

OPTIMASI SISTEM TENAGA LISTRIK DI INDUSTRI UNTUK MENGANTISIPASI PENAMBAHAN BEBAN DAN PENETRASI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) SOLAR FOTOVOLTAIK

M. Aldrin Julianto, Iwa Garniwa

Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Indonesia

Email: m.aldrin@ui.ac.id, aldrinjuliant1989@gmail.com

Abstrak

Energi listrik yang memiliki kualitas daya yang baik dan andal menjadi faktor yang sangat vital untuk mendukung iklim dunia industri yang kompetitif. Pada sektor industri yang memiliki sistem tenaga listrik *off grid*, sangat penting untuk mengetahui seberapa optimal dan andal sistem tenaga listriknya untuk mengantisipasi penambahan beban di masa mendatang tidak mengganggu kualitas dan stabilitas sistem. Kemampuan sistem tenaga listrik di industri untuk menyesuaikan terhadap permintaan beban di masa mendatang tidak mudah karena keterbatasan pembangkit listrik yang terhubung pada sistem. Selain itu dengan memperhatikan perkembangan penetrasi penggunaan energi terbarukan seperti Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) solar fotovoltaik yang semakin meluas dapat mempengaruhi stabilitas sistem tenaga listrik karena sifat intermitensi dan ketersediaannya yang tidak bisa diperkirakan. Sehingga ketika daya PLTS hilang secara mendadak dapat mengakibatkan stabilitas frekuensi sistem mengalami penurunan dan dibutuhkan respon yang cepat dari pembangkit listrik yang ada pada sistem untuk menghindari pemadahan total. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis bagaimana optimasi yang dapat dilakukan pada sistem tenaga listrik di industri untuk dapat mengantisipasi proyeksi penambahan beban di masa depan dan penetrasi PLTS solar fotovoltaik ke sistem agar tidak mengurangi kualitas daya dan keandalan sistem dengan melakukan pemodelan pada studi kasus sistem tenaga listrik di PT Pusri Palembang dengan menggunakan perangkat lunak *Electrical Transient Analyzer Program* (ETAP).

Kata Kunci: Optimasi sistem tenaga, energi terbarukan, PLTS solar fotovoltaik, industri, keandalan, stabilitas

Abstract

The need of power system quality and stability is one of the most important thing to increase productivity and competitiveness in industrial process. Some industries have off grid electrical power systems, therefore it is important to know how optimal and reliable the electrical power system to supply load requirements in the future. Since power generation connected to system is limited, so the flexibility of power system in industry is low. In addition, the rapid development of penetration of

How to cite:	M. Aldrin Julianto, Iwa Garniwa (2022) Optimasi Sistem Tenaga Listrik Di Industri Untuk Mengantisipasi Penambahan Beban Dan Penetrasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Solar Fotovoltaik, Syntax Literate: Jurnal Ilmiah Indonesia, (7) 10.
E-ISSN:	2548-1398
Published by:	Ridwan Institute

renewable energy source such as solar photovoltaic has an impact of power system stability and quality because of its intermittent, availability, and grid related problems. So when the electrical power from solar photovoltaic is suddenly lost, a frequency instability phenomenon will occur and need fast response of conventional synchronous generator to prevent power system blackout. The objective of this research was to study power system optimization in industry in terms of quality and stability by considering future load demand and penetration rate of solar photovoltaic by modeling and simulation using Electrical Transient Analyzer Program (ETAP) software.

Keywords: *Power system optimization, stability, quality, renewable energy, solar photovoltaic.*

Pendahuluan

Sektor industri merupakan salah satu sektor yang mempunyai dampak pada kinerja pertumbuhan ekonomi. Untuk mendukung proses industrialisasi, ketersediaan energi menjadi salah satu faktor yang penting dalam meningkatkan produktifitas dunia industri. Energi listrik yang memiliki kualitas daya yang andal mempunyai faktor yang sangat vital untuk mendukung iklim industri yang kompetitif. Kualitas daya dalam sistem tenaga listrik di sektor industri menjadi sangat penting karena dapat mempengaruhi performa peralatan sampai dengan efisiensi dalam proses produksi. Tingginya beban induktif pada industri telah menyebabkan permasalahan kualitas daya pada sistem tenaga listrik (Bhagavathy et al., 2018). Permasalahan-permasalahan karena rendahnya faktor daya pada sistem membuat tingginya arus, panas, susut yang tinggi, serta rendahnya efisiensi pada sistem (Waterton et al., 2012). Pengaruh kualitas daya pada industri antara lain: berhentinya aktivitas produksi, kehilangan potensi keuntungan, meningkatnya biaya produksi, penggunaan energi yang tidak efisien, serta mengurangi usia pakai peralatan (Muhamad et al., 2007).

