

Pengaturan Frekuensi PLTMH Menggunakan *Flow Valve Control* Berbasis Fuzzy-PI

Alwan Zanuvar Rosyidi, Zulfatman, Ilham Pakaya, Nur Alif Mardiyah, Machmud Effendy

Program Studi Teknik Elektro
Universitas Muhammadiyah Malang
Jl. Tlogomas No. 246, Malang
Telepon: +62341-464318 Ext. 129, Fax: +62341-460782
Corresponding author: zulfatman@umm.ac.id

Abstrak

Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH). Governor dengan *Flow Valve Control* (FVC) dan *Electronic Load Control* (ELC) adalah dua metode umum yang selalu diterapkan untuk pengendalian frekuensi PLTMH. Namun, respon waktu yang lambat untuk kembali ke frekuensi semula ketika beban berubah-ubah secara signifikan, masih menjadi titik lemah. FVC sangat lambat dalam merespon waktu, tetapi menghasilkan THD yang rendah. Sebaliknya, ELC sangat cepat merespon, tetapi hasilnya THD relatif tinggi. Studi ini mengembangkan teknik pengaturan untuk FVC untuk meningkatkan respon waktu ketika terjadi perubahan beban. FVC dikendalikan oleh kontroler Fuzzy-Proportional Integral (Fuzzy-PI). Pengembangan teknik pengaturan pada FVC diujikan menggunakan Matlab Simulink. Hasil simulasi menunjukkan bahwa dengan menerapkan kontroler yang diusulkan untuk FVC, dapat menjaga sistem tetap stabil dan mampu meningkatkan respon waktu keluaran sistem ketika beban berubah.

Kata kunci: Mikro-hidro, Pengaturan Frekuensi, *Flow Valve Control*, Kontroler PID, Fuzzy

Abstract

Frequency instability is one of the main problems in generating Micro-hydro Power Plant (MHPP) with synchronous generator. Frequency instability is one of the main problems in the Micro Hydro Power Plant (PLTMH). Governor with *Flow Valve Control* (FVC) and *Electronic Load Control* (ELC) are two general methods that are always applied to the frequency control of MHP. However, the slow response to return to the desired frequency when the load changes, is still a weak point. The FVC is very slow in responding to time, but produces a low THD. On the contrary, ELC responds very quickly, but the result of THD is relatively high. This study develops regulatory techniques for FVC to improve response time when load changes occur. The FVC is controlled by a Fuzzy-Proportional Integral (Fuzzy-PI) controller. Development of regulatory techniques on FVC was tested using Matlab Simulink. Simulation results show that by applying the proposed controller for FVC, it can keep the output frequency stable and increase its response time when the load changes.

Keywords: Micro-hydro, Frequency Control, *Flow Valve Control*, PID controller, Fuzzy Logic

1. Pendahuluan

Pembangkit Listrik Mikro Hidro (PLTMH) adalah sistem pembangkit listrik yang memanfaatkan ketinggian aliran air pada level tertentu dari aliran sungai. Salah satu hal yang paling utama yang harus dijaga dalam menghasilkan energi listrik adalah bagaimana mengatur putaran generator dalam keadaan konstan agar frekuensi yang dihasilkan tetap stabil meskipun kebutuhan beban berubah-ubah [1].

Teknik umum yang banyak digunakan untuk menjaga kestabilan frekuensi pada PLTMH adalah menggunakan sistem governor. Governor bekerja dengan mengatur debit air yang masuk pada turbin untuk memutar generator. Frekuensi yang dihasilkan generator berbanding lurus dengan kecepatan putar turbin [2]. Pengaturan debit air dilakukan dengan membuka *gate* pada penstock menggunakan motor servo sebagai aktuator. Untuk mendapatkan sudut yang sesuai bagi *gate* opening agar sesuai dengan kebutuhan sistem, maka harus dilakukan pengaturan sudut putar motor servo. Pengaturan dilakukan mendorong nilai aktual dan referensi frekuensi memiliki error sekecil mungkin. Nilai error ini dan respon motor harus diminimalkan dengan menambahkan kontroler yang sesuai.

