

## PERBAIKAN STABILITAS SISTEM TENAGA HIBRID MEGGUNAKAN PSS BERBASIS FUZZY TYPE-2

I Made Ari Nrartha<sup>1\*</sup>, I Made Ginarsa<sup>2</sup>, Agung Budi Muljono<sup>3</sup>, Warindi<sup>4</sup>, Sultan<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Mataram

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Mataram

<sup>3</sup>Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Mataram

<sup>4</sup>Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Mataram

<sup>5</sup>Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Mataram

\*Corresponding Author Email: nrartha@unram.ac.id

---

### ABSTRAK

Pengaturan Sistem Tenaga Listrik (STL) modern berbasis grid disebabkan oleh berkembangnya unit-unit pembangkit yang tersebar di sepanjang saluran distribusi. Pembangkit listrik ini memiliki kapasitas yang kecil dengan berbagai sumber energi yang menghasilkan sistem tenaga dengan pembangkit hybrid, seperti PLTD dan PLTMH. Kajian stabilitas sistem tenaga hibrida telah diselidiki, diperoleh bahwa stabilitas tidak bagus yaitu maximum peak (Mp) masih tinggi dan settling time (ts) lama. Kemudian diusulkan PSS berbasis fuzzy tipe-2 (FT2PSS) menggunakan metode Sugeno dengan fungsi keanggotaan gaussmf pada PLTD. Hasil simulasi menunjukkan bahwa untuk kenaikan beban sebesar 4% di PLTMH, stabilitas PLTD dan PLTMH meningkat. Respon osilasi PLTD menunjukkan penurunan Mp menjadi 0,3808 kali dan ts yang lebih singkat 0,6580 kali. Demikian pula untuk PLTMH, penurunan Mp mencapai 0,9874 kali dan ts dipersingkat menjadi 0,9816 kali.

---

**Keyword:** Fuzzy tipe-2, hibrid, PSS, sistem tenaga, stabilitas

### 1. PENDAHULUAN

Unit-unit pembangkit tersebar (DG) terhubung pada sistem distribusi dengan sumber energi bervariasi, hidro, surya, angin dan fosil. Hal ini menyebabkan perubahan struktur sistem tenaga yang membawa dampak penting pada stabilitas sistem tenaga modern. Power System Stabilizer (PSS) menjadi jawaban untuk perbaikan tersebut. Penelitian perbaikan stabilitas menggunakan PSS telah banyak dilakukan untuk sistem DG seperti (Habri and Magid 2011), dan masih diteliti oleh (Tu et al. 2019), (Stanev and Nakov 2020) dan (Kim and Park 2021). PSS terdiri dari blok penguatan, kompensator fasa lag-lead, dan blok washout. PSS berbasis kecerdasan telah dikembangkan untuk menanggulangi kondisi ketidakpastian operasi unit-unit pembangkit tersebar, seperti PSS berbasis ANFIS (Ginarsa et al. 2020) memberikan redaman pemulihan sistem lebih baik dari PSS konvensional pada sistem tenaga hibrid.

Sistem kontrol berkembang sangat pesat untuk mengatasi kondisi ketidakpastian operasi suatu sistem yaitu sistem fuzzy tipe-2 (Karnik, Mendel, and Liang 1999), (Castillo and Melin 2014) dan (Taskin and Kumbasar 2015). Pada (Ginarsa et al. 2018) PSS berbasis fuzzy tipe-2 dapat memperbaiki stabilitas mesin tunggal yang terhubung ke grid. Desain berbasis fuzzy tipe-2 tidak saja mampu memperbaiki stabilitas mesin tunggal, tetapi dapat juga meredam osilasi inter area pada sistem yang besar (Sreedivya, Aruna Jeyanthi, and Devaraj 2021). Penelitian ini bertujuan penerapan fuzzy tipe-2 untuk memperbaiki sistem tenaga dengan pembangkit hibrid diesel/PLTD dan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH).