Pada industri yang memiliki sistem tenaga listrik terpisah dari *grid*, pada umumnya memiliki beberapa pembangkit listrik yang terhubung secara paralel lalu didistribusikan ke masing-masing beban. Beban di industri memiliki karakteristik di mana umumnya tidak memiliki perbedaan yang signifikan antara beban dasar dan beban puncak yang dikarenakan proses produksi berlangsung 24 jam secara kontinyu sepanjang tahun. Sehingga sangat penting untuk menjaga kualitas daya listrik sesuai dengan besaran dan standar yang ada agar setiap peralatan dapat bekerja secara optimal. Sebagian industri di Indonesia memiliki sistem tenaga listrik yang terpisah dari jaringan nasional yang ada, beberapa sistem tersebut dapat terhubung ada yang terhubung dengan *grid* nasional dan ada juga yang berdiri sendiri serta tidak terhubung dengan *grid* (Mulyani & Hartono, 2018). Untuk industri yang kebutuhan energi listriknya tidak menggunakan *grid* nasional memiliki keterbatasan untuk menambah kebutuhan energi listrik karena keterbatasan pembangkit listrik yang ada. Sehingga sangat penting untuk mengetahui berapa beban maksimal yang dapat dipenuhi oleh sistem tenaga listrik di industri dengan tetap mempertahankan kualitas daya pada sistem.

Selain itu, perkembangan energi terbarukan dengan meningkatnya penetrasi

energi listrik yang berasal dari sumber energi terbarukan seperti Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) solar fotovoltaik yang memiliki tingkat intermitensi yang tinggi dan ketersediaan yang tidak kontinu akan sangat berpengaruh dalam stabilitas daya listrik, khususnya di dunia industri (Garniwa et al., 2019). Setiap perkembangan teknologi tentunya mempunyai tantangan-tantangan tersendiri. Salah satu permasalahan yang dihadapi ketika menggunkan PLTS Solar fotovoltaik adalah *availability* atau ketersediaan radiasi sinar matahari yang ada dan sifatnya yang intermiten. Keterbatasan ini menyebabkan fluktuasi yang tinggi yang akan berdampak pada kualitas daya pada sistem tenaga listrik (Garniwa et al., 2019). Oleh karena itu mengetahui respon stabilitas frekuensi menjadi sangat penting dalam pengembangan sistem tenaga listrik yang terintegrasi dengan sumber pembangkit yang berasal dari energi terbarukan (Hudaya et al., 2021).

PLTS solar fotovoltaik merupakan jenis pembangkit listrik yang tidak memiliki inersia seperti pembangkit yang berbasis turbin generator. Hal ini membuat inersia total pada sistem tenaga listrik berkurang sehingga mempengaruhi performa sistem dan stabilitas transien ketika terjadi gangguan atau kebutuhan beban yang tinggi. Untuk itu sangat penting untuk mengetahui dampak dalam sisi teknis dari tingginya penetrasi PLTS solar fotovoltaik pada performa sistem tenaga listrik (Chathurangi et al., 2018). Dengan adanya penetrasi PLTS solar fotovoltaik ke dalam sistem tenaga listrik industri akan menyebabkan fluktuasi pada pembangkit listrik pada sistem tenaga (Anup et al., 2017). Dengan sifat intermitensi dan ketersediaan yang tidak bisa diprediksi, maka ketika daya PLTS hilang secara mendadak akan mengakibatkan perlunya respon yang baik dari pembangkit listrik yang ada pada sistem untuk merespon kehilangan daya yang terjadi secara mendadak (Dhlamini & Chowdhury, 2018).