Studi paling awal yang dirancang untuk pengaturan sistem governor adalah berbasis pada kontroler PI. Namun hasil keluarannya masih memiliki kelemahan, yakni terjadinya osilasi yang cukup lama pada frekuensi keluaran saat sebelum menuju area *steady state* [3]. Untuk mengatasi permasalahan tersebut kemudian dikembangkan teknik pengaturan governor yang berbasis Fuzzy Logic Controller (FLC) [4]. Metode ini dapat memperkecil osilasi, namun dengan

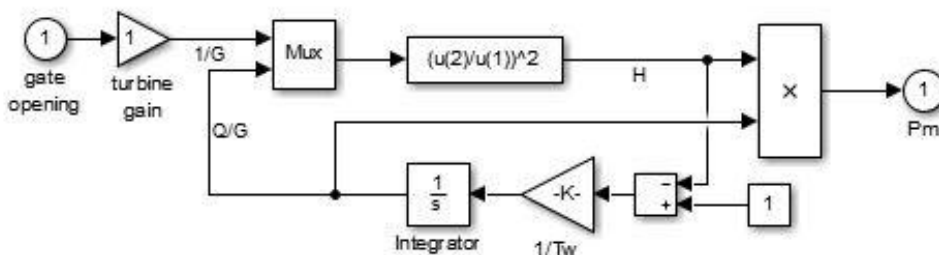
waktu pemulihan yang cukup lama. Usaha lain yang telah dilakukan adalah dengan menggabungkan metode *fuzzy* dengan kontroler Proporsional Integral (PI) konvensional untuk memberikan peningkatan pada respon sistem [5]. Dengan adanya *fuzzy*, parameter PI dibuat menjadi lebih mampu beradaptasi dengan perubahan beban konsumen. Metode lain adalah berupa teknik pengaturan robust berupa H_∞ [6]. Pada beberapa studi di atas problem utama dalam pengaturan frekuensi berbasis governor adalah lambatnya respon yang diberikan sistem governor ketika terjadi perubahan beban untuk mengembalikan frekuensi keluaran kembali ke frekuensi semula, terutama untuk perubahan beban yang berubah signifikan secara tiba-tiba.

Jika mengamati beberapa studi di atas dalam hal pengembangan teknik pengaturan bagi sistem governor, terlihat bahwa teknik kontrol yang dikembangkan masih menggunakan asumsi beban yang tidak berubah secara signifikan, sehingga kapasitas teknik pengaturan kurang teruji. Demikian juga dengan studi [5], yang merancang fungsi keanggotaannya dengan mengasumsikan besarnya *error* dan *perubahan error* sistem yang kecil. Untuk mengatasi perubahan beban yang lebih signifikan, maka teknik pengaturan PI dikombinasikan dengan *Fuzzy* yang dirancang untuk beradaptasi dengan range *error* yang relatif lebih besar. Diharapkan dengan adanya teknik pengaturan yang dikembangkan ini, akan dapat menjadi alternatif teknik pengaturan governor yang dapat memperbaiki waktu pemulihan frekuensi, ketika terjadi perubahan beban yang relatif signifikan.

2. Metode

2.1. Model Hydraulic Turbine

Model dari *hydraulic turbine* ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Model Simulink *Hydraulic Turbine*

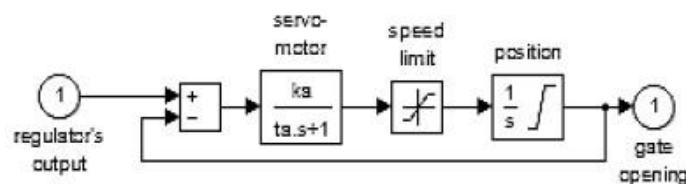
Parameter dari *hydraulic turbine* dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter *Hydraulic Turbine*

