

ANALISIS UNJUK KERJA SISTEM KELISTRIKAN KAMPUS 2 ITN MALANG DENGAN SUPLAI PLTS 0.5 MW_p

¹Valentine Kilau Intan Caesarista 1812025, ²Prof. Dr. Eng. Ir. Abraham Lomi, MSEE., ³Awan Uji Krismanto, ST., MT., Ph.D.

Institut Teknologi Nasional Malang, Kota Malang, Indonesia

¹valentinekic@gmail.com ²abraham@lecturer.itn.ac.id ³awan_uji_krismanto@lecturer.itn.ac.id

Abstrak— *Energi listrik berperan sebagai tulang punggung kehidupan, akibatnya permintaan energi listrik meningkat tajam di seluruh dunia terutama dalam beberapa tahun terakhir. Saat ini teknologi pembangkit listrik tenaga surya telah berkembang pesat. Melihat perkembangan teknologi dan potensi energi surya di Indonesia, pemerintah Indonesia mendorong pemanfaatan energi surya melalui Peraturan Pemerintah No. 79 Tahun 2014. ITN Malang sebagai kampus berbasis teknologi turut mendukung pemanfaatan energi baru terbarukan dengan bekerja sama dengan SUN Energy membangun PLTS terhubung dengan jaringan sebesar 0.5 MW_p. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis unjuk kerja sistem kelistrikan Kampus 2 ITN Malang. Analisis unjuk kerja sebuah sistem kelistrikan dinilai sangat penting dalam sudut pandang ekonomi dan teknologi. Sistem kelistrikan Kampus 2 ITN Malang dimodelkan dan hasil yang didapatkan menggunakan program simulasi DigSILENT PowerFactory 15.1.*

Kata Kunci— *Energi surya, PLTS, DigSILENT PowerFactory, ITN Malang*

I. PENDAHULUAN

Seiring berjalannya waktu, kebutuhan energi listrik di Indonesia diproyeksikan akan terus meningkat. Namun hingga saat ini, sebagian besar sumber daya listrik yang digunakan berasal dari pembangkit konvensional yang bersumber dari bahan bakar fosil. Secara khusus, bahan bakar fosil seperti minyak, batu bara, dan gas alam mewakili sebagian besar sumber energi contohnya pangsa global dari total pasokan energi oleh bahan bakar fosil terhitung lebih dari 80% pada tahun 2018 [1]. Apabila hal ini masih diteruskan dan tidak dilakukan eksplorasi baru, maka sumber energi yang ada diperkirakan akan habis dalam kurun waktu 50 tahun. Karena hal itu, sumber daya energi baru terbarukan seperti energi surya, bioenergi, energi angin (*wind energy*), dan energi laut (*ocean energy*) dapat digunakan sebagai alternatif serta dapat mengurangi pencemaran lingkungan [2].

Penggunaan energi baru terbarukan telah meningkat seiring dengan kebutuhan energi yang semakin meningkat [3]. Beberapa regulasi telah diterbitkan dan mulai direalisasikan dalam mengatasi kebutuhan energi yang pesat [4]. Berkaitan dengan hal tersebut, target penyediaan energi terbarukan dalam kurun waktu 2014 sampai 2050 akan berkembang dengan laju angka pertumbuhan yang cukup tinggi, yaitu sekitar 6.8% per tahun pada skenario dasar dan 7.3% per tahun pada skenario tinggi [5]. Sehingga pembangkit listrik tenaga

surya dinilai sebagai teknologi menjanjikan yang dapat digunakan di Indonesia (sudah ada saat ini) [6].

Pembangkit listrik tenaga surya merupakan sumber energi yang tak terbatas tanpa polusi tambahan, perawatan yang mudah, dan memiliki keandalan yang tinggi [2]. Selain itu, konsumen yang menggunakan pembangkit listrik tenaga surya juga akan mendapatkan keuntungan tambahan dari pengurangan biaya eksternal disebabkan oleh emisi gas rumah kaca yang disebabkan oleh diesel dan generator bahan bakar fosil lainnya di sektor listrik tanpa membebani konsumen [7][8]. Pemanfaatan energi surya telah menduduki peran penting dan mendominasi energi terbarukan dalam dekade terakhir pada transisi energi di banyak negara di dunia. *International Renewable Energy Agency (IRENA)* memprediksi bahwa 47 GW kapasitas terpasang berpotensi tercapai di Indonesia pada tahun 2030 [7].

ITN Malang sebagai kampus berbasis teknologi di Indonesia berkolaborasi dengan PT Wika dan SUN Energy berhasil mewujudkan pembangunan pembangkit listrik tenaga surya terbesar di Pulau Jawa terhubung dengan jaringan kapasitas 0.5 MW_p yang berlokasi di Kampus 2 ITN Malang, Jalan Raya Karanglo KM 2 Malang. Dengan harapan PLTS ini tidak hanya memenuhi kebutuhan operasional kampus, namun dapat menjadi fasilitas bagi dosen maupun mahasiswa yang memiliki konsentrasi pada energi baru terbarukan terutama energi surya dan berkontribusi pada daerah setempat.