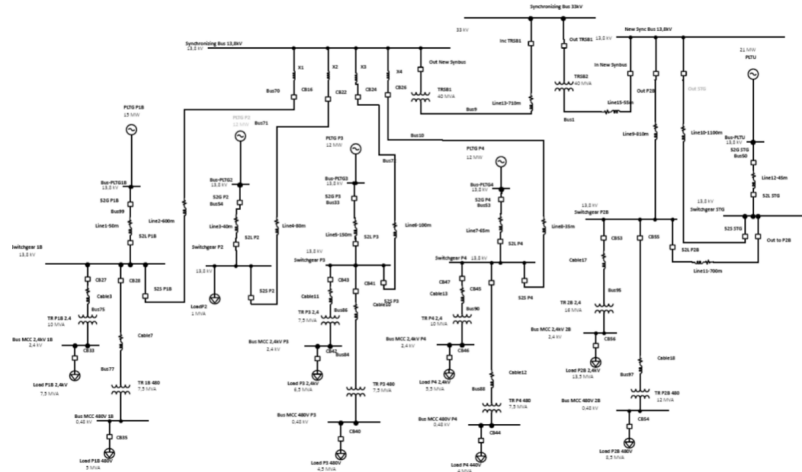
Pada penelitian ini akan melakukan analisis dan optimasi pada sistem tenaga listrik di industri dengan membahas studi kasus pada sistem tenaga listrik di PT Pusri Palembang. Penelitian ini dilakukan dengan mempertimbangkan proyeksi penambahan beban yang dapat dilakukan pada sistem tenaga listrik serta memproyeksikan dampak penetrasi PLTS solar fotovoltaik dari sisi kualitas daya dan keandalan sistem dengan mengacu pada standar *IEEE Std 1159-2017* (Anup et al., 2017) dan *IEEE Std C37.106-2003* (Association, 2009). Metode yang dilakukan dalam penelitian ini adalah dengan cara melakukan simulasi beberapa mode operasi, serta melakukan estimasi penambahan beban maksimal yang dapat dilakukan pada sistem tenaga listrik di masa depan dan melakukan analisis seberapa besar penetrasi PLTS solar fotovoltaik yang paling optimal sehingga tidak berdampak pada kualitas daya dan stabilitas sistem tenaga listrik di industri. Simulasi pada penelitian ini akan menggunakan fitur analisis yang ada pada perangkat lunak ETAP versi 19.2.

Metode Penelitian

Pada penelitian ini yang akan membahas sistem tenaga listrik di industri dengan studi kasus pada PT Pusri Palembang. Pada sistem tenaga listrik tersebut terdapat 5 pembangkit listrik yang terdiri dari 1 Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) dengan

Optimasi Sistem Tenaga Listrik Di Industri Untuk Mengantisipasi Penambahan Beban Dan Penetrasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Solar Fotovoltaik

kapasitas daya mampu netto 20MW, 3 Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) dengan kapasitas daya mampu netto masing-masing 12MW dan 1 PLTG dengan kapasitas daya mampu 15MW. Pembangkit listrik ini terhubung secara paralel untuk menyuplai beban 4 total beban rata-rata sebesar 45MW. Gambaran sistem tenaga listrik terlihat pada single line diagram pada gambar 1.



Gambar 1
Pemodelan Sistem Tenaga Listrik Menggunakan ETAP

Pada penelitian ini akan dilakukan analisis aliran daya ketika dilakukan simulasi penambahan beban seperti yang dideskripsikan pada tabel 1. Selanjutnya akan dilakukan perbandingan pengaruh dari penambahan beban di tiga titik yang berbeda yaitu pada bus *switchgear* Syn bus 13,8kV, New syn bus 13,8kV, Syn bus 33kV. Setelah dilakukan simulasi akan dilakukan analisis tegangan jatuh dan susut pada setiap mode operasi.

Tabel 1
Skenario Persentase Penambahan Beban pada Sistem

<i>Load type</i>	Persentase Penambahan Beban				
	20%	40%	60%	80%	100%
	Maksimum Penambahan Beban (MW)				
Penambahan beban	5,17	10,28	15,32	20,25	24,9
<i>Existing load</i>	45	45	45	45	45
Total beban	50,17	55,28	60,32	65,25	69,9

Selanjutnya, akan dilakukan analisis aliran daya dan analisis stabilitas transien ketika dilakukan penetrasi PLTS solar fotovoltaik dengan beberapa skenario seperti yang dijelaskan pada tabel 2. Analisis stabilitas transien dilakukan dengan cara melakukan *load rejection test* ketika pada beban maksimal PLTS pada masing-masing persentase penetrasi.

