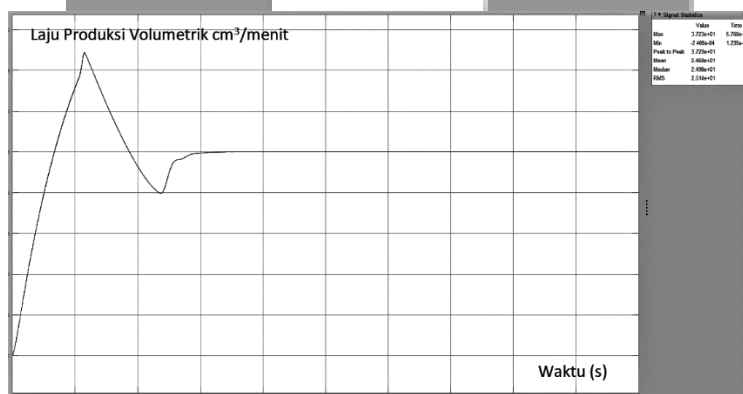
T_d	$0,125 P_{cr}$	0,00019 s
K_i	K_p / T_i	39,236842
K_d	$K_p \times T_d$	0,0000056658

3.4. Pengujian Algoritma Kontrol PID

Pada tahap ini algoritma kontrol PID diuji menggunakan pengujian set point pada sistem untuk mendapatkan karakteristik sistem dari parameter-parameter kontrol yang didapat. Parameter-parameter ini dibandingkan dengan parameter-parameter sistem orde-dua yang didapat dengan perhitungan. Hasilnya dapat dilihat pada tabel 3.4.

Tabel 3.4. Parameter-parameter Kontrol Sistem

Simbol	Definisi	Hasil Perhitungan	Nilai dari Simulasi			
			Set Point Tegangan (V)		Set Point Laju Produksi (cm ³ /menit)	
			18	24	15	25
t_r	Rise Time	0,00072 s	0,0061 s	0,0043 s	0,0082 s	0,0033 s
t_p	Peak Time	0,0014 s	0,0087 s	0,0080 s	0,014 s	0,0058 s
%OS	Overshoot Percentage	91,93 %	0,055 %	44,17 %	0,067 %	48,92 %
t_s	Settling Time	0,068 s	0,017 s	0,034 s	0,044 s	0,044 s



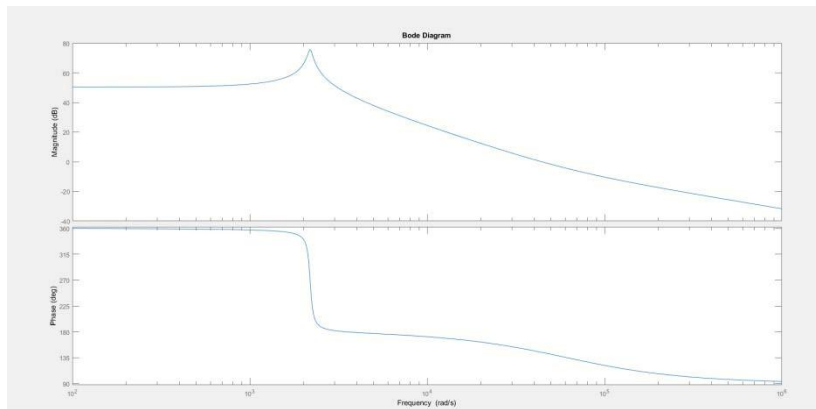
Gambar 3.2. Grafik Output Laju Produksi Volumetrik pada Set Point 25 cc/menit

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa sistem cenderung memiliki respon dengan konstanta waktu lebih lambat dibandingkan konstanta waktu yang diperhitungkan pada saat awal (waktu naik dan waktu puncak). Ini dikarenakan pada saat awal sistem diperlambat oleh adanya *zero* bidang kanan (*right half-plane zero*) dari 0,000394s pada fungsi transfer sistem. *Zero* ini mengakibatkan sistem dipengaruhi oleh frekuensi input. Buck-Boost converter dikendalikan oleh sinyal pulsa dengan frekuensi tertentu. Frekuensi ini mengakibatkan pembilang dari fungsi transfer tidak utuh bernilai positif. Namun dampak ini hanya terasa pada saat perubahan naik dari nilai *duty-cycle* yang hanya terjadi di awal waktu (detik ke-nol). Setelah beberapa saat, nilai positif menjadi dominan dan respon sistem pada akhirnya kembali ke respon umum sistem orde-dua.

Persentasi *Overshoot* dari perhitungan dapat dijadikan patokan terjauh untuk merancang sistem namun pada saat sistem sebenarnya diimplementasikan, *overshoot* jauh lebih teredam dengan persentasi yang lebih kecil.

