

ANALISA DINAMIK ISLANDING OPERATION PADA SISTEM TARAHAN DENGAN HIGH-PV PENETRATION

Muhammad Adrian Relando^{1*}, Khairudin², Zulmiftah Huda³, Lukmanul Hakim⁴

^{1,2,3,4}Jurusan Teknik Elektro, Universitas Lampung; Jl. Prof. Sumantri Brojonegoro No.1, Lampung

Riwayat artikel:

Received: 22 November 2022

Accepted: 29 Desember 2023

Published: 1 Januari 2024

Keywords:

PLTS, Operasi Islanding, Stabilitas Frequency, Penetrasi PV.

Correspondent Email:

khairudin@eng.unila.ac.id

Abstrak. Artikel ini menyajikan analisis dinamik operasi islanding pada sistem tarahan dengan tingkat penetrasi PV yang tinggi. Dalam konteks ini, operasi islanding merujuk pada kondisi di mana sebagian dari sistem distribusi terisolasi dari jaringan utama setelah terjadi gangguan. Studi ini mengkaji berbagai skenario dan parameter yang mempengaruhi stabilitas dan keandalan operasi islanding dalam sistem tarahan yang didominasi oleh PV. Metode analisis simulasi komprehensif digunakan untuk mengevaluasi dampak variabel seperti daya PV, konfigurasi jaringan, dan pengendalian aliran daya terhadap kestabilan sistem selama operasi islanding. Hasil analisis menunjukkan bahwa penetrasi PV yang tinggi dapat mempengaruhi dinamika operasi islanding secara signifikan, termasuk potensi masalah stabilitas frekuensi dan tegangan. Pengendalian aliran daya yang optimal dan penggunaan sumber daya baterai terdistribusi dapat menjadi solusi untuk mengatasi tantangan ini. Penelitian ini memberikan alternatif pertimbangan yang berharga bagi operator sistem tenaga listrik dan perancang sistem distribusi dalam menghadapi pertumbuhan penetrasi PV yang terus meningkat.

Abstract. In this paper, dynamic analysis of islanding operation in the Tarahan system with a high PV penetration rate is presented. In this case, islanding operation refers to a condition where a portion of the distribution system is isolated from the main network after a fault occurs. This study examines various scenarios and parameters that affect the stability and reliability of islanding operations in the Tarahan system dominated by solar power plants. A comprehensive simulation analysis method is used to evaluate the impact of variables such as PV power, network configuration, and power flow control on system stability during islanding operations. The results show that high PV penetration can significantly affect the dynamics of islanding operations, including potential frequency and voltage stability issues. Optimal power flow control and the use of distributed battery resources can be solutions to address these challenges. This research provides important alternative considerations for power system operators and distribution system designers in the face of growing PV penetration

1. PENDAHULUAN

Konsumsi energi listrik per kapita nasional di Indonesia mengalami peningkatan sebesar 178,6 GWh dari tahun 2015 yang hanya 909.91 GWh dengan rasio elektrifikasi 88,30% menjadi

1.099,51 GWh di tahun 2020 dengan rasio elektrifikasi sebesar 99,20% [1]. Posisi Indonesia yang berada digaris khatulistiwa memberikan keuntungan demografi untuk pemanfaatan energi matahari dikarenakan

memiliki intensitas cahaya matahari rata-rata tahunan yang relatif lebih baik dibandingkan negara-negara dengan posisi jauh dari garis katulistiwa.

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) memiliki kekhasan dibanding pembangkit konvensional yang memiliki bagian massa berputar, yakni tidak memiliki inersia. Selain itu, PLTS juga memiliki sifat *intermittent* yakni ketersediaan yang tidak terus menerus dan bahkan terkadang tidak tersedia saat dibutuhkan. Ketidakpastian ini dapat membuat sistem kehilangan keseimbangan daya apabila komposisi PLTS didalam sistem tidak direncanakan dengan baik [2]. Neraca daya pada UID Lampung masih terdapat kekurangan *supply* yang didatangkan dari sistem S2JB melalui sisi barat dan sisi timur pada sistem interkoneksi Sumsel – Lampung sebesar lebih kurang 200 MW [3] [4]. Salah satu upaya untuk mencukupi kebutuhan daya pada sistem Lampung direncanakan di masa mendatang pembangunan PLTS *on-grid* hingga 100 MW [3].

Untuk mengantisipasi dampak dari penetrasi PLTS dalam skala besar tersebut perlu dilakukannya studi untuk melihat performa sistem dengan masuknya pembangkit *low – inertia* tersebut terutama dalam kaitannya dengan sifat *intermittent* pembangkit yang bersangkutan dan kemungkinan kehilangan stabilan pada saat operasi *islanding* ketika sistem interkoneksi S2JB Lampung terputus. Lepasnya saluran interkoneksi Sumsel-Lampung akan berdampak terhadap penurunan kestabilan sistem dan dapat memicu efek domino yang menyebabkan sistem mengalami padam total. Untuk mencegah hal tersebut PLN menetapkan prosedur *islanding* tersebut didalam Pedoman Pemulihan Sistem Sumbagsel tahun 2022. Berdasarkan pedoman tersebut, terdapat 3 *island* pada sistem lampung, yaitu *island* lampung, *island* besai-ulubelu, dan *island* tarahan [5].