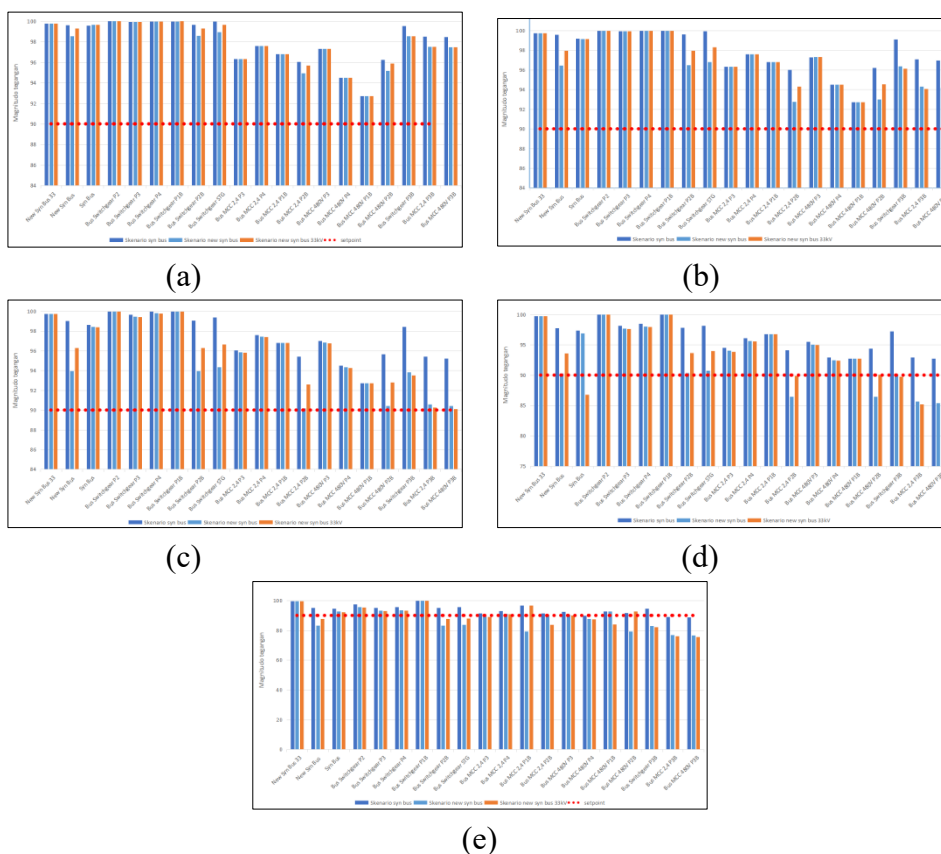
Tabel 2

Skenario Penetrasi Penambahan PLTS Solar Fotovoltaik

Penambahan Beban	Persentase Penetrasi PLTS Solar Fotovoltaik				
	20%	40%	60%	80%	100%
	Maksimum Pembangkitan(MW)				
PLTS solar fotovoltaik	2,4	4,8	7,2	9,6	12
PLTG P3	7	7	6	6	5
PLTG P4	7	7	6	6	5
PLTG P1B	11,74	8,58	8,18	5,85	5,4
PLTU P2B	20	20	20	20	20
PLTG P2	<i>cold reserve</i>				

Hasil dan Pembahasan

Pada analisis penambahan beban pada sistem, dilakukan penambahan secara bertahap dimulai dari 20%, 40%, 60%, 80%, dan 100% dari cadangan putar yang tersedia pada kondisi beban saat ini. Gambar 2 menunjukkan hasil simulasi yang menunjukkan tegangan pada masing-masing bus pada saat penambahan beban dilakukan.



Gambar 2
Tegangan Jatuh Pada Masing-Masing Bus Switchgear Saat Penambahan Beban
(a)20% (b) 40% (c) 60% (d) 80% (e) 100%

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan didapatkan penambahan beban yang mampu ditanggung oleh sistem tanpa adanya peralatan yang mengalami kelebihan beban dan *drop* tegangan di tiap-tiap bus adalah penambahan beban sebesar 80% atau sampai dengan 20,8MW. Serta penambahan beban tersebut dilakukan pada bus switchgear Syn bus 13,8kV.

Tabel 3
Tegangan Jatuh, dan Susut Ketika Penambahan Beban

	Persentase Penambahan Beban				
	20%	40%	60%	80%	100%
	Maksimum Penambahan Beban (MW)				
Tegangan jatuh maksimal (%)	7,3	7,3	7,3	7,3	11,3
<i>faktor daya</i> minimum	0,72	0,74	0,75	0,74	0,64
Susut maksimal (MW)	0,45	0,54	0,53	0,63	0,76