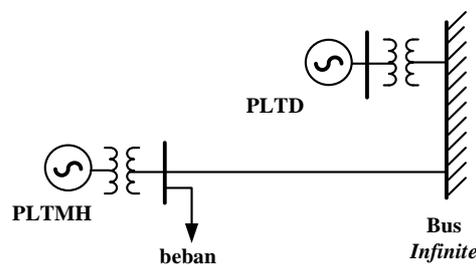
## 2. METODE

### 2.1 Alat dan Bahan

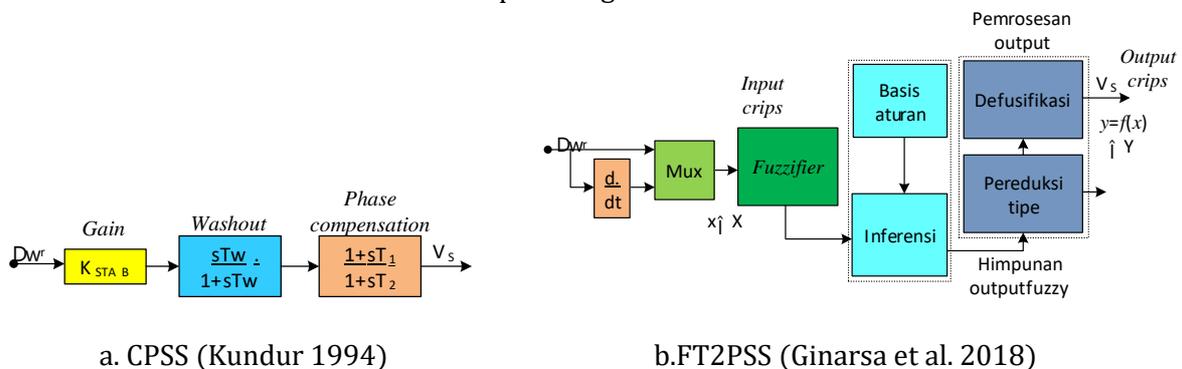
Alat penelitian berupa Personal Computer (PC) dengan prosesor Intel Core i5-3570, RAM 16 GB dan komponen pendukungnya. Sistem operasi Microsoft Windows 10 dan MATLAB/Simulink untuk simulasi stabilitas sistem pembangkit hibrid. Bahan penelitian berupa data-data sekunder parameter mesin dari unit-unit pembangkit hibrid dan parameter jaringan sistem pada level tegangan 20 kV.

### 2.2 Metode

Penelitian mengambil contoh model stabilitas sinyal-kecil sistem tenaga hybrid yang terdiri dari 14 bus (Ginarsa et al. 2020). Sistem terdiri dari 4 unit pembangkit, 3 unit pembangkit diesel (PLTD) dan 1 unit pembangkit mikro hidro (PLTMH). Model stabilitas dibangun dengan menyederhanakan model admitansi jaringan sistem yang hanya melibatkan 1 bus PLTD dan 1 bus PLTMH terhubung ke grid/bus infinite seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Beban sistem dianggap statik. Power system stabilizer (PSS) berbasis kompensasi lead-lag (CPSS) dan PSS berbasis Fuzzy Tipe-2 (FT2PSS) dipasang pada unit PLTD. Fuzzy Tipe-2 menggunakan algoritma fuzzy tipe Sugeno dengan fungsi keanggotaan input gaussmf. Dua input (perubahan kecepatan dan detivatifnya) masing masing terdiri dari 3 subset fuzzy. Lima output crisp [1; 0,5; 0; -0,5 -1]. Tiga skenario simulasi dilakukan, untuk kenaikan 4% beban pada bus PLTMH yaitu PLTD no PSS, CPSS dan FT2PSS. Gambar 2.a dan b. adalah blok diagram CPSS dan FT2PSS



Gambar 1. Sistem pembangkit hibrid PLTD-PLTMH



a. CPSS (Kundur 1994)

b. FT2PSS (Ginarsa et al. 2018)

Gambar 2. Power system stabilizer

Dua besaran yang digunakan untuk menilai perbaikan respon stabilitas sistem tenaga hibrid setelah mendapatkan gangguan kenaikan beban yaitu *Maximum Peak* ( $M_p$ ) dan *Settling Time* ( $t_s$ ).  $M_p$  adalah nilai puncak maksimum dari kurva respons yang diukur dari respons yang diinginkan dari sistem.  $M_p$  dirumuskan pada Persamaan 1. *Settling Time* adalah waktu yang dibutuhkan respon untuk mencapai keadaan tunak dan tetap dalam batas toleransi yang ditentukan di sekitar nilai akhir. Secara umum, toleransinya adalah 2% dan 5%. Penelitian ini menggunakan toleransi 2%.