Mengacu kepada skenario pemulihan dalam Prosedur Operasi Standar (POS) tersebut, pada studi ini dilakukan analisa stabilitas dinamik pada sistem serta respon generator ketika terjadi perubahan dalam kondisi *islanding operation* pada sistem tarahan dengan adanya penetasi PV skala besar.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Secara definisi stabilitas sudut rotor adalah kemampuan mesin - mesin sinkron dalam sistem yang terinterkoneksi untuk tetap berada dalam keserempakan satu sama lain [6]. Perilaku sudut rotor pada sistem pada dan sesaat setelah gangguan bergantung pada besarnya konstanta inersia masing- masing mesin [7] [8].

Inersia rotor pada generator sinkron menentukan respon frekuensi terhadap ketidakseimbangan pada sistem. Ketika terjadi usikan, generator akan menyerap atau melepaskan energi kinetik ke dalam sistem untuk menahan penyimpangan frekuensi. Inersia berfungsi untuk meredam perubahan frekuensi [9].

Di sisi lain, penetrasi pembangkit dengan konstanta inersia rendah akan menurunkan total damping sistem yang pada akhirnya akan menurunkan efektifitas konstanta inersia pada masing – masing mesin konvensional untuk membatasi deviasi frequency [10], [11].

Ketidakseimbangan pembangkit dengan beban dijelaskan pada persamaan [12].

$$P_g - P_l = \frac{d(\frac{1}{2}J_{system}.\omega_{el}^2)}{dt} \quad (1)$$

Keterangan :

- P_g = daya generator,
- P_l = daya beban,
- J_{system} = inersia pada sistem,
- ω_{el} = frekuensi sudut.

Konstanta inersia (H_{gen}) merupakan Energi kinetik yang tersimpan dalam rotor generator, dinyatakan dengan :

$$H_{gen} = \frac{J_{gen}.\omega_{el,0}^2}{2.S_{gen}} \quad (2)$$

Keterangan :

- S_{gen} = daya semu nominal generator,
- $\omega_{el,0}$ = sistem frekuensi nominal,
- P = jumlah pasang kutub.

Islanding operation merupakan operasi pemisahan unit pembangkit dari sistem tenaga secara otomatis, dimana sistem tenaga hanya memikul beban terbatas sesuai dengan kemampuan unit pembangkitnya. Hal ini dilakukan apabila sebuah sistem mengalami gangguan [13] [14]. *Islanding operation* dapat dilakukan dengan membuka beberapa pemutus tenaga di gardu induk tertentu secara otomatis menggunakan UFR, sehingga terbentuk suatu sistem yang terisolasi dari sistem interkoneksi.

Suatu islanding operation dikatakan optimal apabila memiliki keseimbangan antara pembangkit dengan beban.

3. METODE PENELITIAN

Apabila daya beban dan daya pembangkit tidak seimbang, maka dapat mempengaruhi kualitas dan keandalan sistem tenaga listrik, sesuai dengan persamaan *swing* berikut ini [15]:

$$\frac{H}{180.F} \cdot \frac{d^2\delta}{dt^2} = P_m - P_e \quad (3)$$

Keterangan :

- H = Inersia konstan system
- F = Frekuensi
- P_m = Daya mekanik
- P_e = Daya elektrik
- δ = Percepatan sudut rotor

Level penetrasi *PV* ke *grid*, dinyatakan dengan rumus [16]:

$$\%PEN = \frac{P_{pv}}{P_{Load} + P_{Losses}} \times 100\% \quad (4)$$

Keterangan :