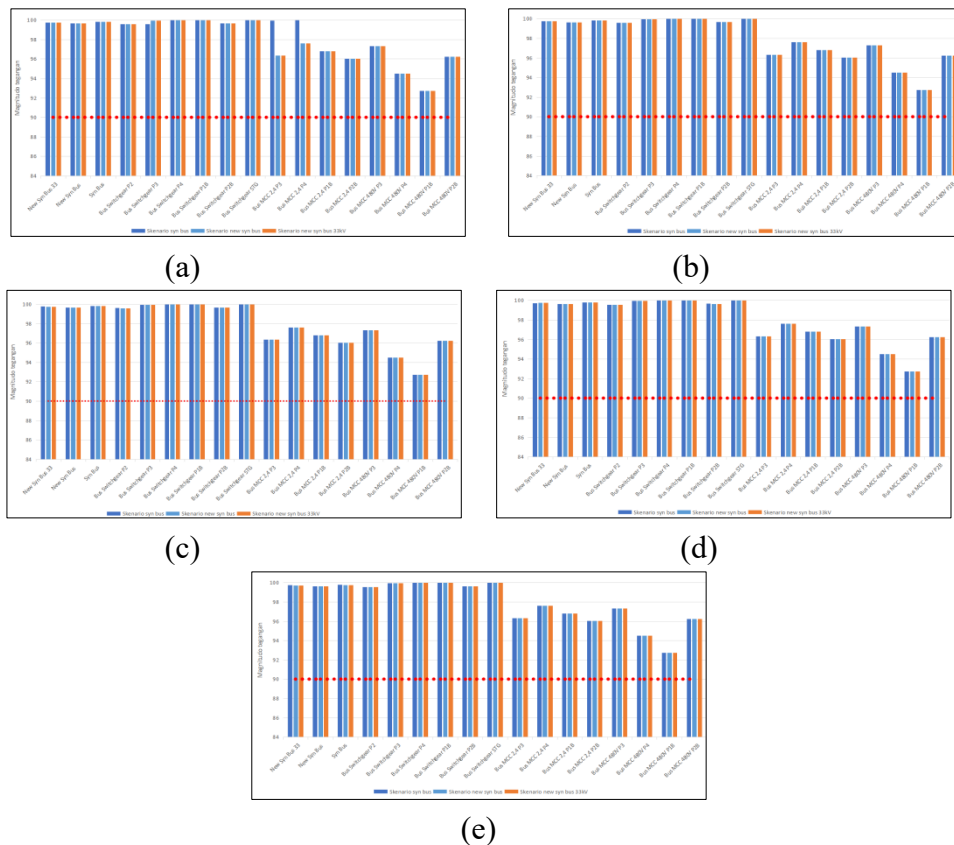
Dengan melakukan penambahan beban maksimal 80% dari cadangan putar pada switchgear Syn bus 13,8kV tegangan jatuh paling tinggi sebesar 2,7% bus switchgear Syn bus untuk level tegangan 33kV dan 13,8kV. Sedangkan pada sisi bus beban 2,4 KV dan 480V drop tegangan paling tinggi masing-masing 7,3% yang terjadi pada bus beban 2,4kV P3B dan 480V P1B. Tegangan jatuh tersebut masih masuk dalam kategori normal sesuai dengan standar IEEE Std 1159-2019. Dari sisi susut pada mode operasi ini terdapat total susut daya aktif sebesar 0,63MW. Semua pembangkit listrik mempunyai *faktor daya* yang baik berkisar antara 0,74 sampai dengan 0,85 sehingga efisiensi operasi masing-masing pembangkit masih terjaga dengan baik.

Sistem masih mampu bekerja dengan baik ketika beban ditambah sebesar 20,8 MW meskipun dengan melakukan mode operasi menjalankan semua pembangkit yang ada. Dengan mode operasi seperti ini sistem mampu beroperasi dengan normal dengan memiliki cadangan putar sebesar 3,5 MW sehingga sistem masih dapat mengatasi fluktuasi beban dengan besaran di bawah cadangan putar tersebut. Sebagai konsekuensinya dengan menjalankan semua pembangkit listrik yang ada, pengaturan sistem pelepasan beban harus dihitung dengan cermat agar ketika terjadi gangguan baik pada sisi pembangkit, sisi transmisi, maupun sisi distribusi sistem dapat kembali normal dan tidak menyebabkan *blackout* total.

Penambahan beban sebesar 80% menjadi yang paling optimal, karena ketika dilakukan penambahan beban melebihi persentase tersebut membuat drop tegangan pada beberapa bus melebihi standar yang ada. Selain ini penambahan beban melebihi 80% membuat cadangan putar yang dimiliki oleh sistem menjadi tidak optimal sehingga ketika terjadi gangguan pada beban dapat menyebabkan beberapa peralatan mengalami kelebihan beban.