3.5. Analisa Respon Frekuensi

Sebuah bode plot dibutuhkan untuk menganalisa respon frekuensi dari fungsi transfer G_{vd} . Program MATLAB digunakan untuk membuat plot Bode dari G_{vd} pada gambar 3.3.



Gambar 3.3. Plot Bode dari Fungsi Transfer G_{vd}

Dari Gambar 3.3. dapat dilihat bahwa pada frekuensi *sampling* $\pm 62,5$ kHz atau $\pm 3,93 \times 10^5$ rad/s *output* mengalami pembalikan fasa sebesar $\pm 100^\circ$. Hal ini mengakibatkan sistem memiliki respon *output* sebagaimana dijelaskan pada bagian 3.4. *Output* memiliki respon negatif pada waktu awal sehingga waktu naik dan waktu puncak lebih lambat dibandingkan sistem orde-dua ideal.

3.6. Analisa Kestabilan Nyquist

Sistem *Control-to-Output* konverter *buck-boost* – sel elektrolisis memiliki fungsi transfer lup-terbuka G_{vd} , yaitu :

$$G_{vd}(s) = \frac{24 - 0,000394s}{1,52 \times 10^{-8}s^2 + 1,787 \times 10^{-6}s + 0,07296}$$

Sedangkan PID *Controller* dengan konstanta-konstanta kontrol pada tabel 4.3 memiliki fungsi transfer G_c yaitu :

$$G_c = \frac{(5,6658 \times 10^{-6})s^2 + (2,982 \times 10^{-2})s + 39,6842}{s}$$

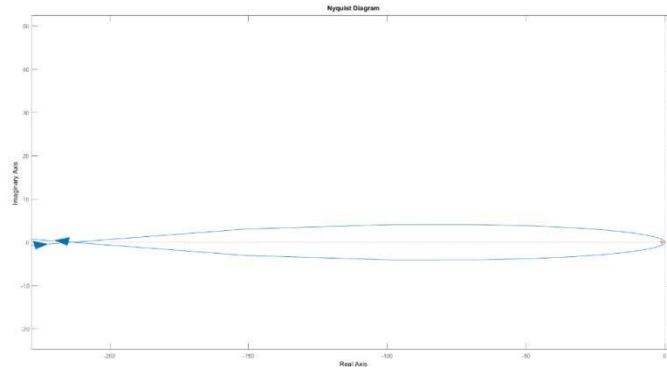
Sistem secara keseluruhan adalah sistem lup-tertutup sebagaimana digambarkan pada gambar 3.1. yang menghasilkan fungsi transfer berupa :

$$G_{cl} = \frac{G_c G_{vd}}{1 + G_c G_{vd}}$$

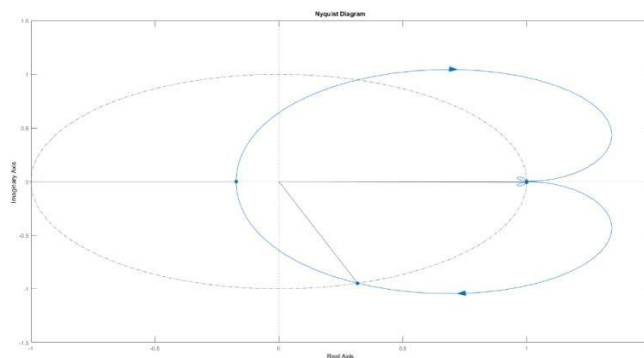
Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, fungsi transfer lup-tertutup sistem yang digunakan adalah :

$$G_{vd} = \frac{(2,332 \times 10^{-9})s^3 + (1,242 \times 10^{-4})s^2 + 0,7992s + 941,7}{(1,297 \times 10^{-6})s^3 + (1,299 \times 10^{-4})s^2 + 0,7992s + 941,7}$$

Fungsi transfer lup-terbuka G_{vd} memiliki karakteristik tidak stabil berdasarkan plot Nyquist yang dapat dilihat pada gambar 3.4. Dapat dilihat bahwa plot Nyquist mengelilingi titik (-1, 0). Setelah dikendalikan dengan PID Controller secara *closed-loop*, sistem memiliki plot Nyquist seperti pada gambar 3.5. Dapat dilihat bahwa plot tidak mengelilingi titik (-1,0) dan karakteristik sistem menjadi stabil.



Gambar 3.4. Plot Nyquist G_{vd} (diperbesar)



Gambar 3.5. Plot Nyquist G_{cl}

4. Kesimpulan dan Saran

4.1. Kesimpulan

Dari percobaan simulasi yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa :

- 1) Dari metoda Ziegler-Nichols yang telah dilakukan, didapatkan konstanta control PID K_p 0,02982, K_i 39,236842, dan K_d 0,0000056658.
- 2) Saturasi sinyal kontrol *duty-cycle* disesuaikan dari 0,99 menjadi 0,9 agar sistem dapat mencapai *output* maksimal 24 V.
- 3) Model Buck-Boost Converter memiliki *zero* bidang kanan (*right half-plane pole*) sehingga karakteristik sistem konverter *buck-boost* tidak murni menyerupai sistem orde-dua.
- 4) Algoritma kontrol PID menambahkan dua *zero* dan satu *pole* dapat mengendalikan dan menstabilkan sistem dibuktikan dari Nyquist Plot yang dihasilkan

4.2. Saran

Penelitian yang telah dilakukan masih dalam lingkup simulasi dikarenakan keterbatasan waktu dan sumber daya. Apabila sistem riil dapat dibuat, metoda yang sama dapat dilakukan untuk membuat pengendalian sistem dengan set point berupa tegangan output, laju produksi volumetrik atau *flow rate*, maupun kadar karbon monoksida pada sistem yang terintegrasi dengan motor bakar.

Daftar Pustaka:

- [1] M. J. D. Z. M. Armin Ernst, "Carbon Monoxide Poisoning," *The New England Journal of Medicine*, pp. 1603-1608, 1998.
- [2] Y. Brown, "Brown Gas (HHO)". Amerika Serikat Patent 4,014,777, 29 Maret 1977.
- [3] R. Wahyu, "Pembakaran Sempurna dan Tidak Sempurna ~ Kimia is Chemistry," Blogger, [Online]. Available: <http://cemistry-family.blogspot.co.id/2011/11/pembakaran-sempurna-dan-tidak-sempurna.html>. [Accessed 25 Januari 2017].
- [4] R. Erickson, "Introduction to Power Electronics," 1 January 2010. [Online]. Available: <http://ecee.colorado.edu/~ecen5797/notes.html>. [Accessed 16 October 2018].
- [5] A. Musyafa, I. R. Gustawan, M. K. Asy'ari and A. N. R. D. Rahmadiansyah, "Development of Power Electronics, Buck Boost Converter, Based PI-PID Control On Horizontal Wind Turbine Generation, For Low Rate," *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, vol. XI, no. 11, pp. 79-97, 2017.
- [6] A. J. Bard and L. R. Faulkner, in *Electrochemical Methods : Fundamentals and Application*, New York, John Wiley & Sons, 2001.
- [7] Fadul, Ibrahim Mohammed Ahmed Ibrahim; University of Khartoum, "Using HHO Gas to Reduce Fuel Consumption and Emissions in Internal Combustion Engines," 2006.
- [8] M. K. Baltacioglu, H. T. Arat, M. Ozcanli and K. Aydin, "Experimental Comparison of Pure Hydrogen and HHO (Hidroxy) Enriched Biodiesel (B10) Fuel in a Commercial Diesel Engine," *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 41, no. 19, pp. 8347-8353, 25 May 2016.
- [9] H. H. Masjuki, A. M. Ruhul, N. N. Mustafi, M. A. Kalam, M. I. Arbab and I. M. R. Fattah, "Study of Production Optimization and Effect of Hydroxyl Gas in CI Engine Performace and Emission Fuelled with Biodiesel Blends," *International Journal of Hydrogen Energy*, pp. 14519-14528, 2016.
- [10] Y. Sage, "HHO GENERATOR APPLICATION WITH VARIATION OF ELECTRODE FORMATION IN CONSTANT REACTION SURFACE TO PERFORMANCE AND GAS EMISSION OF ENGINE SUPRA-X 125 PGMFi".
- [11] R. F. Iskandar, Y. Firdaus, Y. Rizki, E. Deardo, F. Tasmara, Z. Sigit, E. Vonia and M. Adetia, "Study of PWM Regulation Effect Using Boost Converter on Electrolysis Injection System Based on Fuzzy Logic Controller," *ICOPIA*, 2018.
- [12] Priyadarshini and S. Rai, "Design, Modelling and Simulation of a PID Controller for Buck-Boost and Cuk Converter," *International Journal of Science and Research (IJSR)*, vol. 3, no. 5, pp. 1226-1229, 2014.
- [13] "Studi dan Penerapan PID pada Kontrol Buck Converter Berbasis Mikrokontroler ATmega328P," *Seminar Nasional dan Expo Teknik Elektro 2014*, pp. 182-186, 2014.
- [14] M. Albarghot, M. Sasi and I. Rolland, "MATLAB/Simulink Modeling and Experimental Results of a PEM Electrolyzer Powered by a Solar Panel," *Journal of Energy and Power Engineering*, vol. 10, pp. 779-785, 2016.