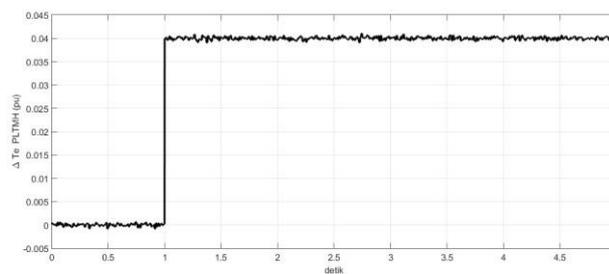
$$M_p = c(tp)$$

1

Dimana  $c(tp)$  dan  $tp$  adalah nilai puncak respond dan waktu puncak respon.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

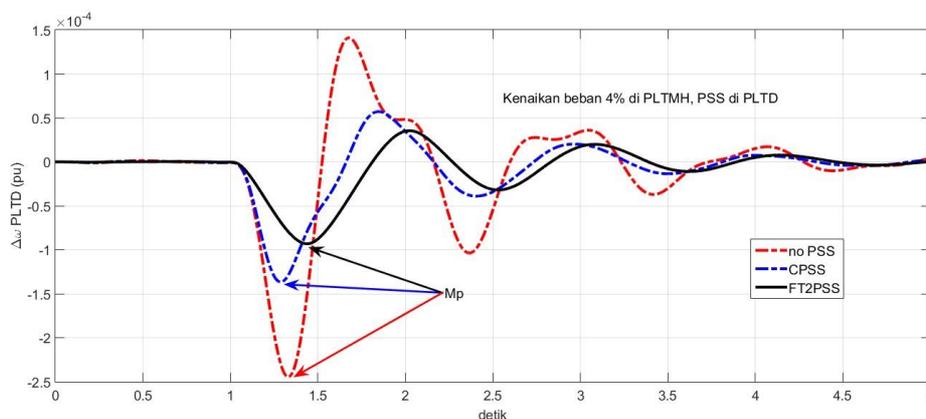
Simulasi kenaikan beban 4% pada bus PLTMH berupa fungsi *step* sebesar 0,04 pu ditambah nilai acak dengan *mean* sama dengan nol (Gambar 3). Fungsi *step* ini mewakili kenaikan torsi listrik pada pembangkit PLTMH.



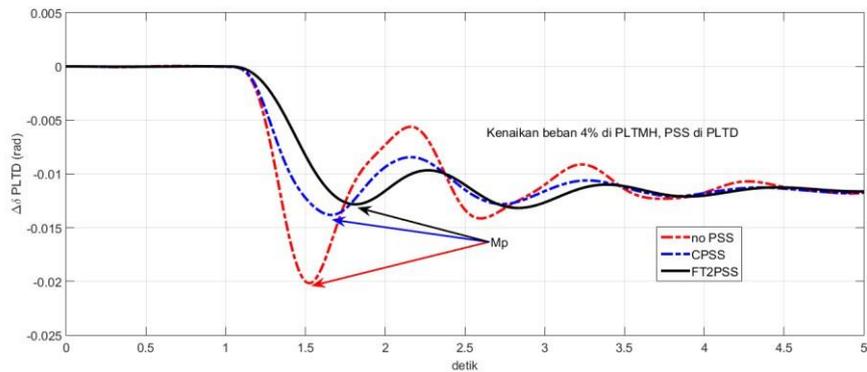
Gambar 3. Fungsi *step* 4% dan fluktuasi acak dengan *mean* = 0

Gambar 4 dan 5 yaitu respon PLTD akibat kenaikan beban 4% di PLTMH. Gambar 4 menunjukkan osilasi  $\Delta w$  PLTD yang merupakan respon PLTD terhadap perubahan beban.

*Maximum Peak* dari osilasi  $\Delta w$  PLTD untuk no PSS, CPSS, dan FT2PSS adalah  $2,4463e-04$  pu,  $1,3662e-04$  pu, dan  $9,3150e-05$  pu, dengan *settling time* sebesar 4,8990 detik, 4,6576 detik, dan 4,2688 detik. Gambar 5 adalah osilasi perubahan sudut rotor PLTD sebagai respon dari kenaikan beban 4% di PLTMH. *Maximum peak*  $\Delta$  PLTD untuk no PSS, CPSS, dan FT2PSS adalah 0,0202 rad, 0,0138 rad, dan 0,0132 rad. *Settling time* masing-masing skenario simulasi adalah 4,6445 detik, 3,4998 detik, dan 3,0559 detik untuk no PSS, CPSS, dan FT2PSS pada PLTD.



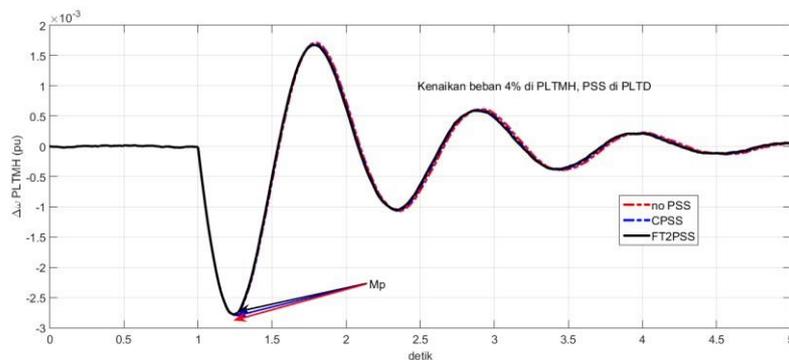
Gambar 4. Respon perubahan kecepatan PLTD dalam pu



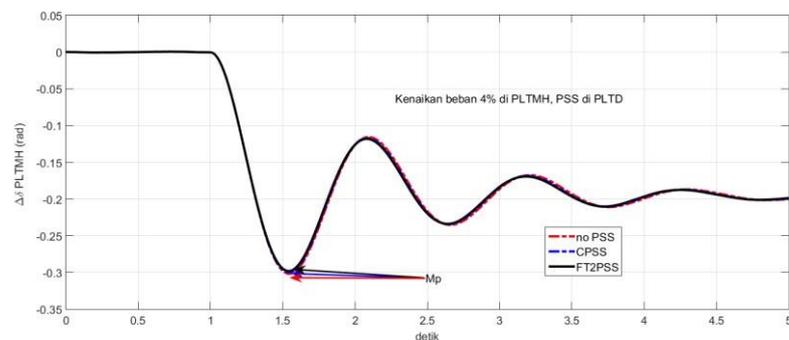
Gambar 5. Respon perubahan sudut rotor PLTD dalam rad

Gambar 6 dan 7 adalah respon pembangkit PLTMH akibat kenaikan beban 4% pada PLTMH.

Gambar 6 adalah osilasi perubahan kecepatan PLTMH dengan tiga skenario simulasi untuk PLTD no PSS, CPSS dan FT2PSS. *Maximum peak*  $\Delta\omega$  PLTMH untuk tiga scenario tersebut adalah 0,002787 pu, 0,002784 pu, dan 0,002778 pu, dengan settling time 4,8508 detik, 4,8134 detik, dan 4,8003 detik. Gambar 7 adalah osilasi perubahan sudut rotor PLTMH untuk PLTD no PSS, CPSS dan FT2PSS. *Maximum peak*  $\Delta\delta$  PLTMH adalah 0,302052 rad, 0,300013 rad, dan 0,298236 rad untuk PLTD no PSS, CPSS dan FT2PSS. Settling time-nya adalah 4,6086 detik, 4,5561 detik, dan 4,5237 detik.



Gambar 6. Respon perubahan kecepatan PLTMH dalam pu



Gambar 7. Respon perubahan sudut rotor PLTMH dalam rad

Hasil-hasil simulasi menunjukkan bahwa kenaikan beban 4% di PLTMH, FT2PSS PLTD dapat memperbaiki stabilitas sistem tenaga hibrid, seperti ditunjukkan dari hasil osilasi  $\Delta w$  PLTD,  $\Delta \square$  PLTD,  $\Delta w$  PLTMH, dan  $\Delta \square$  PLTMH. Pada osilasi  $\Delta w$  PLTD, Mp FT2PSS adalah 0,6818 kali dari CPSS dan 0,3808 kali dari no PSS, begitu juga ts FT2PSS adalah 0,9165 kali dari CPSS dan 0,8713 kali dari no PSS. Osilasi  $\Delta \square$  PLTD, Mp FT2PSS adalah 0,9531 kali dari CPSS dan 0,6529 kali dari no PSS, begitu juga ts FT2PSS adalah 0,8732 kali dari CPSS dan 0,6580 kali dari no PSS. Osilasi  $\Delta w$  PLTMH, Mp FT2PSS adalah 0,9979 kali dari CPSS dan 0,9967 kali dari no PSS, begitu juga ts FT2PSS adalah 0,9973 kali dari CPSS dan 0,9896 kali dari no PSS. Osilasi  $\Delta \square$  PLTMH, Mp FT2PSS adalah 0,9941 kali dari CPSS dan 0,9874 kali dari no PSS, begitu juga ts FT2PSS adalah 0,9929 kali dari CPSS dan 0,9816 kali dari no PSS. Perbaikan FT2PSS PLTD dapat ditabelkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbaikan stabilitas pembangkit hibrid karena FT2PSS di PLTD

Pembangkit	Variabel	FT2PSS dari CPSS (kali)		Ft2PSS dari no PSS (kali)	
		Mp	ts	Mp	ts
PLTD	$\Delta w$	0,6818	0,9165	<b>0,3808</b>	0,8713
	$\Delta \square$	0,9531	0,8732	0,8713	<b>0,6580</b>
PLTMH	$\Delta w$	0,9979	0,9973	0,9967	0,9896
	$\Delta \square$	0,9941	0,9929	<b>0,9874</b>	<b>0,9816</b>

#### 4. KESIMPULAN

PSS berbasis fuzzy tipe 2 pada PLTD memberikan perbaikan stabilitas sistem tenaga hybrid, pada PLTD maupun PLTMH untuk kenaikan beban 4% pada PLTMH. Perbaikan stabilitas PLTD dengan penurunan Mp sampai 0,3808 kali dan mempersingkat ts sampai 0,6580 kali. Perbaikan stabilitas PLTMH dengan penurunan Mp sampai 0,9874 kali dan mempersingkat ts sampai 0,9816 kali. Hasil ini menunjukkan FT2PSS PLTD mampu memperbaiki stabilitas PLTD dan PLTMH walaupun perbaikan stabilitas PLTMH tidak sebaik PLTD.

#### 5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini terlaksana atas dukungan dana bersumber dari DIPA BLU Universitas Mataram Tahun 2021, dengan nomor kontrak: 2931/UN18.L1/PP/2021.

#### 6. DAFTAR REFERENSI

- Castillo, Oscar, and Patricia Melin. 2014. "A Review on Interval Type-2 Fuzzy Logic Applications in Intelligent Control." *Information Sciences* 279 (April): 615–31. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2014.04.015>.
- Ginarsa, I Made, Agung Budi Muljono, I Made Ari Nrartha, and Osea Zebua. 2018. "Desain Power System Stabilizer Berbasis Fuzzy Tipe-2 Untuk Perbaikan Stabilitas Mesin Tunggal." *Jurnal Rekayasa ElektriKa* 14 (1): 1–8. <https://doi.org/10.17529/jre.v14i1.8464>.
- Ginarsa, I Made, I Made Ari Nrartha, Sultan Sultan, Agung Budi Muljono, and Sabar Nababan. 2020. "Perbaikan Stabilitas Dinamik Sistem Tenaga Terintegrasi Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Dan Diesel Menggunakan PSS Berbasis ANFIS." *Jurnal Sains Teknologi & Lingkungan* 6 (2): 249. <https://doi.org/10.29303/jstl.v6i2.197>.
- Habri, W. Al, and Y. L. Abdel Magid. 2011. "Power System Stabilizer for Power Sharing Control of Parallel Inverters in a Grid - Connected Micro-Grid System." 2011 IEEE PES Conference on Innovative Smart Grid Technologies - Middle East, ISGT Middle East 2011. <https://doi.org/10.1109/ISGT-MidEast.2011.6220816>.
- Karnik, Nilesh N., Jerry M. Mendel, and Qilian Liang. 1999. "Type-2 Fuzzy Logic Systems." *IEEE Transactions on Fuzzy Systems* 7 (6): 643–58. <https://doi.org/10.1109/91.811231>.

6. Kim, Jong Ju, and June Ho Park. 2021. "A Novel Structure of a Power System Stabilizer for Microgrids." *Energies* 14 (4): 1–33. <https://doi.org/10.3390/en14040905>.
7. Kundur, Prabha. 1994. *Power System Stability and Control*. 4th editio. New York: McGraw-Hill.
8. Sreedivya, K. M., P. Aruna Jeyanthi, and D. Devaraj. 2021. "Improved Design of Interval Type-2 Fuzzy Based Wide Area Power System Stabilizer for Inter-Area Oscillation Damping." *Microprocessors and Microsystems* 83 (October 2020): 103957. <https://doi.org/10.1016/j.micpro.2021.103957>.
9. Stanev, Rad, and Kamen Nakov. 2020. "Power System Stabilizers for Inverter Dominated Future Power Systems." 2020 21st International Symposium on Electrical Apparatus and Technologies, SIELA 2020 - Proceedings, no. August. <https://doi.org/10.1109/SIELA49118.2020.9167134>.
10. Taskin, Ahmet, and Tufan Kumbasar. 2015. "An Open Source Matlab/Simulink Toolbox for Interval Type-2 Fuzzy Logic Systems." *Proceedings - 2015 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence, SSCI 2015*, 1561–68. <https://doi.org/10.1109/SSCI.2015.220>.
11. Tu, Ganggang, Yanjun Li, Ji Xiang, and Jin Ma. 2019. "Distributed Power System Stabiliser for Multimachine Power Systems." *IET Generation, Transmission and Distribution* 13 (5): 603–12. <https://doi.org/10.1049/iet-gtd.2018.6415>.