Pada analisis penetrasi PLTS solar fotovoltaik pada sistem, dilakukan penetrasi secara bertahap dimulai dari 2,4MW, 4,8MW, 7,2MW, 9,6MW, dan 12MW. Berdasarkan

hasil analisis aliran daya pada kondisi *steady state*, tegangan jatuh pada saat PLTS dipenetrasi ke dalam sistem tidak berpengaruh karena pada dasarnya beban pada sistem secara keseluruhan tidak bertambah. Dari sisi titik instalasi penambahan PLTS, baik dilakukan pada bus switchgear Syn bus 13,8kV, New syn bus, maupun Syn bus 33kV juga tidak memiliki perbedaan secara signifikan. Besaran drop tegangan dan susut masih masuk ke dalam standar.



Gambar 3
Tegangan Jatuh Pada Masing-Masing Bus Switchgear Saat Penetrasi PLTS
(a) 20% (b) 40% (c) 60% (d) 80% (e) 100%

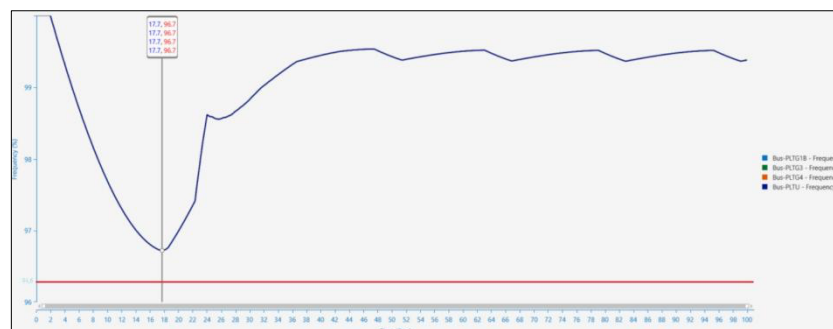
Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan, yang perlu dicermati adalah *faktor daya* masing-masing pembangkit setelah penetrasi PLTS solar fotovoltaik. Karena PLTS hanya mampu membangkitkan daya aktif dan tidak dapat membangkitkan daya reaktif. Pada saat penetrasi PLTS dilakukan sebesar 100% atau 12MW pada sistem, terlihat *faktor daya* masing-masing PLTG bervariasi antara 0,55 sampai dengan 0,64. Mengacu kepada kurva kapabilitas pembangkit listrik, *faktor daya* yang rendah dalam operasi yang terus menerus dapat mengurangi usia pakai pembangkit. Sehingga untuk mempertahankan kondisi operasional pembangkit listrik agar tetap mampu beroperasi secara andal berdasarkan kurva kapabilitas yang ada.

Tabel 4
Tegangan Jatuh, Susut, dan faktor daya Saat Penetrasi PLTS

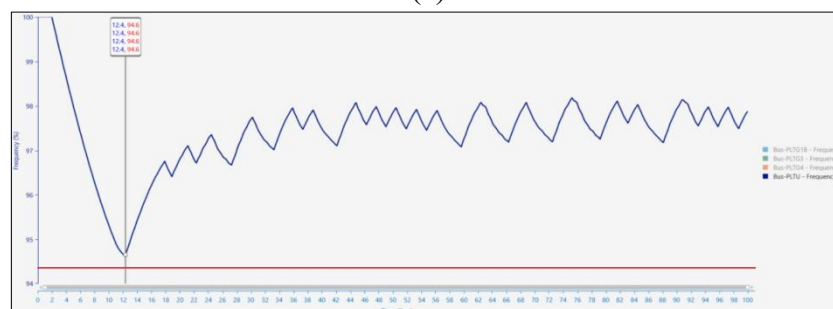
Load type	Persentase Penetrasi PLTS				
	20%	40%	60%	80%	100%
	Maksimum Penetrasi PLTS(MW)				
Tegangan jatuh maksimal (%)	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7
Susut maksimal (MW)	0,48	0,48	0,5	0,53	0,52
faktor daya minimum	0,73	0,73	0,67	0,59	0,55

Penetrasi PLTS paling optimal adalah pada saat penetrasi dilakukan sebesar 40% atau 4,8MW. Pada saat penetrasi dengan daya tersebut, masing-masing pembangkit memiliki *faktor daya* antara 0,73 sampai dengan 0,86.