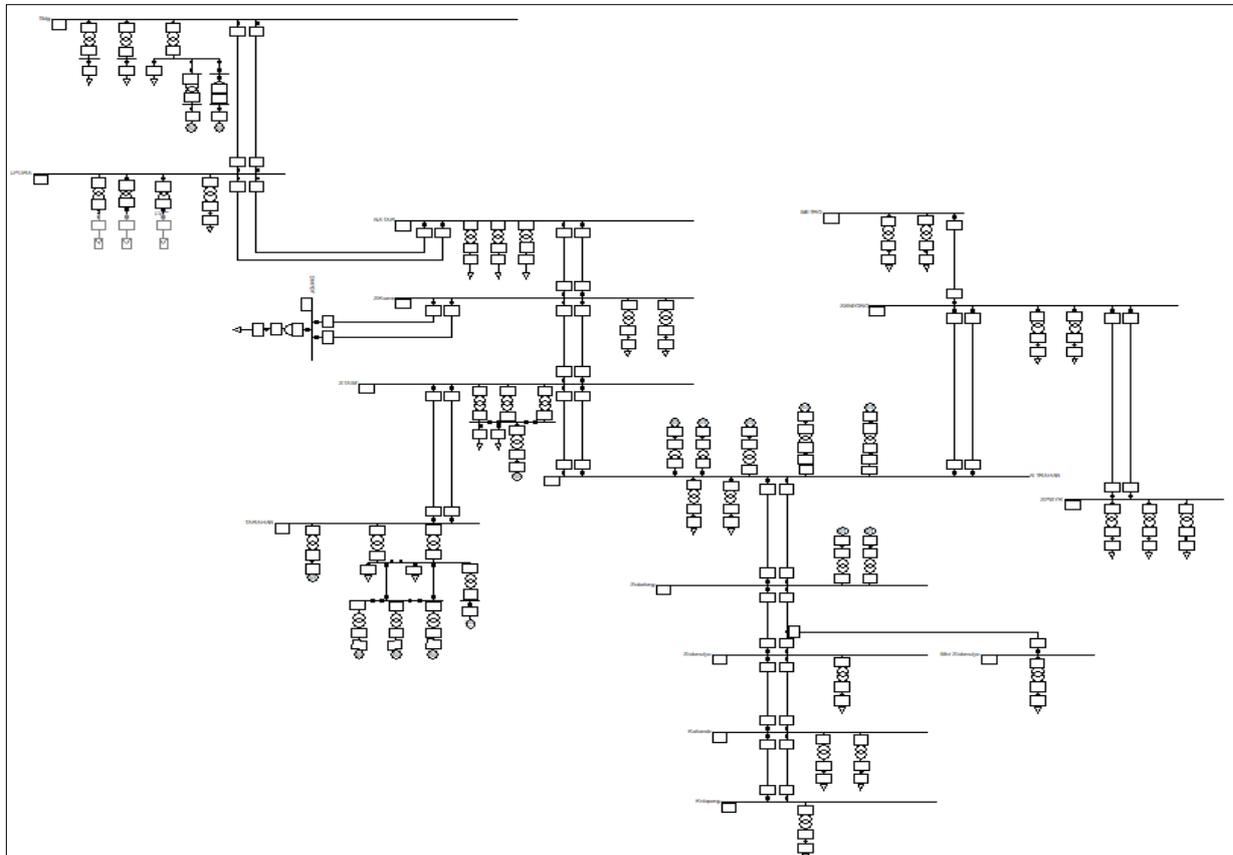
- %PEN = Level Penetrasi *PV*
- P_{pv} = Total Daya *PV* (MW)
- P_{Load} = Total Beban (MW)

P_{Losses} = Total rugi-rugi daya (MW)

Penelitian dilakukan dengan melakukan simulasi pada *Island Tarahan* yang terdiri dari 16 gardu induk, 22 unit pembangkit, dan 28 beban penyulang. *Island Tarahan* merupakan subsistem pada sistem lumpung yang terbentuk setelah terjadinya *islanding operation* pada sistem Lampung-Sumsel. *Single Line Diagram* pada Sistem Tarahan dapat dilihat pada Gambar 1 dan skenario pengujian dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Skenario

Skenario	Kondisi	Deskripsi Skenario
Skenario 1	0%, 10%, 20%, dan 30% Penetrasi PLTS	PLTU 3 New Tarahan padam
Skenario 2		PLTS Padam
Skenario 3		2 Saluran transmisi Sidomulyo-Kalianda <i>trip</i>
Skenario 4		Beban naik
Skenario 5	Berawan, hujan dan Gelap	PLTS <i>intermittent</i>



Gambar 1. *Single Line Diagram* Sistem Tarahan

Data pembangkit serta beban penyulang pada *Island Tarahan* dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2. Data pembangkit Sistem Tarahan

No	Pembangkit	Unit	Daya Mampu (MW)	Inersia (s)
1	PLTD 1 Teluk Betung	1	4,8	1,5
2	PLTD 2 Teluk Betung	1	3,2	1,5
3	PLTMG Sutami	1	26,4	4
4	PLTG Tarahan	1	16,8	7,04
5	PLTD Tarahan	1	8,4	1,5
6	PLTD 1.2.3 Tarahan	3	3x7,04	3 x 1,5
7	PLTD Tarahan	3	3x5,04	3 x 1,5
8	PLTU 1 & 2 Peltar	2	2x8,024	2 x 1,2
9	PLTU 3 NewTarahan	1	80	4,396
10	PLTU 4 NewTarahan	1	80	4,396
11	PLTMG sw 1 NewTarahan	1	24	4
12	PLTG 1.2 NewTarahan	2	2x20	2 x 7,04
13	PLTG 3.4 NewTarahan	2	2x20	2 x 7,04
14	PLTU 5 Sebalang	1	80	5,6
15	PLTU 6 Sebalang	1	80	5,6
Total		22	535,888	

Tabel 3. Data Beban Sistem Tarahan

No	Gardu Induk	Penyulang	Daya	
			MW	MVAR
1	Teluk Betung	1	26.4	8.1
		2	26.3	9
		3	24	8
2	Tarahan	1	9	2.9
		2	5.6	1.8
3	Sutami	1	12.6	3.7
		2	16.7	4.3