Parameter	Simbol	Nilai
Turbine Flow	Q_t	0.95 m ³ /s
Base Head	h_{base}	16.74 m
Penstock Area	A	0.389 m ²
Length Penstock	L	60 m
Gravity	g	9.8 m/s ²
Turbine Gain	$[G_{max}, G_{min}]$	[1, 0]

2.2. Model Sistem Hydro-electric Servo

Motor servo digunakan untuk mengontrol *gate* yang memastikan laju aliran air tetap konstan. Model sistem *hydro-electric servo* sebagaimana tergambar pada Gambar 2.



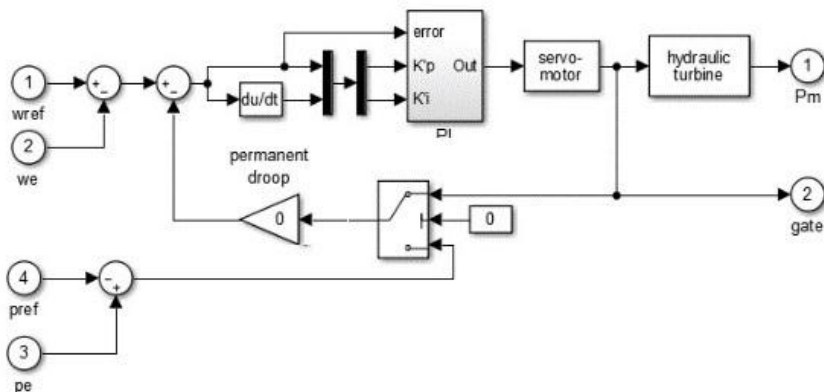
Gambar 2. Model Sistem *Hydro-electric Servo*

Tabel 2. Parameter Sistem *Hydro-electric Servo*

Parameter	Simbol	Nilai
Gain constant of motor servo	k_a	10
Time constant of motor servo	t_a	0.001
Speed limit	$[Vg_{min}, Vg_{max}]$	[-1 1]

2.3. Model Governor

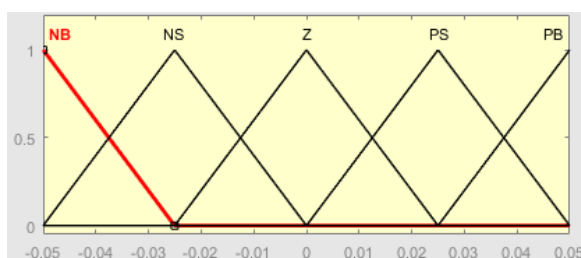
Berikut adalah pemodelan dari sistem *governor* yang didalamnya terdapat *hydraulic-turbine* dan *hydro-electric servo motor*. Blok Simulink model *governor* secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Blok Simulink Sistem *Governor*

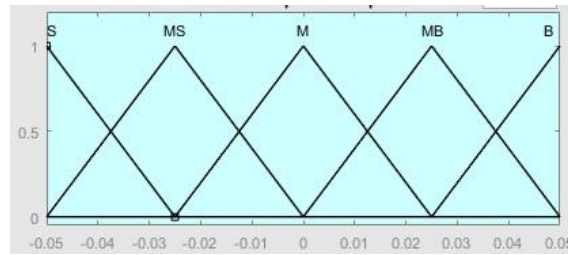
2.4 Desain Fuzzy-PI

Konfigurasi pengaturan sistem menggunakan teknik kontrol *Fuzzy-PI*. Masukan pada *fuzzy* ada dua yaitu nilai *error* $e(t)$ dan turunan pertama dari nilai *error* $de(t)$, dengan dua *output* untuk setiap parameter dari kontrol PI yaitu K_p dan K_i . Nilai rentang dari variabel tersebut ditentukan berdasarkan dari percobaan sistem dengan kontrol PI dengan efisiensi tinggi [7]. Fungsi keanggotaan dari *input* yang dibagi dalam 5 tingkat variabel linguistik *fuzzy* seperti pada Gambar 4. Variabel linguistik yang digunakan adalah NB: *Negative Big*, NS: *Negative Small*, Z: *Zero*, PS: *Positive Small*, dan PB: *Positive Big*.



Gambar 4. Fungsi keanggotaan dari masukan $e(t)$ dan $de(t)$

Fungsi keanggotaan dari *output* K_p dan K_i ditunjukkan pada Gambar 5, dengan variabel linguistik *output* yang digunakan adalah S: *Small*, MS: *Medium Small*, M: *Medium*, MB: *Medium Big*, B: *Big*, dengan rentang nilai dari -0.05 sampai 0.05.



Gambar 5. Membership Function dari K'p dan K'i

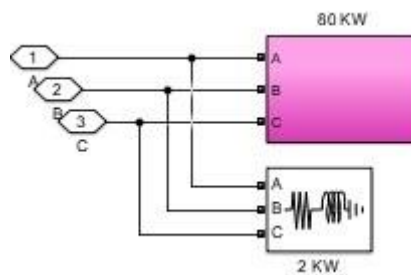
Pada desain ini fuzzy menggunakan 5 variabel *linguistic* masing-masing untuk *input* dan *output*, sehingga secara keseluruhan terdapat 25 aturan fuzzy.

Tabel 3. Aturan Fuzzy

e/de	NB	NS	Z	PS	PB
NB	S	S	MS	MS	M
NS	S	MS	MS	M	MB
Z	MS	MS	M	MB	MB
PS	MS	M	MB	MB	B
PB	M	MB	MB	B	B

2.5. Desain Beban Konsumen

Beban konsumen diasumsikan terdiri dari beban resistif dan induktif, sebagaimana pada Gambar 6 berikut.



Gambar 6. Pemodelan Beban Konsumen

2.6. Model Generator Sinkron

Jenis generator yang digunakan pada studi ini adalah generator sinkron 3 fasa [8] dengan model seperti persamaan (1)-(4) dengan parameter sebagaimana pada Table 4.

$$T''_{d0} \frac{dE''_q}{dt} = E'_q - E''_q + (X'_d - X''_d)I_d \quad (1)$$

$$T''_{q0} \frac{dE''_d}{dt} = E'_d - E''_d + (X'_q - X''_q)I_q \quad (2)$$

$$T'_{d0} \frac{dE'_q}{dt} = E'_f - E'_q + (X_d - X'_d)I_d \quad (3)$$

$$T'_{q0} \frac{dE'_q}{dt} = E'_d - E''_q + (X_d - X'_d)I_d \quad (4)$$

Tabel 4. Parameter Generator Sinkron

Parameter	Nilai
Nominal (VA), line-to-line voltage (V), frequency (Hz)	160e3, 400, 50
Reactance ($X_d, X'_d, X''_d, X_q, X'_q, X''_q, X_l$) (pu)	[2.24, 0.19, 0.13, 1.38, 0.17,

	0.07]
Time Constant [T_d' , T_d'' , T_q''] (s)	[0.035, 0.011, 0.011]
Stator Resistance (pu)	0.024
Inertia coefficient (s), friction factor (pu) pole pairs	[8 0 4]
Rotor Type	Salient-Pole

2.7. Sistem Eksitasi

Untuk pemodelan sistem eksitasi mengacu pada model yang dirancang oleh IEEE [9], dan tersedia pada fitur Simulink yang ada di *MathWorks* dengan tipe eksitasi Automatic Voltage Regulator (AVR) jenis AC4A, yang parameternya sebagaimana terdapat pada Tabel 5.

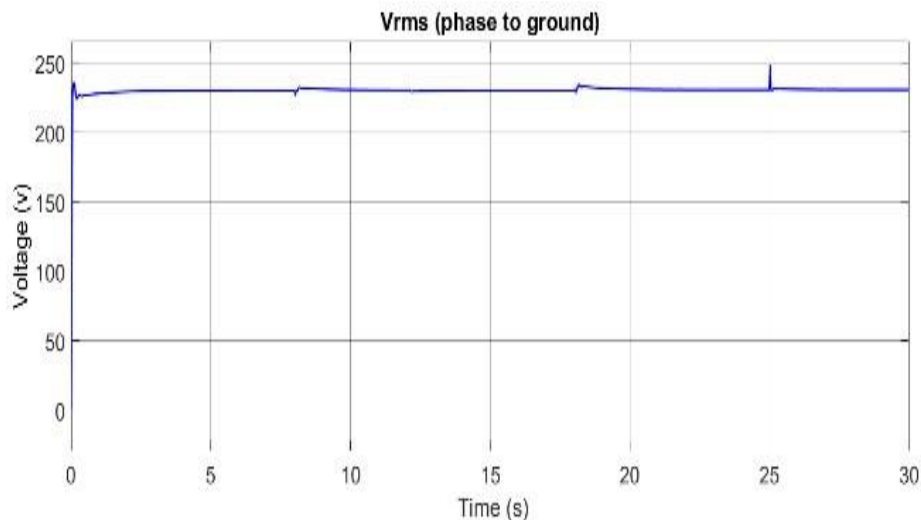
Tabel 5. Parameter Sistem Eksitasi

Parameter	Nilai
T_r (s)	20e-3
[K_a (pu), T_a (s)]	[200 0.015]
[K_c (pu), T_c (s)]	[-10 10]
T_b (s)	[10 1.0]
[v_{imax} , v_{imin}](pu)	[-10 10]
[v_{rmax} , v_{rmin}](pu)	[-4.53 5.64]

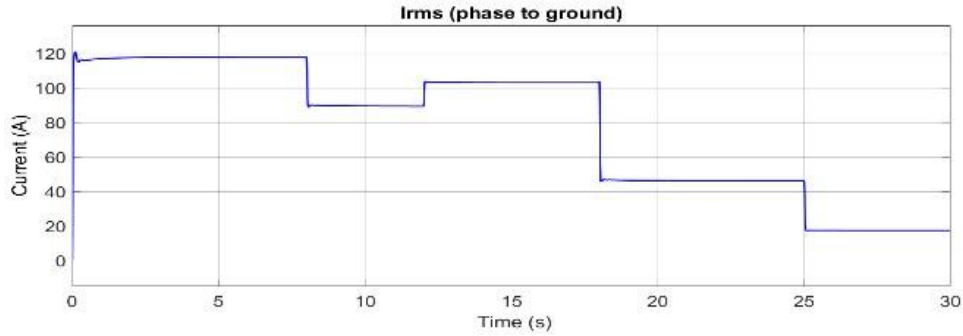
3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Pengujian Sistem FVC dengan Adanya Perubahan Beban Konsumen

Pengujian pada sistem FVC dilakukan dalam keadaan terdapat perubahan daya konsumen yang cukup signifikan. Untuk pengujian diberikan perubahan beban sampai 85.37% dari total maksimum daya konsumen sebesar 82KW. Skenarionya, pengurangan beban pertama terjadi pada detik ke-8 dengan pengurangan daya sebesar 20KW. Namun pada detik ke-12 terjadi penambahan daya sebesar 10KW. Selanjutnya terjadi pengurangan beban lagi sebesar 40KW pada detik ke-18. Pada detik ke-25 terjadi pengurangan daya beban konsumen sebesar 20KW, sehingga total daya yang dihasilkan generator ketika terjadi pengurangan daya beban sampai 70KW dari daya maksimum adalah 12KW.



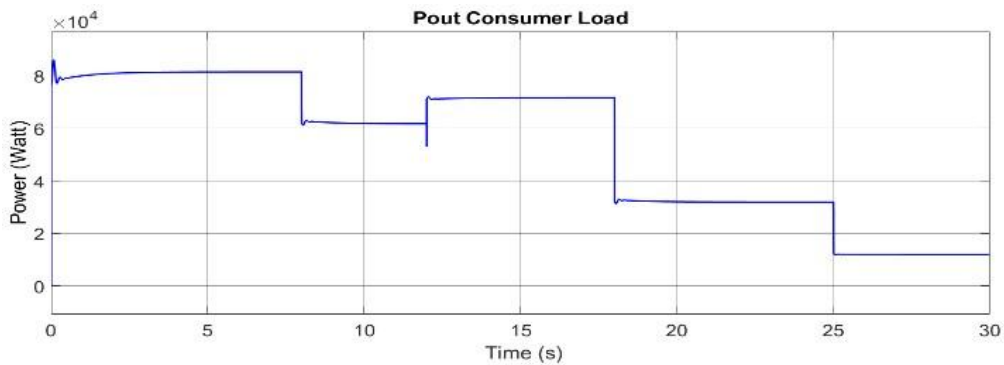
(a)



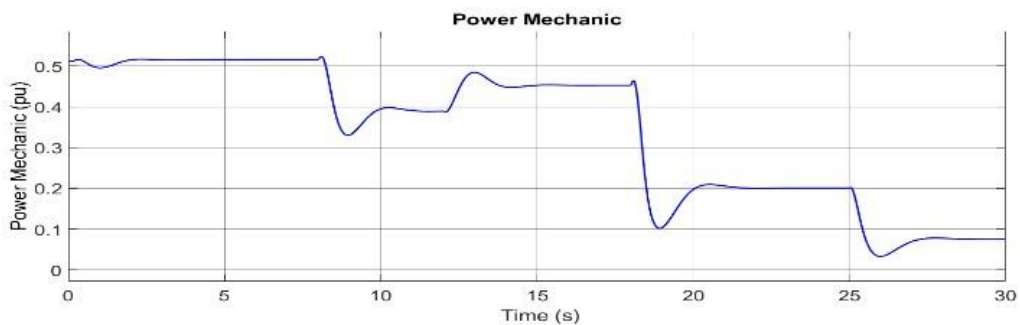
(b)

Gambar 7. (a) V_{rms} Phase to Ground (b) I_{rms} Phase to Ground

Dari Gambar 7(a) dan 7(b) terlihat hasil pengujian FCV pada sistem MHPP, yang menghasilkan tegangan rms (V_{rm}) *phase to ground* dan arus rms (I_{rms}) *phase to ground* dengan nilai masing-masing 230V dan 120A. Dapat dilihat bahwa terjadi kenaikan V_{rms} *phase to ground* setiap terjadi perubahan beban, namun tidak signifikan dan masih dalam batas-batas kewajaran. Hal ini berbeda dengan nilai I_{rms} , seiring dengan terjadinya perubahan beban konsumen secara bertahap, nilai I_{rms} juga ikut berubah secara proposional dengan besarnya perubahan beban konsumen. Hal ini terjadi karena kinerja FCV relatif lambat, namun sudah optimal untuk aspek kestabilan frekuensi, di samping putaran generatornya. Sementara itu perubahan daya beban dan daya mekanik dapat dilihat pada Gambar 8(a) dan 8(b) berikut. Seiring dengan berubahnya nilai I_{rms} pada Gambar 7(b) di atas, maka secara otomatis nilai daya beban konsumen dan daya mekanik juga akan mengikuti.

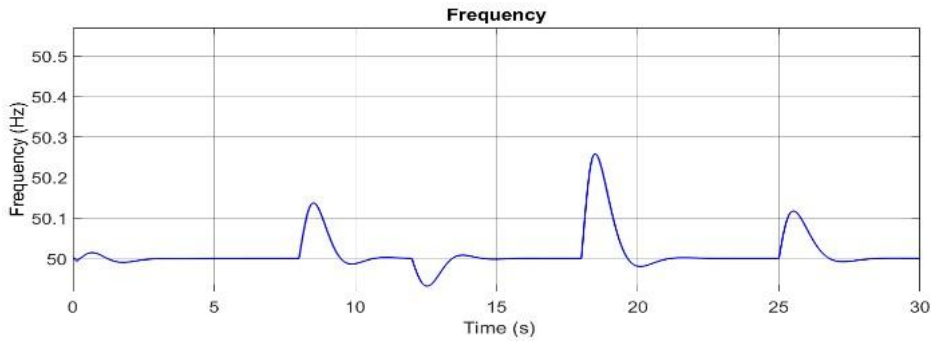


(a)



(b)

Gambar 8. (a) Daya Beban Konsumen FVC (b) Daya mekanik FVC



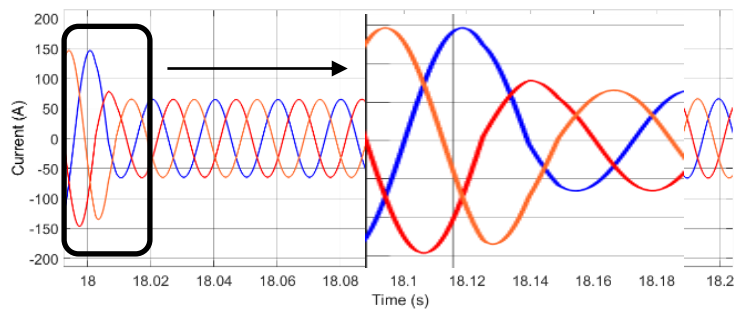
Gambar 9. Respon Frekuensi pada Sistem FVC

Gambar 9 merupakan frekuensi PLTMH dengan pengaturan berbasis FVC pada saat terjadi perubahan beban. Pada gambar tersebut terlihat bahwa frekuensi yang dihasilkan masih jauh dari batas maksimum kecepatan jatuh pada generator (perubahan frekuensi) yaitu sebesar 5%. Merujuk pada ketentuan tersebut, maka kinerja FVC masih dikategorikan stabil, namun masih tergolong lambat dari segi kecepatan merespon perubahan beban. Hal ini terjadi karena, proses pengendalian governor berbasis FVC sepenuhnya dilakukan secara mekanis, sehingga memerlukan waktu yang cukup lama untuk merespon setiap perubahan beban konsumen.

Tabel 6 Performa Frekuensi pada sistem FVC

Parameter	Nilai
Settling Time (s)	5.5459
Settling Min (Hz)	49.9319
Settling Max (Hz)	50.2584
Overshoot (%)	0.5165
Peak (Hz)	50.2584
Peak Time (s)	3.699

Ketika terjadi perubahan beban, nilai THD-I pada sistem FCV dikategorikan normal. Namun pada harmonisa ke-3 mengalami kenaikan yang cukup besar. Hal ini dikarenakan terjadinya penurunan beban yang sangat besar. Fenomena pada Gambar 10 yang diperkuat dengan Tabel 7 dapat dilihat untuk mengamati harmonisa yang dihasilkan.

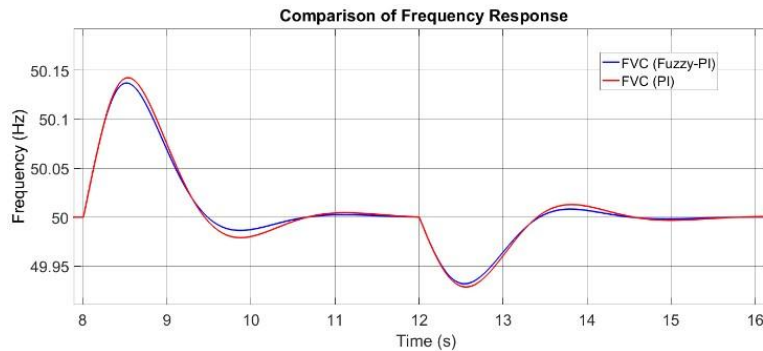


Gambar 10. THD-I ke-3 pada Sistem FVC

Tabel 7 Hasil Pengujian Sistem FVC

No	Beban Konsumen (kW)	Power Mechanic (pu)	THD-I
1	62	0.389	3.75%
2	72	0.4527	0.97%
3	32	0.2	19.59%
4	12	0.075	4.97%