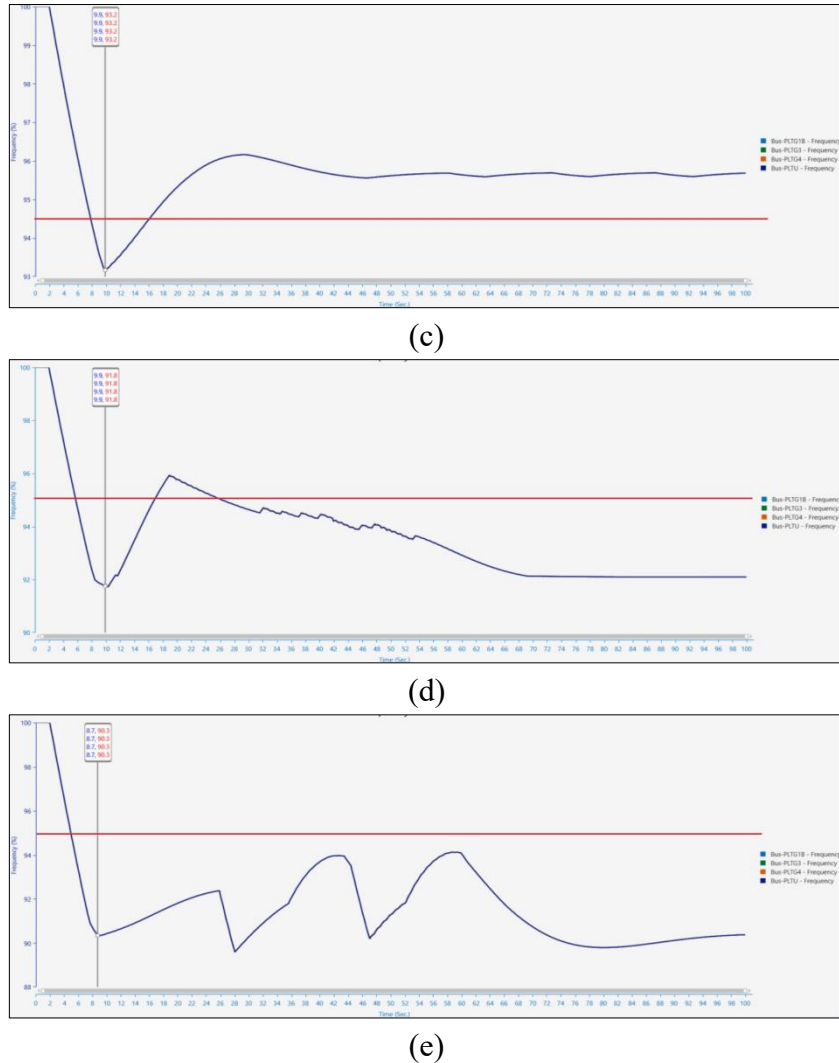
Pada analisis stabilitas transien ketika dilakukan penetrasi PLTS solar fotovoltaik didapatkan hasil seperti yang terlihat pada gambar 4. Berdasarkan hasil simulasi stabilitas transien yang telah dilakukan, penetrasi PLTS solar fotovoltaik sebesar 40% atau 4,8MW merupakan besaran penetrasi yang paling optimal pada sistem. Setelah dilakukan *load rejection test* pada saat daya puncak PLTS sebesar 4,8MW, masing-masing pembangkit listrik yang ada masih dapat merespon kehilangan daya PLTS. Penurunan frekuensi yang terjadi ketika kehilangan beban juga masih masuk ke dalam standar yang ada. Meskipun penurunan frekuensi tetap terjadi namun laju penurunan frekuensi hanya sebesar 0,1Hz/detik dan frekuensi terendah mencapai 48,35Hz terjadi pada detik ke-15,2 setelah daya PLTS hilang dan sistem mampu merespon penurunan frekuensi dan menjadi stabil kembali.



(a)



(b)



Gambar 4

**Respon Stabilitas Frekuensi Sistem Ketika *Load Rejection Test* PLTS
(a) 20% (b) 40% (c) 60%(d) 80% (e) 100%**

Ketika penetrasi PLTS dinaikkan ke 60% atau 7,2MW, maka sistem tenaga listrik tidak dapat menjaga stabilitas dari besaran-besaran standar yang telah ditentukan. Pada saat kehilangan daya PLTS sebesar 7,2MW, frekuensi sistem jatuh pada detik ke-7,9 ke titik 46,6Hz. Sistem juga lebih menjadi tidak stabil ketika penetrasi dilakukan pada besaran 80% dan 100%, di mana setelah dilakukan *load rejection test* PLTS pada daya tersebut, frekuensi turun masing-masing mencapai 45,85Hz dan 45Hz. Penurunan frekuensi tersebut, berdasarkan *IEEE standard C37. 106-2003* sudah tidak memenuhi standar stabilitas frekuensi yang ada.