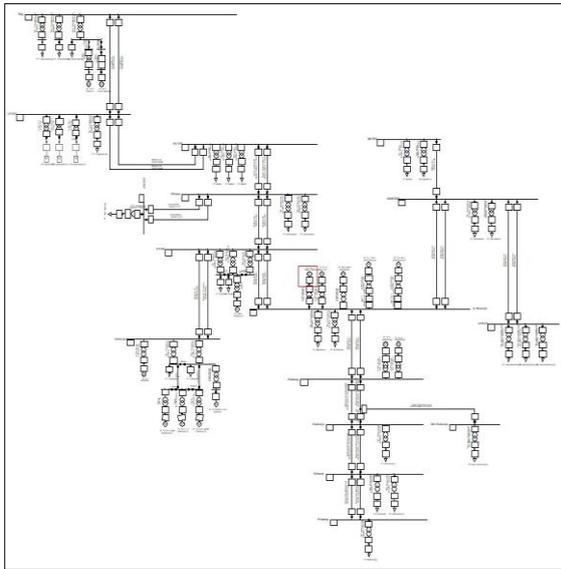
4	Natar	1	13.7	4.1
		2	14.6	4.9
		3	18.7	5.5
5	New Tarahan	1	19.1	6.5
		2	11.2	2.3
6	Kalianda	1	16.9	5.5
		2	6.9	1.5
7	Sukarame	1	20.3	4.8
		2	24.6	7.3
8	Sribawono	2	19.7	3.9
		3	21.3	6
9	Metro	1	26	7
		2	25	9
10	Seputih Banyak	1	23.34	10.75
		2	11.54	4.11
		3	11.11	3.73
11	Langkapura	1	9.1	2.6
12	Jati Agung	1	7.9	2.5
13	Ketapang	1	10.2	3.2
14	Sidomulyo	1	8	3.2
15	Sebalang	-	-	-
16	Mini Sidomulyo	1	-	-
Total		46	439.79	136.19

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

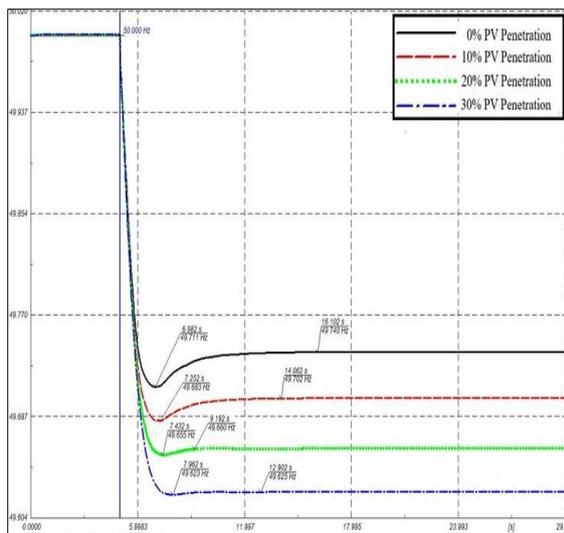
Setelah dilakukan simulasi dengan berbagai skenario, maka didapatkan hasil respon frekuensi sistem, yaitu :

4.1 PLTU 3 New Tarahan Padam

Skenario ini bertujuan untuk mengetahui respon sistem ketika PLTU 3 New Tarahan mengalami pemadaman (66,42 MW). *Single Line diagram* pada skenario PLTU 3 New Tarahan padam dapat dilihat pada Gambar 2 akan dibandingkan respon sistem terhadap pemadaman PLTU 3 New Tarahan ketika sistem tarahan tanpa adanya penetrasi PLTS, dan dengan adanya penetrasi PLTS (level penetrasi 10%, 20%, dan 30%). Perbandingan ini bertujuan untuk mengetahui adanya perubahan kemampuan respon sistem apabila PLTS sudah dihubungkan ke sistem tarahan. Simulasi dilakukan dengan rentang waktu $t=30s$, yang kemudian gangguan disimulasikan terjadi pada $t=5s$.



Gambar 2. Skenario PLTU 3 New Tarahan Padam

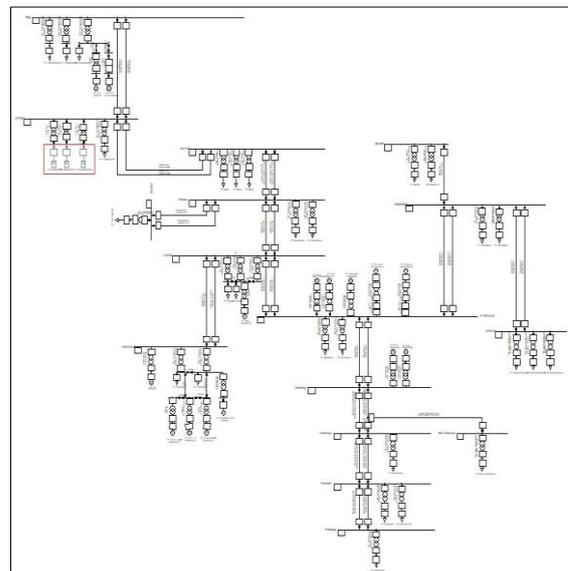


Gambar 3. Respon frekuensi pada saat PLTU 3 New Tarahan Padam

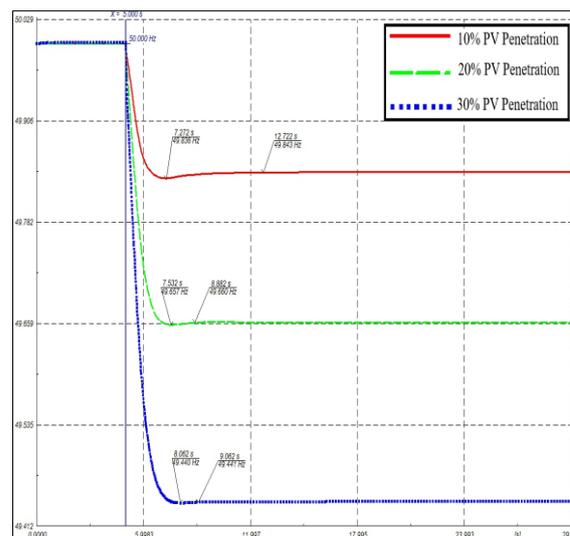
Respon frekuensi pada Gambar 3 Perubahan frekuensi disebabkan oleh ketidakseimbangan antara pembangkit dan beban dari sistem. Ketika sistem tidak dipenetrasi oleh PV maka frekuensi *droop* adalah 49.711 Hz pada waktu $t=6,982s$ dan akan mencapai titik frekuensi stabil baru nya sebesar 49.740 Hz pada waktu $t=16,102s$. Sedangkan, ketika sistem dipenetrasi oleh PV sebesar 10%, 20%, dan 30%, maka frekuensi *droop* tertinggi dicapai sebesar 49,623 Hz pada waktu $t=7,962s$ dan mencapai frekuensi stabil sebesar 49.623 Hz pada waktu $t=12,902s$ yaitu saat level penetrasi sebesar 30%. Dengan demikian, baik sistem

dipenetrasi oleh PV atau tidak, ketika dipembangkit mengalami pemadaman (*generator outage*) frekuensi mampu kembali stabil dikarenakan *spinning reserve* yang dimiliki oleh pembangkit pada sistem tarahan mencukupi dan sistem akan mengalami pergeseran dari frekuensi awal dimana semakin besar level penetrasi PV maka pergeseran frekuensi (*overshoot*) akan semakin besar (*droop*), yang disebabkan oleh inersia sistem yang semakin rendah ketika level penetrasi PLTS semakin besar.

4.2 PLTS Padam



Gambar 4. Skenario PLTS Padam



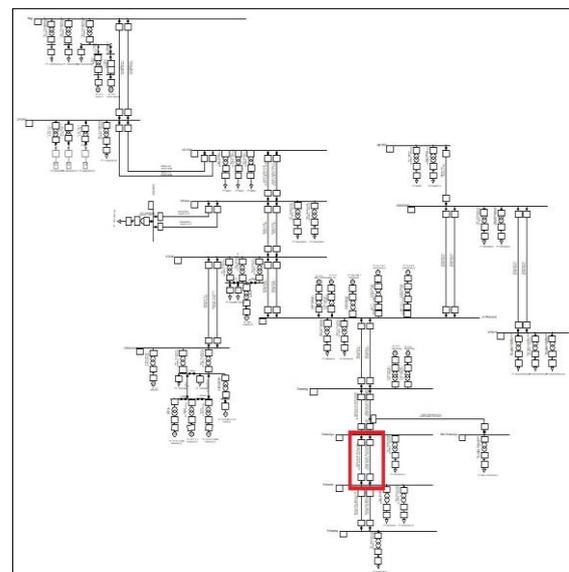
Gambar 5. Respon Frekuensi pada saat PLTS Padam

Skenario ini bertujuan untuk mengetahui respon sistem ketika PLTS mengalami pemadaman (*droop* 100%) dikarenakan adanya kerusakan pada peralatan PLTS. *Single Line diagram* pada skenario PLTS padam dapat dilihat pada Gambar 4 akan dibandingkan respon frekuensi sistem terhadap PLTS padam (*droop* 100%) sesuai dengan level penetrasi. Perbandingan ini bertujuan untuk mengetahui adanya perubahan kemampuan respon sistem apabila PLTS sudah dihubungkan ke sistem tarahan. Simulasi dilakukan dengan rentang waktu $t=30s$, yang kemudian gangguan disimulasikan terjadi pada $t=5s$.

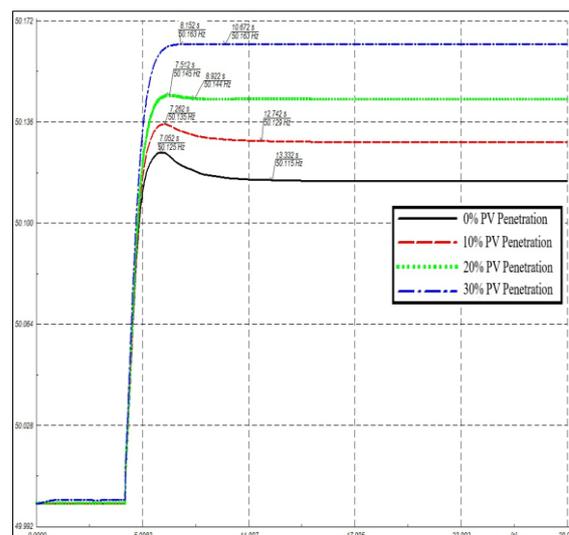
Respon frekuensi pada waktu $t=5s$ ditunjukkan pada perubahan frekuensi pada Gambar 5 disebabkan oleh ketidakseimbangan antara daya pembangkit dan daya beban dari sistem sehingga frekuensi mengalami penurunan ketika PLTS mengalami pemadaman total. Ketika sistem dipenetrasi oleh PV sebesar 10% dan PLTS mengalami pemadaman maka frekuensi mengalami penurunan (*droop*) mencapai 49,836 Hz pada waktu $t=7,272s$ dan akan mencapai titik frekuensi stabil baru nya yaitu 49,843 Hz pada waktu $t=12,722s$. Ketika sistem dipenetrasi oleh PV sebesar 20%, maka frekuensi mengalami penurunan mencapai 49.657 Hz pada waktu $t=7,532Hz$ dan mencapai titik frekuensi stabil baru yaitu 49,66 Hz pada waktu $t=8,882s$. ketika sistem dipenetrasi oleh PV sebesar 30%, maka frekuensi mengalami penurunan (*droop*) mencapai 49,440 Hz pada waktu $t=8,062s$ dan mencapai frekuensi stabil yaitu 49.441 Hz pada waktu $t=9,062s$. Dengan demikian, ketika PLTS mengalami pemadaman (*droop* 100%) frekuensi mampu kembali stabil dikarenakan *spinning reserve* yang dimiliki oleh pembangkit mencukupi dan sistem akan mengalami pergeseran dari frekuensi awal dimana semakin besar level penetrasi PV maka pergeseran frekuensi (*droop*) semakin besar, yang disebabkan oleh inersia sistem akan semakin rendah jika level penetrasi PV semakin besar.

4.3 2 Saluran Transmisi Sidomulyo – Kalianda Trip

Single Line diagram pada skenario 2 saluran transmisi Sidomulyo – Kalianda *trip* dapat dilihat pada Gambar 6 simulasi dilakukan dengan 4 kondisi, gangguan disimulasikan terjadi pada $t=5s$.



Gambar 6. Skenario 2 Saluran Transmisi Sidomulyo - Kalianda Trip

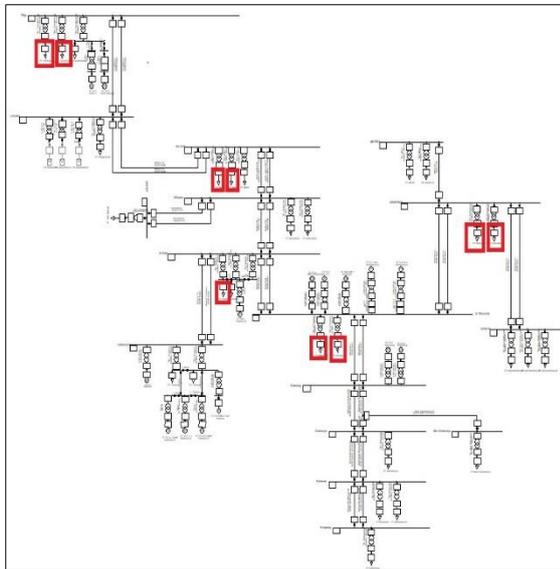


Gambar 7. Respon Frekuensi pada Saat 2 Saluran Transmisi Sidomulyo - Kalianda Trip

Perubahan frekuensi pada Gambar 7 disebabkan oleh ketidakseimbangan antara pembangkit dan beban dari sistem. Ketika sistem tidak dipenetrasi oleh PV maka frekuensi *overshoot* adalah 50,125 Hz pada waktu $t=7,052s$ dan akan mencapai titik frekuensi stabil baru nya sebesar 50,115 Hz pada waktu $t=13,332s$. Sedangkan, ketika sistem dipenetrasi oleh PV sebesar 10%, 20%, dan 30%, maka frekuensi *overshoot* tertinggi dicapai sebesar 50,163 Hz pada waktu $t=8,152s$ dan mencapai frekuensi stabil sebesar 50,163 Hz pada waktu $t=10,672s$ yaitu saat level penetrasi sebesar 30%. Dengan demikian, baik

sistem dipenetrasi oleh PV atau tidak, ketika 2 saluran transmisi *trip* frekuensi mampu kembali stabil dikarenakan daya cadangan (*spinning reserve*) yang dimiliki oleh pembangkit pada sistem tarahan mencukupi dan sistem akan mengalami pergeseran dari frekuensi awal dimana semakin besar level penetrasi PV maka pergeseran frekuensi (*overshoot*) akan semakin besar (*droop*) dan waktu mencapai titik frekuensi *overshoot* semakin lama, yang disebabkan oleh inersia sistem yang semakin rendah ketika level penetrasi PLTS semakin besar.

4.4 Beban Naik

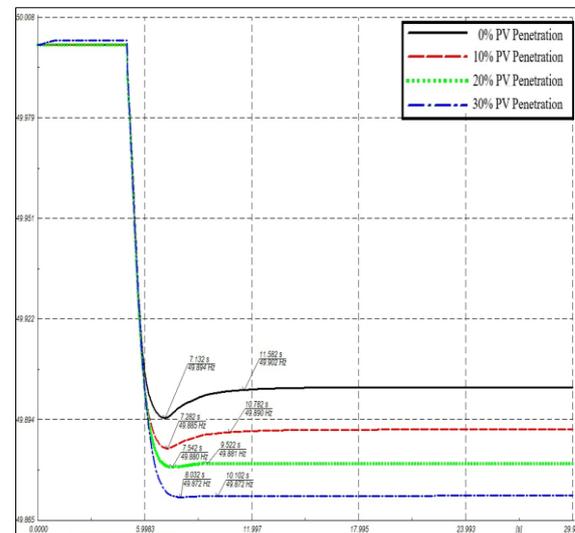


Gambar 8. Skenario Beban Naik

Single Line diagram pada skenario 2 saluran transmisi Sidomulyo – Kalianda *trip* dapat dilihat pada Gambar 8 terdapat 9 beban penyulang naik sebesar 32,98 MW, simulasi dilakukan dengan 4 kondisi, gangguan disimulasikan terjadi pada $t=5s$.

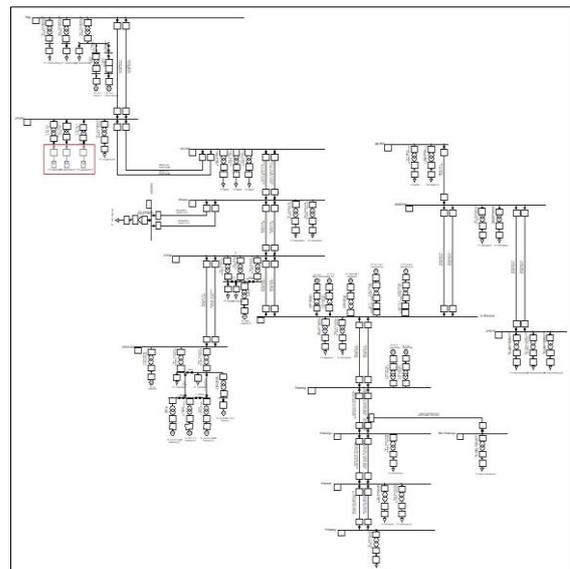
Perubahan frekuensi pada Gambar 9 disebabkan oleh ketidakseimbangan antara pembangkit dan beban dari sistem. Ketika sistem tidak dipenetrasi oleh PV maka frekuensi *overshoot* adalah 49,894 Hz pada waktu $t=7,132s$ dan akan mencapai titik frekuensi stabil baru nya sebesar 49,902 Hz pada waktu $t=11,582s$. Sedangkan, ketika sistem dipenetrasi oleh PV sebesar 10%, 20%, dan 30%, maka frekuensi *overshoot* tertinggi dicapai sebesar 49,872 Hz pada waktu $t=8,032s$ dan mencapai frekuensi stabil sebesar 48,872 Hz pada waktu $t=10,102s$ yaitu saat level

penetrasi sebesar 30%. Dengan demikian, baik sistem dipenetrasi oleh PV atau tidak, ketika beban mengalami kenaikan maka frekuensi mampu kembali stabil dikarenakan daya cadangan (*spinning reserve*) yang dimiliki oleh pembangkit pada sistem tarahan mencukupi dan sistem akan mengalami pergeseran dari frekuensi awal dimana semakin besar level penetrasi PV maka pergeseran frekuensi (*overshoot*) akan semakin besar (*droop*) dan waktu mencapai titik frekuensi *droop* semakin lama, yang disebabkan oleh inersia sistem yang semakin rendah ketika level penetrasi PLTS semakin besar.



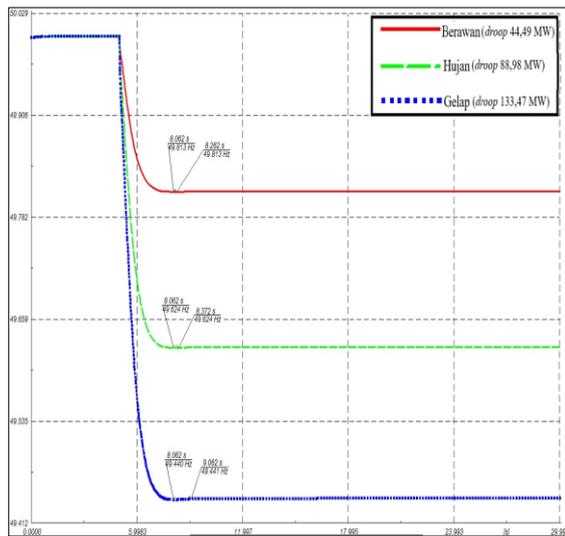
Gambar 9. Respon Frekuensi pada saat Beban Naik

4.5 PLTS Intermittent



Gambar 10. Skenario PLTS Intermittent

Single Line diagram pada skenario PLTS Intermittent dapat dilihat pada Gambar 10 PLTS mengalami *intermittent*, simulasi dilakukan dengan 3 kondisi yaitu pada saat PLTS berawan (*drop* 44,49 MW), PLTS gelap (*drop* 88,98 MW), dan PLTS hujan (*drop* 133,47 MW) gangguan disimulasikan terjadi pada $t=5s$.



Gambar 11. Respon Frekuensi pada saat PLTS Intermittent

Respon perubahan frekuensi pada Gambar 11 disebabkan oleh ketidakseimbangan antara daya pembangkit dan daya beban dari sistem sehingga frekuensi mengalami penurunan ketika PLTS mengalami perubahan daya. Ketika PLTS mengalami *droop* sebesar 44,49 MW maka frekuensi akan mengalami penurunan (*overshoot*) mencapai 49,813 Hz pada waktu $t=8,062s$ dan akan mencapai titik frekuensi stabil baru nya yaitu 49,813 Hz pada waktu $t=8,262s$. Ketika PLTS mengalami *droop* sebesar 88,98 MW maka frekuensi mengalami penurunan mencapai 49,624 Hz pada waktu $t=8,062s$ dan mencapai titik frekuensi stabil baru yaitu 49,624 Hz pada waktu $t=8,372s$. ketika PLTS mengalami *droop* sebesar 133,47 MW maka frekuensi mengalami penurunan (*overshoot*) mencapai 49,44 Hz pada waktu $t=8,062s$ dan mencapai frekuensi stabil yaitu 49,441 Hz pada waktu $t=9,062s$. Dengan demikian, ketika PLTS mengalami *droop* hingga 100% frekuensi mampu kembali stabil dikarenakan *spinning reserve* yang dimiliki oleh pembangkit mencukupi dan sistem akan mengalami pergeseran dari frekuensi awal

dimana semakin besar jumlah gangguan maka pergeseran frekuensi (*overshoot*) semakin besar, dan waktu mencapai titik *overshoot* ialah sama dikarenakan jumlah inersia pada sistem sama.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan dengan berbagai skenario, dapat disimpulkan bahwa *island* tarahan ketika terjadi injeksi dengan level penetrasi PV sebesar 0 - 30% saat terjadinya perubahan pada sistem, respon frekuensi dan tegangan sistem akan kembali stabil ketitik *equilibrium* baru. Akan tetapi, semakin besar level penetrasi PV maka frekuensi *droop* dan tegangan *droop* akan semakin tinggi atau semakin menjauhi frekuensi dan tegangan awal sistem. Hal ini disebabkan karena inersia sistem semakin berkurang ketika penetrasi PV semakin besar, yang menyebabkan sistem semakin sulit untuk meredam pergeseran frekuensi dan tegangan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. C. N. Sansuadi, Statistik Ketenagalistrikan Tahun 2020, Jakarta: Kementrian Energi & Sumber Daya Mineral, 2021.
- [2] R. M. G. S. E. M. J. Khoury, "Predictive demand side management of a residential house under intermittent primary energy source conditions,," *Ennergy and Buildings*, vol. 112, pp. 110-120, 2016.
- [3] P. PLN, "RUPTL PLN 2018 - 2027,," PT. PLN, Jakarta, 2018.
- [4] P. P. (Persero), "Statistik PLN 2021 (Unadited),," PT. PLN (Persero), Jakarta, 2022.
- [5] P. PLN, "Pedoman Pemulihan Sistem Tenaga Listrik Sumbagsel,," PT. PLN Unit Pelaksana Pengatur Beban Sumbagsel, Palembang, 2022.
- [6] P. Kundur, Power System Stability and Control, USA: McGraw-Hill, 1994.
- [7] O. A. T. A. Ngyarmunta Alan Auda, "Effect of Inertia Constant on Generator Frequency and Rotor Angle,," *Engineering and Applied Sciences*, pp. 6-11, 2018.

- [8] a. F. G.-L. Ashish Shrestha, "Parametric Sensitivity Analysis of Rotor Angle Stability Indicators," *Energies*, 2021.
- [9] H.-R. Hasan Amini, "Using the Rate of Change of Frequency and Threshold Frequencies in Load Shedding in a DG - FED Islanded System," *Annals of the Faculty of Engineering Hunedora*, 2013.
- [10] A. B. S. G. F. B. Davide del Giudice, "Effect of inertia, load damping and dead-bands on frequency histograms and frequency control of power systems," *International Journal of Electrical Power and Energy System*, 2021.
- [11] R. L. T. J. Dinesh Pattabiraman, "Comparison of Grid Following and Grid Forming Control for a High Inverter Penetration Power System," *IEEE Power & Energy Society General Meeting (PESGM)*, pp. 1-5, 2018.
- [12] D. V. H. Pieter Tielens, "Grid Inertia and Frequency Control in Power System with High Penetration of Renewables," *Young Researches Symposium in Electrical Engineering, Location : Delfi, The Netherlands*, 2012.
- [13] H.-R. Hasan Amini, "Using the Rate of Change of Frequency and Threshold Frequencies in Load Shedding in a DG - FED Islanded System," *Annals of the Faculty of Engineering Hunedora*, no. 11(4), 2013.
- [14] T. K. L. a. S. K. K. N. C. Y. Chan, "An Impact Study of ROCOF Relays for Islanding Detection," in *IET Advances in Power System Control, Operational and Management (APSCOM)*, Hongkong, 2015.
- [15] B. S. Padhi, "Solution of swing equation for transient stability analysis in dual-machine system," *IOSR Journal of Engineering*, pp. 34-39, 2015.
- [16] W. M. G. Mehdi Ebad, "An Approach for Assessing High-Penetration PV Impact on Distribution Feeder," *Electric Power System Research*, vol. 133, pp. 347-354, 2016.