3.2. Perbandingan Respon antara Fuzzy-PI dan PI



Gambar 11. Perbandingan Respon Frekuensi pada Sistem FVC

Gambar 11 menunjukkan adanya perbedaan respon frekuensi ketika menggunakan fuzzy-PI dan PI, di mana kontroler fuzzy-PI menghasilkan frekuensi keluaran yang lebih baik ketika terjadi perubahan beban. Hal ini dikarenakan logika fuzzy berfungsi untuk memperbaiki nilai parameter K_p dan K_i awal, sehingga memiliki parameter yang lebih sesuai terhadap beban.

Tabel 8 Perbandingan Performa Frekuensi pada Sistem FVC

Parameter	Nilai	
	Fuzzy-PI	PI
Settling Time (s)	5.5459	5.563
Settling Min (Hz)	49.9319	49.9286
Settling Max (Hz)	50.2584	50.2668
Overshoot (%)	0.5165	0.5336
Peak (Hz)	50.2584	50.2668

4. Kesimpulan

Pengembangan teknik pengaturan frekuensi pada sistem *governor* via FVC berbasis Fuzzy-PI telah dilakukan dan diujikan. Dari proses pengujian, dengan menambahkan metode fuzzy pada kontroler PI, maka kontroler PI menjadi adaptif terhadap perubahan beban. Hal ini mampu meningkatkan kecepatan respon sistem untuk kembali ke level frekuensi semula, ketika terjadi perubahan beban konsumen, meskipun tidak terlalu signifikan. Sehingga sistem PLTMH dapat bekerja lebih optimal meskipun dalam kondisi perubahan beban yang relatif besar.

References

- [1] Ningsih, A, Wahyunggoro. O, and BS. M. Isnaeni, "Kendali Penstabil Frekuensi dan Tegangan untuk PLTMH Menggunakan Beban Komplemen dengan Pengendali PID dan PWM", 2015, Seminar Nasional Ke-9.
- [2] Singh. A.K, "Modelling and Simulation of Micro Hydro-Diesel Hybrid Power System for Localized Power Requirement Using MATLAB/Simulink" Registration number 117226 of 2011-12, 2013.
- [3] Usman. A. A and Abdulkadir. R. A, "Modelling and Simulation of Micro Hydro Power Plant using Matlab Simulink in India", 2015, Vol. 3, special issue No.01.
- [4] Zhixue Z., Zhihong H., and Zhihuai X "PID Control with Fuzzy Compensation for Hydroelectric Generating Unit," IEEE, 2002.
- [5] Abdolmaleki. M, Ansarimehr. P, and Ranjbar. A. M, "A Robust Fuzzy Logic Adaptive PI Controller for Hydro Power Plant," SICE Annual Conference, 2007.
- [6] Heng Q., Lu J., Lu Y., "Robust Control of Hydro Turbine Speed Governor", Proceeding of the 10th World Congress in Intelligent Control and Automation, Beijing, 2012.
- [7] Kusumadewi. S, and Purnomo. H, "Aplikasi Logika Fuzzy," Edisi ke-2 Graha Ilmu. 2013.
- [8] Brezovac, M. Kuzle, I. Krpan, M., "Detailed Mathematical and Simulation Model of a Synchronous Generator, Journal of Energy, 2015, Vol. 64 Special Issue, p. 102-129
- [9] IEEE Standart, Vol. 421, No.5, 2005, IEEE Recommended Practice for Excitation System Models for Power System Stability Studies (Revision of IEEE 521.5-1992).