Tabel 5
Stabilitas Kestabilan Frekuensi Saat Penetrasi PLTS

Load type	Persentase Penetrasi PLTS				
	20%	40%	60%	80%	100%

Optimasi Sistem Tenaga Listrik Di Industri Untuk Mengantisipasi Penambahan Beban Dan Penetrasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Solar Fotovoltaik

	Maksimum Penetrasi PLTS(MW)				
Frekuensi minimum (Hz)	48,35	47,3	46,6	45,85	45
Waktu sampai frekuensi min (s)	15,5	10,4	7,9	8	6,7
Df/dt (Hz/s)	0,1	0,259	0,43	0,51	1

Kesimpulan

Optimasi penambahan beban pada sistem tenaga listrik pada studi kasus PT Pusri Palembang dapat dilakukan dengan maksimal penambahan beban sebesar maksimal 80% dari cadangan putar atau 20,8MW. Penambahan beban dengan persentase membuat tegangan jatuh paling tinggi di level 7,3% dan susut tidak lebih dari 0,63MW serta membuat semua pembangkit beroperasi pada mode operasi optimalnya dengan *faktor daya* 0,74 sampai dengan 0,85. Dalam hal penetrasi PLTS solar fotovoltaik dapat ditarik kesimpulan tidak berpengaruh terhadap tegangan jatuh dan persentase penetrasi PLTS paling optimal adalah sebesar 40% atau 4,8MW. Pada penetrasi tersebut ketika dilakukan *load rejection test*, laju penurunan frekuensi hanya sebesar 0,1Hz/detik dan frekuensi terendah mencapai 48,35Hz terjadi pada detik ke-15,2 dan sistem mampu merespon penurunan frekuensi dengan baik.

Penulis ucapkan terima kasih kepada PT Pusri Palembang atas dukungan serta fasilitas yang telah diberikan kepada penulis dalam melakukan dan menyelesaikan penulisan karya ilmiah ini.

BILBIOGRAFI

- Anup, S., Verma, A., & Bhatti, T. S. (2017). Transient stability study in solar photovoltaic-wind plant based multimachine system. *2017 IEEE International Conference on Smart Grid and Smart Cities (ICSGSC)*, 178–182.
- Association, I. S. (2009). *IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality*. IEEE Standard.
- Bhagavathy, P., Latha, R., & Elango, S. (2018). A Case Study on the Impact of Power Quality Analysis in Textile Industry. *2018 IEEE 13th International Conference on Industrial and Information Systems (ICIIS)*, 453–456.
- Chathurangi, D., Jayatunga, U., Rathnayake, M., Wickramasinghe, A., Agalgaonkar, A., & Perera, S. (2018). Potential power quality impacts on LV distribution networks with high penetration levels of solar PV. *2018 18th International Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP)*, 1–6.
- Dhlamini, N., & Chowdhury, S. P. D. (2018). Solar photovoltaic generation and its integration impact on the existing power grid. *2018 IEEE PES/IAS PowerAfrica*, 710–715.
- Garniwa, I., Kuncoro, M., & Darussalam, R. (2019). Comparative Study for PV Power Stabilization Technology using Matlab Simulink. *2019 International Conference on Mechatronics, Robotics and Systems Engineering (MoRSE)*, 112–117.
- Hudaya, C., Sudiarto, B., & Garniwa, I. (2021). Effects of Solar and Wind Power Energy Sources Integration on Frequency Dynamics in Microgrid. *Journal of Physics: Conference Series*, 1858(1), 12047.
- Muhamad, M. I., Mariun, N., & Radzi, M. A. M. (2007). The effects of power quality to the industries. *2007 5th Student Conference on Research and Development*, 1–4.
- Mulyani, D., & Hartono, D. (2018). Pengaruh efisiensi energi listrik pada sektor industri dan komersial terhadap permintaan listrik di Indonesia. *Jurnal Ekonomi Kuantitatif Terapan*, 1–17.
- Waterton, M., Ferguson, D., & Metrum, S. E. (2012). Power quality monitoring improvements for industry. *IET Seminar on Power Quality*, 1–2.

Copyright holder:

M. Aldrin Julianto, Iwa Garniwa (2022)

First publication right:

Syntax Literate: Jurnal Ilmiah Indonesia

This article is licensed under:

