

Analisis Kestabilan Dinamik Pada Sistem *Single Machine Infinite Bus*

Eko Solihin^{1*}, Muldi Yuhendri¹, Risfendra¹, Aslimeri¹

Universitas Negeri Padang

*Corresponding author, e-mail: eko.solihin97@gmail.com

Abstrak

Energi listrik yang dihasilkan dari sebuah pembangkit akan disalurkan pada sebuah subsistem yang dinamakan dengan *single machine infinite bus*, tetapi gangguan pada sistem *single machine infinite bus* seperti perubahan beban secara acak pada sisi pembangkit dapat mengakibatkan kestabilan sistem berubah sehingga sistem *single machine infinite bus* tidak berjalan normal. Artikel ini bertujuan untuk menganalisis kestabilan dinamik pada sistem *single machine infinite bus* menggunakan kontrol *power system stabilizer* dan kontrol *proportional integral derivative*. Metode kepustakaan diterapkan untuk menganalisis data dan parameter *single machine infinite bus* yang disimulasikan menggunakan *software Matlab V. R2020a*. Hasil analisis kestabilan dinamik sistem *single machine infinite bus* pada perubahan sudut rotor secara keseluruhan setelah memberikan gangguan dinamik sebesar 0.013 p.u dengan menambahkan PSS dapat meredam 0.068 p.u osilasi pada sudut rotor yaitu ketika sudut rotor berada pada titik 0.359 p.u menjadi 0.291 p.u dan pengurangan waktu yang signifikan juga terjadi pada sistem ini sebesar 7.3 detik serta meredam *overshoot* dari nilai 38.19% menjadi 2.57% serta dapat meredam 0.000115 osilasi pada frekuensi yaitu ketika frekuensi berada pada titik 0.000329 p.u menjadi 0.000214 p.u dan pengurangan waktu yang signifikan juga terjadi pada sistem ini sebesar 4.2 detik serta meredam *overshoot* dari nilai 55.58% menjadi 0.57%. Penambahan kontrol *proportional integral derivative* pada sistem *single machine infinite bus* yang dilengkapi *power system stabilizer* memberikan hasil yang sangat baik dalam meredam osilasi sudut rotor dan frekuensi yang dilihat dari hasil pengukuran dapat meredam 0.073 p.u pada sudut rotor dan 0.000176 pada perubahan frekuensi serta meredam *overshoot* dari 55.58% menjadi 0.50%.

Keyword: Kestabilan Dinamik, SMIB, PSS, PID

Abstract

The electrical energy that makes the generator will be channeled to a subsystem called *single machine infinite bus*, but disruptions to the *single machine infinite bus* system such as load directly on the side of the plant can destabilize the system stability of *infinite bus single machine infinite bus system unlimited unlimited buses running normally*. This article is concerned to contribute dynamic stability to the *single bus unlimited bus engine system using the power system stabilizer control and the derivative integral proportional control*. Speed library force for data analysis and single engine parameters *infinite bus simulated using Matlab V. R2020a software*. The result of dynamic stability analysis of *single machine infinite bus system at the angle of rotor angle is widely so that the dynamic interference of 0.013 p.u with PSS whistling can bemeduh 0.068 p.u oscillations at rotor angle when rotor angle at point 0.359 p.u. so 0.0 291 p.u. and time violations also occurred in this system by 7.3 seconds and dampened the overshoot from a value of 38.19% to 2.57% and could dampen the 0.000115 oscillations in the current frequency i at the point of 0.000329 p.u to 0.000214 p.u and the desired disffiposition time also on this system by 4.2 seconds and overshoot from a value of 55.58% to 0.57%. The addition of derivative integral proportional control on *single machine infinite bus systems whose power systems are excellent safe stabilizers in rotor angle oscillations and elements seen from the currant results can be horrified by 0.073 p.u at rotor angle and 0.000176 on changes and esver overshoot of 55.58% to 0.50%*.*

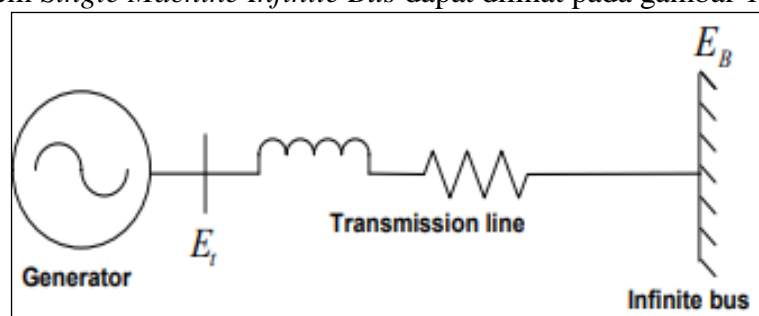
Keywords: Dynamic Stability, SMIB, PSS, PID

PENDAHULUAN

Salah satu masalah stabilitas dinamik pada operasi sistem tenaga listrik adalah stabilitas *steady state*, atau kontrol *terminology*, dan sinyal kecil di sekitar sistem *operating point* [1]. Sebagian besar aplikasi pemantau dan kontrol di pusat kendali mengandalkan model keadaan *steady state* dari sistem, namun pada kenyataannya sistem tenaga tidak pernah beroperasi dalam keadaan *steady state* karena ada variasi *stochastic* dalam permintaan dan pembangkitan. Situasi ini semakin diperparah oleh

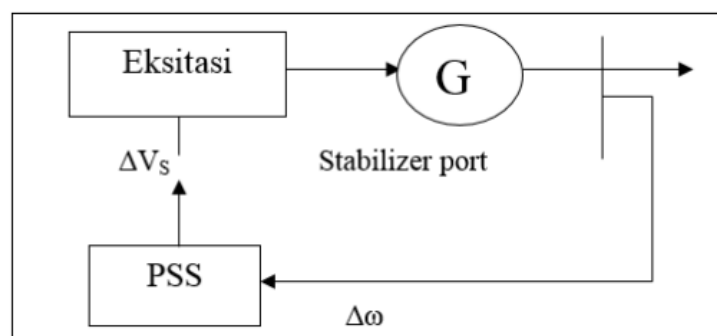
integrasi skala besar dari sumber daya energi terdistribusi dari sisi pembangkit dan beban kompleks serta teknologi respons permintaan baru yang aktif pada sisi permintaan, seperti kendaraan listrik dan perangkat *internet of things*. Pergeseran seperti itu telah menimbulkan ketidakpastian yang lebih besar dari karakteristik sistem dinamis. Akibatnya, asumsi keadaan stabil menjadi dipertanyakan, dan metode perkiraan estimasi tidak dapat menangkap dinamika ini di sebuah lingkungan operasional [2]. Osilasi berkekuatan kecil dan frekuensi rendah pada sistem tenaga dalam beberapa kasus menghadirkan batasan pada kemampuan transfer daya [3]. Hal tersebut membuat kita perlu melakukan analisis kestabilan dinamik pada sistem tenaga.

Sebuah bus pada sistem tenaga listrik akan mendapatkan daya dari sebuah mesin yang dinamakan *Single Machine Infinite Bus* (SMIB). Gangguan pada SMIB seperti perubahan beban secara acak pada sisi pembangkit dapat mengakitbatkan kestabilan sistem berubah sehingga sistem single machine infinite bus tidak berjalan normal [4]. Penyaluran daya dilakukan secara konstan terhadap beban melalui jaringan transmisi [5]. Sinyal kontrol dari pengontrol global adalah rata-rata sinyal dari kontrol lokal, masing-masing ditimbang oleh nilai fungsi keanggotaan wilayah operasinya. Karena fungsi variabel sistem dapat ditentukan oleh variabel sistem daya yang terukur langsung [5]. Penerapan sirkuit sistem *Single Machine Infinite Bus* dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Penerapan SMIB Pada Sistem Tenaga Listrik [6].

Kontrol eksitasi generator adalah satu topik penting di bidang sistem tenaga. Kontrol eksitasi yang baik merupakan cara terbaik untuk meredam osilasi dan meningkatkan stabilitas sudut rotor pembangkit [7]. Menggunakan *power system stabilizer* (PSS) sebagai metode yang unggul untuk meningkatkan redaman osilasi rotor elektromekanis dan sejalan dengan itu dapat meningkatkan kemampuan transfer energi listrik pada jalur transmisi. Proses ini memberikan redaman untuk mengembangkan komponen torsi listrik dalam satuan *phase* dengan penyimpanan kecepatan rotor menggunakan modulasi referensi tegangan pada kontrol *exciter* [5]. Implikasi sebuah PSS pada sistem daya yang disambung melalui ΔV_s ke port stabilizer pada gambar 2.

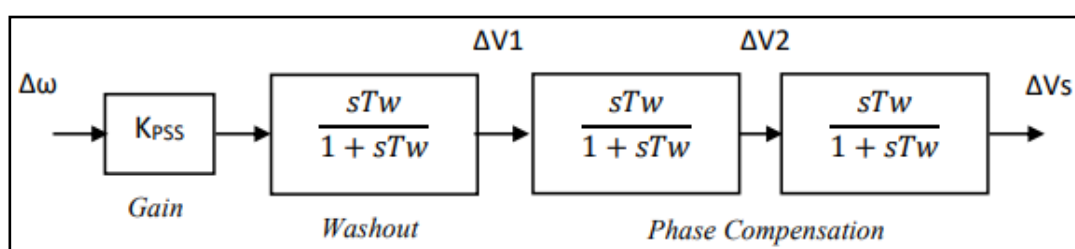


Gambar 2. Sistem PSS Pada Generator [7].

Unit *power system stabilizer* (PSS) telah dianggap sebagai cara yang efektif untuk meningkatkan redaman dari *electro mechanical oscillations* (EMO) dalam sistem tenaga [8]. PSS konvensional pertama kali diusulkan di 1960-an dan teori kontrol klasik, dijelaskan dalam transfer fungsi dan digunakan untuk desainnya. Model linier dapat digunakan untuk studi ini dan PSS dapat dianggap

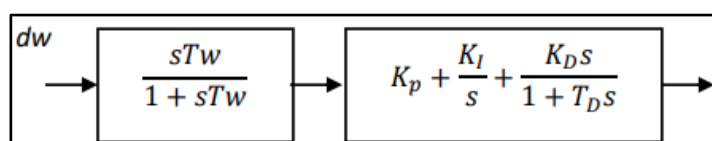
sebagai pengontrol umpan balik *single input single output* (SISO) yang di pasang pada satu set pembangkit (mesin). Salah satu dari tiga sinyal kecepatan poros mesin, frekuensi atau daya akselerasi dapat digunakan sebagai input ke PSS [9]. Dari jumlah tersebut, yang paling umum digunakan adalah kecepatan poros mesin. Output PSS, sebagai sinyal tambahan diterapkan ke terminal pengatur tegangan mesin.

Power system stabilizer berhasil digunakan dalam sistem tenaga selama beberapa tahun karena fleksibilitas biaya yang rendah dan implementasi yang mudah. Pada sistem tenaga yang ada saat ini, stabilisator sistem tenaga konvensional digunakan dalam jangkauan luas dan telah berkontribusi untuk meningkatkan stabilitas dinamik sistem tenaga. Jenis produksi untuk torsi redaman adalah prosedur yang paling efisien untuk meningkatkan stabilitas sinyal kecil dari sebuah sistem tenaga, dibandingkan dengan *flexible AC transmission system* (FACTS) [10]. Selain itu pengontrolan tambahan dapat dirancang untuk setiap perangkat FACRS dan perangkat elektronik ini tidak secara langsung terlibat dengan osilasi elektromekanis. Akibatnya *flexible AC transmission system* (FACTS) tidak sesederhana PSS [11]. Diagram blok dari PSS dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Blok PSS Konvensional [5].

Berbagai jenis pengontrolan seperti *Proportional plus Derivative* (PD), *Proportional plus Integral* (PI), *Proportional plus Derivative plus Integral* (PID) dan kontrol *Lead Lag* dirancang untuk menstabilkan sistem. Kontroler *Lead Lag* yang dicirikan oleh implementasinya yang sederhana adalah tipe tradisional dari pengontrolan. PID yang merupakan kombinasi dari *proportional*, *derivative*, dan *integral* adalah jenis pengendali terkemuka. Kontroler ini menghitung kesalahan antara *variable* yang diinginkan dan diukur dan mencoba untuk mengurangi kesalahan dengan menyetel parameter input [11]. Penambahan PID pada PSS dirancang sesuai dengan gambar 4.



Gambar 4. Struktur PID tipe PSS [12].

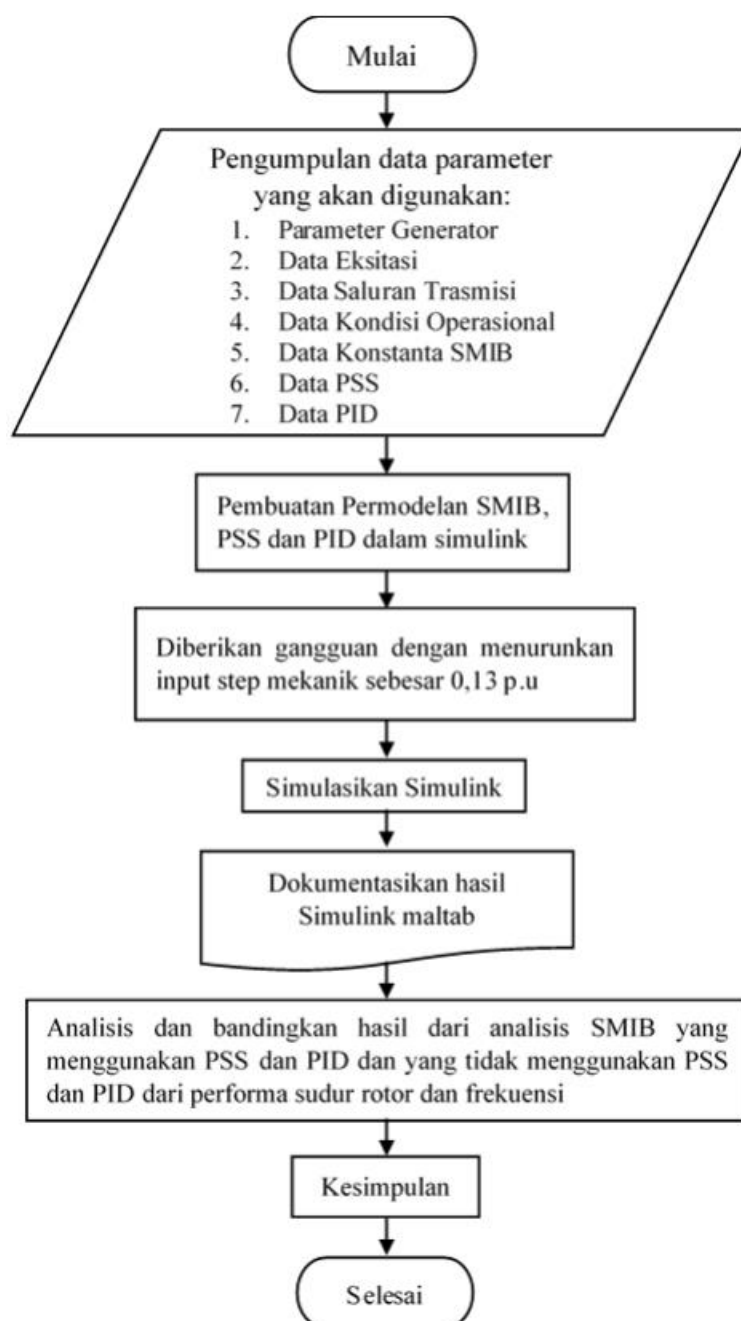
Para pengembang sistem tenaga dan kontrol memberikan kontribusi penting pada sistem tenaga konvensional untuk desain *stabilizer* setelah pekerjaan awal Concordia dan DeMello [13]. Setelah itu, model yang paling banyak adalah dikembangkan dengan menggunakan hipotesis kontrol lanjutan dan baru seperti kontrol optimal, nilai penugasan kutub [14] dan kontrol adaptif [15]. Pemilihan dan desain struktur PSS adalah proses yang rumit dari iterasi. Desain stabilizer sistem tenaga yang lebih baik, agar mampu mengatasi setiap variasi untuk perubahan kondisi operasional yang dapat dilakukan dengan *self-tuning* [14], seperti kontrol adaptif dengan metode berdasarkan Lyapunov untuk desain PSS [16]. Untuk metode semacam ini, perlu diketahui pengetahuan yang luas tentang dinamika sistem tenaga dan membutuhkan waktu yang lama untuk pengolahannya [17].

Berbagai cara untuk meningkatkan kinerja stabilizer sistem tenaga, banyak teknik yang telah diusulkan untuk dirancang misalnya seperti parameter PSS berbasis algoritma *Artificial Bee Colony* (ABC) [18], *Artificial Neural Networks* (ANNs) [19], *fuzzy logic* [20], *adaptive fuzzy* [21], *neuro-fuzzy* [22] dan banyak teknik optimasi cerdas lainnya.

Artikel ini bertujuan untuk menganalisis kestabilan dinamik pada *Single Machine Infinite Bus* (SMIB) dengan pengontrolan PSS dan PID yang disimulasikan menggunakan Matlab V. R2020a untuk meningkatkan dinamika sistem tenaga listrik. Kami merancang kontrol global yang bermanfaat untuk menjaga stabilitas *transient* dan mencapai tingkat tegangan yang memuaskan dari sistem daya ketika mengalami gangguan kestabilan dinamik.

METODE

Metode kepustakaan diterapkan pada penulisan artikel ini supaya dapat menganalisis data yang disusun dengan teori dari beberapa jurnal dan buku [23]. Gambar 5 memperlihatkan alur analisis dalam artikel.

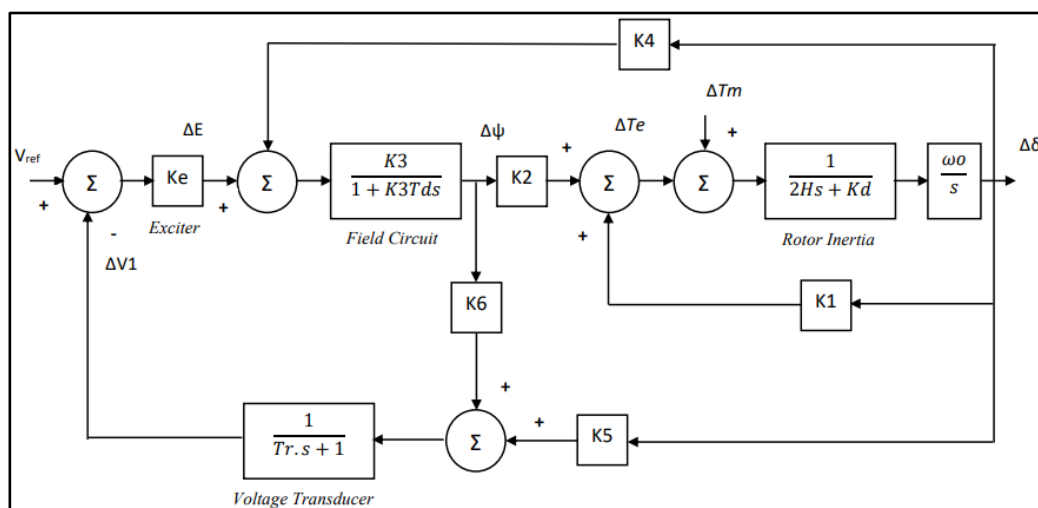


Gambar 5. Flowchart Analisis Kestabilan Dinamik SMIB [23].

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Analisis kestabilan dinamik pada sebuah sistem *single machine infinite bus* (SMIB) dirancang dalam sebuah simulasi simulink yang dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6. Model SMIB [6]

Supaya bisa melakukan analisis kestabilan dinamik pada sebuah sistem *single machine infinite bus* maka pada sistem *single machine infinite bus* diberikan gangguan dinamik dengan 0.13 p.u untuk *step input* dan ketentuan simulasi nilai positif untuk K5. Simulasi simulink dapat dilakukan dengan memberikan nilai data dan parameter pada gambar 6 yang mana data dan parameter tersebut ditulis pada tabel 1 untuk parameter generator, tabel 2 untuk data eksitasi, tabel 3 untuk data saluran transmisi, tabel 4 untuk data kondisi operasional, tabel 5 untuk data konstanta SMIB, tabel 6 untuk data PSS, dan tabel 7 untuk data PID [23].

Tabel 1. Data Parameter Generator

	H	Kd	Td	Xd	X'd	Xq	Xt	ω_0
Nilai	3.5	0	8	1.81	0.3	1.76	0	3.14

Tabel 2. Data Eksitasi

	Ke	Tr
Nilai	200	0.02

Tabel 3. Data Saluran Transmisi

	Xe	Re
Nilai	0.65	0

Tabel 4. Data Kondisi Operasional

	P	Q	Et	f
Nilai	0.9	0.3	1	50

Tabel 5. Data Data Konstanta SMIB

	K1	K2	K3	K4	K5	K6
Nilai	0.7636	0.8644	0.3231	1.4189	0.1463	0.4167

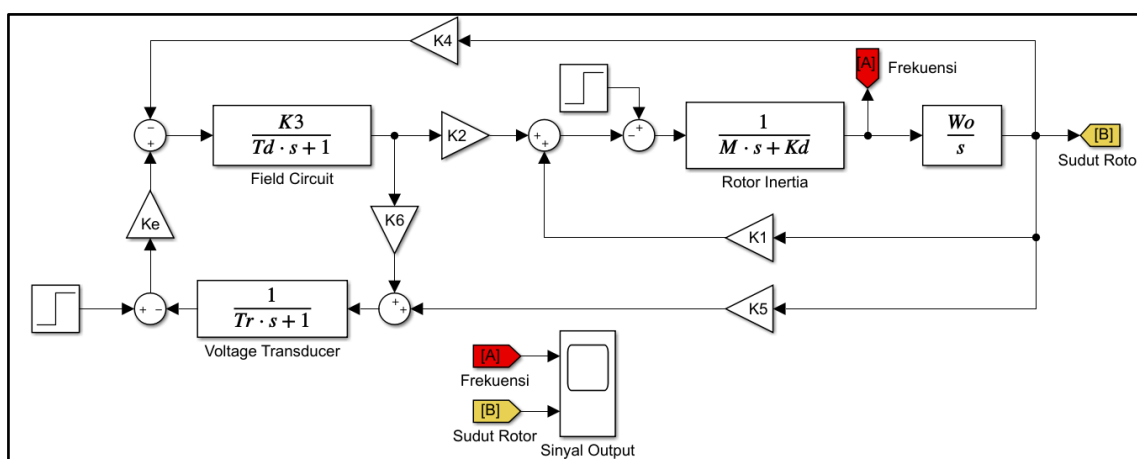
Tabel 6. Data Parameter PSS

	K _{PSS}	T _w	T1	T2	T3	T4
Nilai	48.36	10	0.0574	0.0139	3.8946	5.2275

Tabel 7. Data Parameter PID

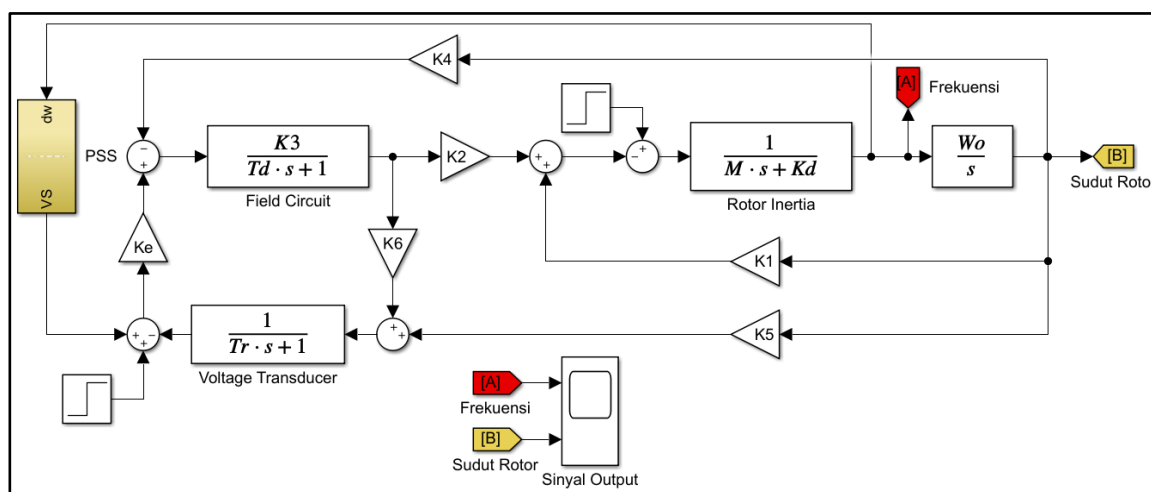
	K_P	K_I	K_D
Nilai	0.5	0.000005	0.2

Kestabilan dinamik pada sistem SMIB diketahui dengan pemodelan simulasi dalam tiga kondisi menggunakan *software* Matlab V. R2020a. Tiga kondisi tersebut diantaranya adalah simulasi pemodelan SMIB yang tidak menggunakan PSS dan PID, kemudian simulasi pemodelan SMIB dengan tambahan PSS, dan yang terakhir simulasi pemodelan SMIB dengan tambahan PSS dan PID. Performa generator pada sistem SMIB yang tidak menggunakan PSS dan PID distabilkan menggunakan sistem eksitasi yang dapat dilihat melalui blok diagram gambar 6. Simulasi dilakukan dengan memberikan gangguan berupa perubahan *input* mekanik pada sistem sebesar 0.13 pu. Desain simulink pada Matlab untuk model SMIB yang tidak menggunakan PSS dan PID dapat dilihat pada gambar 7.



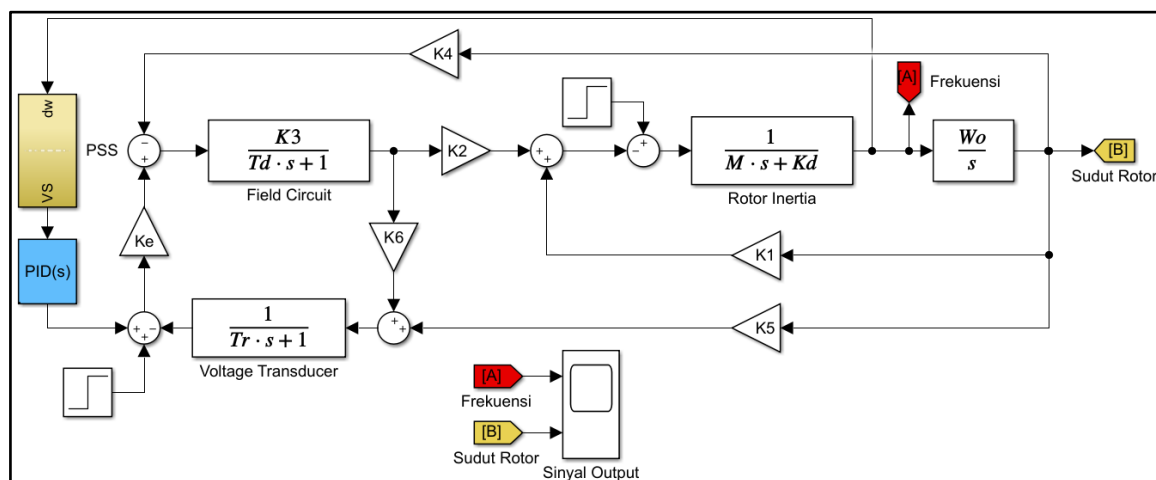
Gambar 7. Model Simulink SMIB
 Sumber: Simulink Matlab V. R2020a

Pemodelan SMIB yang dilengkapi dengan PSS merupakan hasil modifikasi simulink model pada gambar 7 dengan memberi blok PSS pada rangkaian. Subsistem dari sebuah PSS dilengkapi dengan *phase compensation*, *washout* dan *gain*. Bentuk simulink rangkaian SMIB yang sudah dilengkapi PSS dapat dilihat pada gambar 8.



Gambar 8. Model Simulink SMIB Dengan PSS
 Sumber: Simulink Matlab V. R2020a

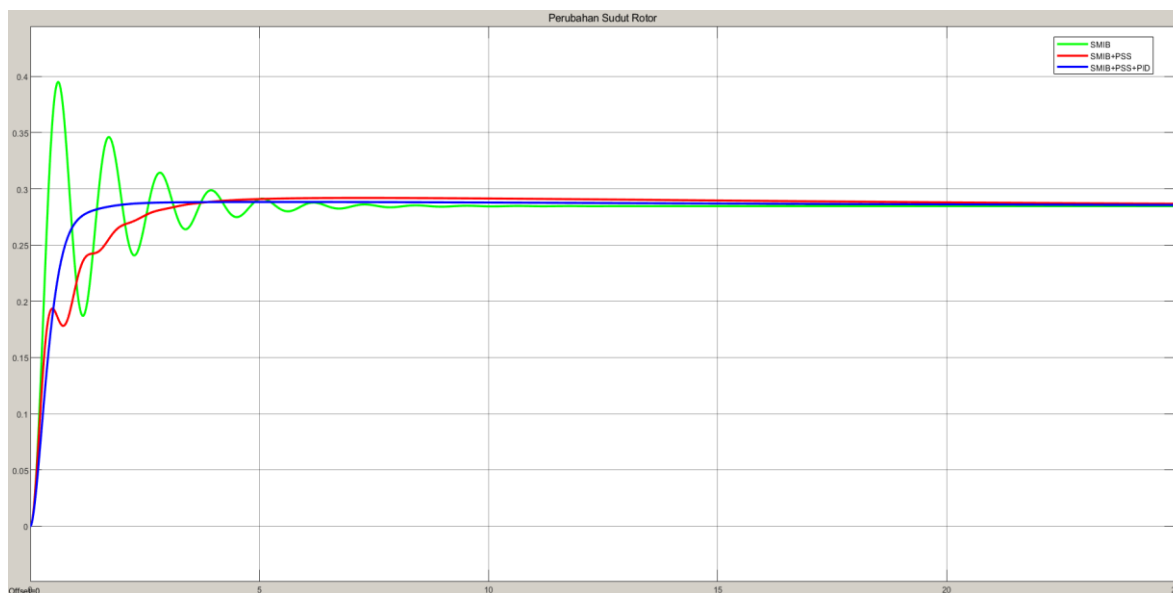
Pemodelan SMIB yang dilengkapi dengan PSS dan PID merupakan hasil modifikasi simulink model pada gambar 8 dengan memberi blok PID pada rangkaian yang dapat dilihat pada gambar 9.



Gambar 9. Model Simulink SMIB Dengan PSS Dan PID

Sumber: Simulink Matlab V. R2020a

Hasil simulasi respon perubahan sudut rotor secara keseluruhan model SMIB baik yang menggunakan PSS maupun PSS dan PID serta yang tidak menggunakan PSS dan PID dapat dilihat pada grafik gambar 10.



Gambar 10. Perbandingan Respon Perubahan Sudut Rotor Akibat Perubahan Beban 0.13 p.u

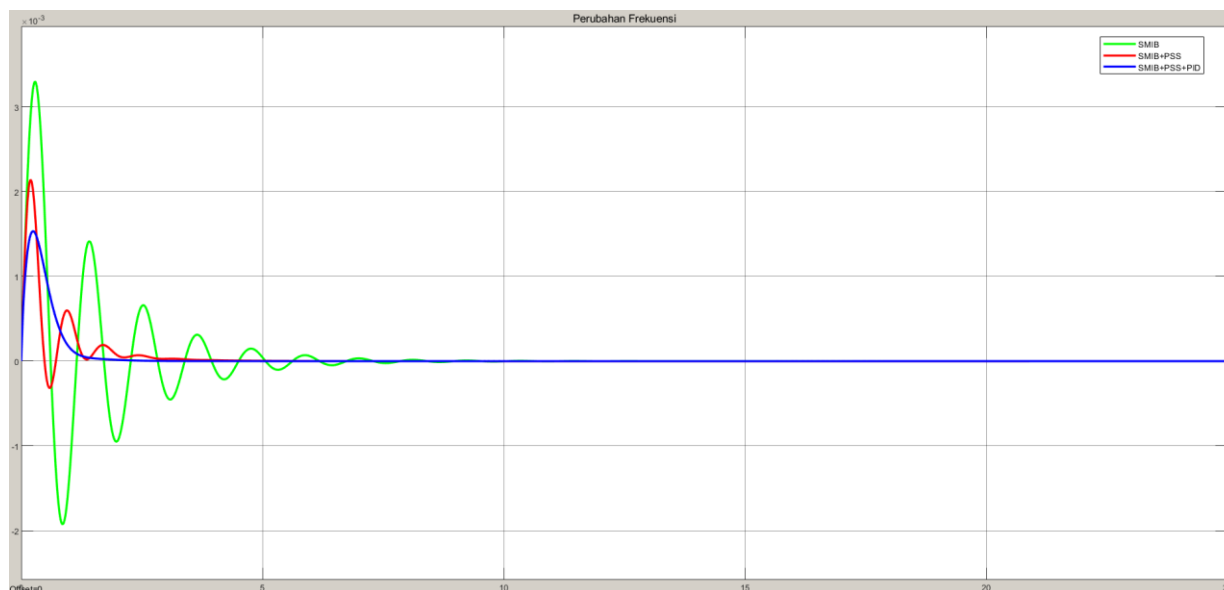
Sumber: Hasil Simulasi Simulink Matlab V. R2020a

Tabel 8. Data Respon Perbandingan Hasil Simulasi Perubahan Sudut Rotor Akibat Perubahan Beban 0.13 p.u

Metode	SMIB	SMIB + PSS	SMIB + PSS + PID
Maksimum Sudut Rotor (p.u)	0.359	0.291	0.286
Settling Time (s)	11.2	3.9	1.4
Posisi Stabil (p.u)	0.285	0.285	0.285
Overshoot (%)	38.19	2.57	0.43

Sumber: Hasil Simulasi Simulink Matlab V. R2020a

Hasil simulasi respon perubahan frekuensi secara keseluruhan model SMIB baik yang menggunakan PSS maupun PSS dan PID serta yang tidak menggunakan PSS dan PID dapat dilihat pada grafik gambar 11.



Gambar 11. Perbandingan Respon Perubahan Frekuensi Akibat Perubahan Beban 0.13 p.u

Sumber: Hasil Simulasi Simulink Matlab V. R2020a

Tabel 9. Data Respon Perbandingan Hasil Simulasi Perubahan Frekuensi Akibat Perubahan Beban 0.13 p.u

Metode	SMIB	SMIB + PSS	SMIB + PSS + PID
Maksimum Frekuensi (p.u)	0.000329	0.000214	0.000153
Settling Time (s)	7.6	3.4	1.8
Posisi Stabil (p.u)	0.000001	0.000001	0.000001
Overshoot (%)	55.583	0.575	0.505

Sumber: Hasil Simulasi Simulink Matlab V. R2020a

Pembahasan

Hasil analisis kestabilan dinamik sistem *single machine infinite bus* pada perubahan sudut rotor secara keseluruhan setelah memberikan gangguan dinamik sebesar 0.013 p.u yang ditampilkan pada gambar 10 memperlihatkan nilai maksimum perubahan sudut rotor adalah 0.359 p.u dan pada waktu 11.2 detik sudut rotor mendapatkan keadaan yang stabil dari perbandingan hasil sudut rotor pada SMIB tanpa PSS dan PID. Peredaman osilasi yang terjadi saat penambahan PSS konvensional dan PID yang diaplikasikan pada SMIB mengakibatkan perubahan yang signifikan pada sudut rotor. Peredaman osilasi cukup tinggi sebesar 0.068 terjadi ketika penambahan PSS pada sistem SMIB yaitu ketika sudut rotor berada pada titik 0.359 p.u menjadi 0.291 p.u dan pengurangan waktu yang signifikan juga terjadi pada sistem ini sebesar 7.3 detik yang mana pada awal SMIB mencapai titik stabil membutuhkan waktu 11.2 detik tetapi dengan penambahan PSS waktu untuk mencapai titik stabil menjadi lebih cepat yaitu 3.9 detik serta meredam *overshoot* dari nilai 38.19% menjadi 2.57% yang mana hasil ini mengakibatkan peredaman akibat PSS memiliki dampak yang besar di antara model SMIB. Penambahan PID pada sistem SMIB yang sudah dilengkapi dengan PSS ternyata mendapatkan nilai lebih rendah untuk posisi sudut rotor yang mencapai 0.286 p.u. Nilai osilasi redaman sudut rotor yang semakin rendah ini memperlihatkan bahwa penambahan PID memberikan dampak yang lebih baik untuk meredam osilasi pada sudut rotor karena untuk mengatasi gangguan

pada sistem tenaga listrik salah satunya dengan menjaga nilai sudut rotor yang untuk kestabilan operasi sistem tenaga.

Hasil analisis kestabilan dinamik sistem *single machine infinite bus* pada perubahan frekuensi secara keseluruhan setelah memberikan gangguan dinamik sebesar 0.013 p.u yang ditampilkan pada gambar 11 memperlihatkan nilai maksimum perubahan frekuensi adalah 0.000329 p.u dan pada waktu 7.6 detik frekuensi mendapatkan keadaan yang stabil dari perbandingan hasil perubahan frekuensi pada SMIB tanpa PSS dan PID. Peredaman osilasi yang terjadi saat penambahan PSS konvensional dan PID yang diaplikasikan pada SMIB mengakibatkan perubahan yang signifikan pada frekuensi. Peredaman osilasi cukup tinggi sebesar 0,000115 terjadi ketika penambahan PSS pada sistem SMIB yaitu ketika frekuensi berada pada titik 0.000329 p.u menjadi 0.000214 p.u dan pengurangan waktu yang signifikan juga terjadi pada sistem ini sebesar 4.2 detik yang mana pada awal SMIB mencapai titik stabil membutuhkan waktu 7.6 detik tetapi dengan penambahan PSS waktu untuk mencapai titik stabil menjadi lebih cepat yaitu 3.4 detik yang mana hasil ini mengakibatkan peredaman akibat PSS memiliki dampak yang besar di antara model SMIB. Penambahan PID pada sistem SMIB yang sudah dilengkapi dengan PSS ternyata mendapatkan nilai lebih rendah untuk posisi frekuensi yang mencapai 0.000153 p.u. Nilai osilasi redaman frekuensi yang semakin rendah ini memperlihatkan bahwa penambahan PID memberikan dampak yang lebih baik untuk meredam osilasi pada frekuensi karena untuk mengatasi gangguan pada sistem tenaga listrik salah satunya dengan menjaga nilai frekuensi untuk kestabilan operasi sistem tenaga.

PENUTUP

Berdasarkan pengujian analisis kestabilan dinamik pada sistem *single machine infinite bus*, maka penulis membuat kesimpulan bahwa PSS bagus digunakan pada sistem *single machine infinite bus* karena perubahan sudut rotor secara keseluruhan setelah memberikan gangguan dinamik sebesar 0.013 p.u dengan menambahkan PSS dapat meredam 0.068 osilasi pada sudut rotor yaitu ketika sudut rotor berada pada titik 0.359 p.u menjadi 0.291 p.u dan pengurangan waktu yang signifikan juga terjadi pada sistem ini sebesar 7.3 detik serta meredam *overshoot* dari nilai 38.19% menjadi 2.57% serta dapat meredam 0.000115 osilasi pada frekuensi yaitu ketika frekuensi berada pada titik 0.000329 p.u menjadi 0.000214 p.u dan pengurangan waktu yang signifikan juga terjadi pada sistem ini sebesar 4.2 detik serta meredam *overshoot* dari nilai 55.58% menjadi 0.57%. PID sangat bagus digunakan pada sistem *single machine infinite bus* karena penambahan kontrol PID pada sistem *single machine infinite bus* yang dilengkapi PSS memberikan hasil yang sangat baik dalam meredam osilasi sudut rotor dan frekuensi yang dilihat dari hasil pengeukuran dapat meredam 0.073 p.u pada sudut rotor dan 0.000176 pada perubahan frekuensi dan meredam *overshoot* dari 55.58% menjadi 0.50%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. C. Dc, B. Zhao, Q. Song, W. Liu, and Y. Zhao, "Transient DC Bias and Current Impact Effects of High-Frequency-Isolated Bidirectional," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 31, no. 4, pp. 3203–3216, 2016, doi: 10.1109/TPEL.2015.2445831.
- [2] J. Z. Tf *et al.*, "Power System Dynamic State Estimation : Motivations , Definitions , Methodologies and Future Work," vol. 8950, no. c, pp. 1–10, 2019, doi: 10.1109/TPWRS.2019.2894769.
- [3] E. Solihin and S. Sukardi, "Pengaruh Penerapan Sistem Control Valve Cooler 1 Berbasis Microcontroller ATmega 2560 Terhadap Moisture Pakan After Mixing dengan Bagging Off di PT. Japfa Comfeed Indonesia, Tbk. Unit Padang," *JTEV (Jurnal Tek. Elektro dan Vokasional)*, vol. 6, no. 2, p. 80, 2020, doi: 10.24036/jtev.v6i2.108549.
- [4] A. M. T. Oo and S. Member, "An Adaptive Partial Feedback Linearizing Control Scheme : an Application to a Single Machine Infinite Bus System," *IEEE Trans. Circuits Syst. II Express Briefs*, vol. PP, no. c, p. 1, 2019, doi: 10.1109/TCSII.2019.2962098.
- [5] I. Robandi, *Modern Power System Control*. Yogyakarta: Penerbit Andi, 2009.

-
- [6] S. Paliwal, P. Sharma, and A. K. Sharma, "Dynamic stability enhancement of power system using intelligent power system stabilizer," *Adv. Intell. Syst. Comput.*, vol. 335, pp. 571–583, 2015, doi: 10.1007/978-81-322-2217-0_46.
- [7] J. Yamlecha, Hermawan, and S. Handoko, "Perbandingan Desain Optimal Power System Stabilizer (Pss) Menggunakan PSO (Particle Swarm Optimization) Dan Ga (Genetic Algorithm) Pada Single Machine Infinite Bus (SMIB)," *Transient*, vol. 1, no. 4, pp. 188–193, 2012.
- [8] M. R. Arrieta, R. Kumar, A. Zamora-mendez, and D. Dotta, "Identification of electromechanical oscillatory modes based on variational mode decomposition," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 167, no. January 2018, pp. 71–85, 2019, doi: 10.1016/j.epsr.2018.10.014.
- [9] H. I. Abdul-Ghaffar, E. A. Ebrahim, and M. Azzam, "Design of PID controller for power system stabilization using hybrid particle swarm-bacteria foraging optimization," *WSEAS Trans. Power Syst.*, vol. 8, no. 1, pp. 12–23, 2013.
- [10] L. Hingorani, N.G and Gyugyi, *Understanding FACTS*. NewYork: IEEE press, 2000.
- [11] N. A. Mohamed Kamari, I. Musirin, M. M. Othman, and Z. A. Hamid, "PSS-LL based power system stability enhancement using IPSO approach," *Proc. 2013 IEEE 7th Int. Power Eng. Optim. Conf. PEOCO 2013*, no. June, pp. 658–663, 2013, doi: 10.1109/PEOCO.2013.6564629.
- [12] G. Kasilingam, "Particle Swarm Optimization Based PID Power System Stabilizer for a Synchronous Machine," *Int. J. Electr. Comput. Energ. Electron. Communiation Eng.*, vol. 8, no. 1, pp. 111–116, 2014.
- [13] C. Concordia, "www.DownloadPaper.ir," pp. 316–329, 1969.
- [14] K. Sebaa and M. Boudour, "Optimal locations and tuning of robust power system stabilizer using genetic algorithms," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 79, no. 2, pp. 406–416, 2009, doi: 10.1016/j.epsr.2008.08.005.
- [15] P. Zhao and O. P. Malik, "Design of an adaptive PSS based on recurrent adaptive control theory," *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 24, no. 4, pp. 884–892, 2009, doi: 10.1109/TEC.2009.2025337.
- [16] G. Ramakrishna and O. P. Malik, "Adaptive PSS using a simple on-line identifier and linear pole-shift controller," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 80, no. 4, pp. 406–416, 2010, doi: 10.1016/j.epsr.2009.10.004.
- [17] D. K. Sambariya and R. Prasad, "Robust tuning of power system stabilizer for small signal stability enhancement using metaheuristic bat algorithm," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 61, pp. 229–238, 2014, doi: 10.1016/j.ijepes.2014.03.050.
- [18] E. H. Kour and S. Mehta, "Power System Stabilizer for Single Machine Infinite Bus System," *Int. J. Adv. Res. Electr. Electron. Instrum. Eng.*, vol. 2017, no. May, 2019, doi: 10.15662/IJAREEIE.2017.0605060.
- [19] H. N. Al-Duwaish and Z. M. Al-Hamouz, "A neural network based adaptive sliding mode controller: Application to a power system stabilizer," *Energy Convers. Manag.*, vol. 52, no. 2, pp. 1533–1538, 2011, doi: 10.1016/j.enconman.2010.06.060.
- [20] C. S. Tseng and H. L. Jhi, "Robust static output feedback fuzzy control design for nonlinear systems with persistent bounded disturbances: A singular value decomposition approach," *2010 IEEE World Congr. Comput. Intell. WCCI 2010*, vol. 1, pp. 0–5, 2010, doi: 10.1109/FUZZY.2010.5584602.
- [21] J. M. Ramirez, R. E. Correa, and D. C. Hernández, "A strategy to simultaneously tune power system stabilizers," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 43, no. 1, pp. 818–829, 2012, doi: 10.1016/j.ijepes.2012.06.025.
- [22] D. K. Chaturvedi and O. P. Malik, "Neurofuzzy power system stabilizer," *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 23, no. 3, pp. 887–894, 2008, doi: 10.1109/TEC.2008.918633.
- [23] I. A. Permana, I. N. Suweden, W. A. Wijaya, J. T. Elektro, F. Teknik, and U. Udayana, "(Pss) Dalam Perbaikan Stabilitas Transien Generator Sinkron," vol. 2, no. 1, pp. 24–29, 2015.

Biodata Penulis

Eko Solihin, S.Pd, born in Brebes, December 17, 1997. Bachelor of Electrical Engineering Education at the Faculty of Engineering, Padang State University in 2020. Currently, completing a postgraduate program of Technology and Vocational Education S2 at the Faculty of Engineering, Padang State University.

Dr. Muldi Yuhendri, S.Pd., M.T, born in Agam on December 13, 1981. Completed his Bachelor's degree in electrical engineering at the Padang State University in 2005 and a master's program at ITS Surabaya in 2009 and S3 in Electrical Engineering in 2017 at the same campus. Worked as teaching staff in the electrical engineering department of the Padang State University since 2006 until now

Risfendra, S.Pd, MT., Ph.D, born in Riau, February 13, 1979. Bachelor of Electronic Engineering at Padang State University, graduated in 2004, Master of Regulatory System Engineering, ITS in 2008. S3 Shouten

Taiwan University, of science and technology, Taiwan in 2017. Teaching staff at the Department of Electrical Engineering FT UNP since 2005 – present.

Drs. Aslimeri, M.T., *born in Bukittinggi, May 01, 1956. Bachelor of Electrical Engineering at Yogyakarta State University, graduated in 1981, Master of Regulatory System Engineering, Bandung Institute of Technology in 1999. Teaching staff at the Department of Electrical Engineering FT UNP since 2002 – present*