Sebuah sistem kelistrikan tentunya membutuhkan analisis unjuk kerja yang dinilai sangat penting dalam sudut pandang ekonomi dan teknologi tanpa terkecuali dengan sistem kelistrikan Kampus 2 ITN Malang. Untuk mengetahui hal tersebut, maka diadakan kajian berupa analisis unjuk kerja sistem kelistrikan Kampus 2 ITN Malang dengan suplai PLTS 0.5 MW_p dalam penelitian ini.

II. TINJAUAN PUSTAKA

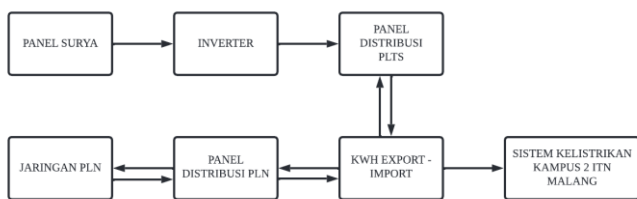
A. Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan salah satu Energi Baru Terbarukan yang memanfaatkan sinar matahari sebagai sumbernya. Sinar matahari yang diserap melalui sel surya (*photovoltaic*) yang kemudian dikonversi radiasi foton sinar matahari menjadi energi listrik. Hal ini sesuai dengan prinsip kerja dari PLTS yang memanfaatkan

photovoltaic effect yaitu efek yang mengubah energi surya menjadi energi listrik secara langsung [9].

PLTS memiliki komponen utama yang terdiri dari panel surya, *inverter*, dan *solar charge controller*. Sistem PLTS berdasarkan lokasi pemasangannya dibagi menjadi 2 jenis yaitu sistem pola terpusat (*centralized PV plant*) dan sistem pola tersebar (*distributed PV plant*). Sedangkan berdasarkan konfigurasi, PLTS dibagi menjadi 2 jenis yaitu sistem tidak terhubung jaringan (*off-grid PV plant*) atau disebut juga dengan *stand-alone PV plant* dan sistem PLTS terhubung jaringan (*grid-connected* atau *on-grid PV plant*). Apabila dalam pengaplikasiannya PLTS digabung dengan jenis pembangkit listrik lain maka disebut dengan sistem *hybrid*. [10]

PLTS ITN Malang terhubung jaringan dengan kapasitas 0.5 MWp memiliki blok diagram yang terdapat pada Gambar 1 dan menggunakan panel surya yang berjenis *polycrystalline* dengan spesifikasi yang tertera pada Gambar 2.



Gambar 1 Blok Diagram PLTS *On-Grid*

Tabel 1 Spesifikasi Modul Surya

Type	JAM72S20-450/MR
Peak power (Pmax)	450 W
Open circuit voltage (Voc)	49.70 V
Max.power voltage (Vmp)	41.52 V
Short circuit current (Isc)	11.36 A
Max.power current (Imp)	10.84 A
Power Selection	0~+5 W
PV module classification	Class II
Maximum system voltage	1500 V
Maximum overcurrent protection rating	20 A
Power production tolerance	± 3%
Open circuit voltage tolerance	± 2%
Short circuit current tolerance	± 4%

B. Studi Aliran Daya (*Short Circuit Analysis*)

Studi aliran daya merupakan bagian penting dari sebuah sistem tenaga listrik. Studi aliran daya memberikan informasi yang diperlukan mengenai tegangan bus dan daya yang mengalir melalui saluran transmisi, transformator, dan elemen lain dari sistem tenaga untuk permintaan beban tertentu yang tunduk pada kemampuan pengaturan generator, kondensator, transformator pengubah tap, transformator pemindah fasa sebagai serta pertukaran daya bersih yang ditentukan dengan sistem daya yang berdampingan. Untuk mengimbangi

peningkatan pertumbuhan beban, fasilitas pembangkit baru direncanakan dan ditambahkan secara berkala oleh utilitas listrik. Penambahan unit pembangkit baru menyebabkan beberapa fasilitas transmisi menjadi kelebihan beban selama periode beban puncak. Banyak studi aliran daya dilakukan yang membantu dalam menilai secara kritis rencana alternatif untuk perluasan sistem untuk memenuhi permintaan beban yang terus meningkat. [11]

Aliran daya adalah solusi untuk kondisi operasi dalam kondisi tunak tiga fasa seimbang dan normal dari sistem tenaga listrik. Studi aliran daya juga membantu insinyur perencanaan dan operasi untuk memenuhi situasi darurat seperti hilangnya unit pembangkit besar atau pemadaman saluran utama karena kelebihan beban termal saluran. Studi aliran daya juga membantu menentukan ukuran terbaik dan lokasi yang paling menguntungkan untuk kapasitor daya untuk meningkatkan faktor daya serta profil tegangan sistem tenaga. Beberapa di antaranya dianggap sebagai eksekusi offline dari perhitungan aliran daya, yang biasanya dilakukan berbulan-bulan atau bertahun-tahun sebelum situasi sebenarnya. Data yang diperoleh dari studi aliran daya digunakan untuk studi mode operasi normal, analisis kontingensi, penilaian keamanan pemadaman, serta pengiriman dan stabilitas yang optimal. [12]

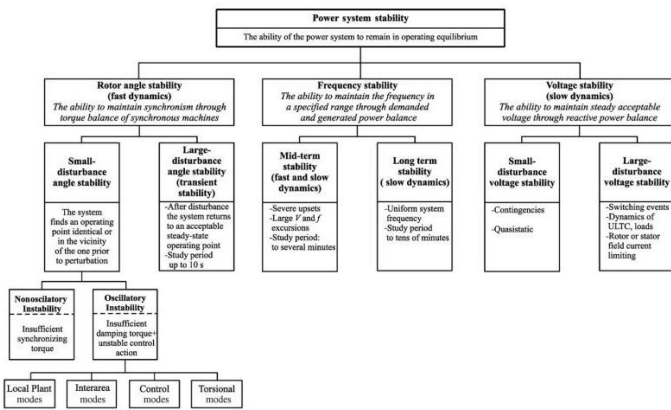
C. Kestabilan Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik merupakan sebuah sistem dinamis buatan manusia yang terbesar dan paling kompleks yang terdiri atas pengantar dan peralatan-peralatan yang diperlukan untuk mengirimkan energi listrik dari pusat pembangkit ke konsumen. Secara garis besar, sistem tenaga listrik terdiri atas bagian pembangkitan (generator), saluran (jaringan transmisi dan distribusi), dan pusat beban. Sama dengan sistem dinamis, sistem tenaga listrik terus mengalami gangguan dan mengalami transisi dari satu keadaan operasi ke yang lain dalam bentuk osilasi. [13]

Stabilitas sistem tenaga telah menjadi perhatian penting bagi para insinyur sejak tahun 1920-an. Satuan Tugas Gabungan IEEE-CIGRE tentang Persyaratan dan Definisi Stabilitas telah mendefinisikan stabilitas sistem tenaga sebagai kemampuan sistem tenaga listrik, untuk kondisi operasi awal tertentu, untuk mendapatkan kembali keadaan keseimbangan operasi setelah mengalami gangguan fisik, dengan sebagian besar variabel sistem dibatasi sehingga secara praktis seluruh sistem tetap utuh.

Untuk mempertahankan kestabilan, sistem tenaga listrik harus mampu mempertahankan kondisi kesetimbangan (*equilibrium point*) antara daya yang dibangkitkan dan dibutuhkan oleh beban. Sistem daya elektrik harus mampu mengantisipasi terjadinya perubahan beban dan suplai daya secara cepat. Selain mempertahankan keseimbangan antara daya yang dibangkitkan dan daya yang dibutuhkan beban, sistem tenaga listrik dikatakan stabil jika sistem tersebut dapat mempertahankan kondisi setimbang atau mencapai titik kesetimbangan yang baru setelah dihadapkan pada kondisi gangguan. Stabilitas menjadi hal utama yang harus

dipertahankan dengan semakin luas dan berkembangnya interkoneksi sistem tenaga listrik.



Gambar 2 Klasifikasi Kestabilan Sistem Tenaga Listrik

D. Kestabilan Tegangan

Stabilitas tegangan merupakan bagian terpenting pada sistem tenaga listrik dan menjadi salah satu penyebab utama terjadinya pemadaman listrik [14]. Definisi dari stabilitas tegangan adalah kemampuan sistem tenaga untuk mempertahankan tegangan tetap yang dapat diterima pada semua bus dalam sistem pada kondisi operasi normal dan setelah mengalami gangguan. Tegangan dapat menjadi tidak stabil ketika ada ketidakseimbangan antara permintaan beban dan suplai beban, terutama ketidakseimbangan daya reaktif. Hal ini dapat terjadi karena dua alasan: baik karena perubahan mendadak dalam permintaan beban, seperti hilangnya beban di suatu daerah, atau karena keterbatasan kapasitas pasokan beban karena adanya trip pada saluran transmisi.

Klasifikasi stabilitas tegangan dalam hal keparahan gangguan membantu memahami dan menganalisis dengan benar variasi tegangan dalam sistem tenaga. Klasifikasi stabilitas tegangan dalam hal keparahan gangguan membantu memahami dan menganalisis dengan benar variasi tegangan dalam sistem tenaga. Oleh karena itu, stabilitas tegangan dapat dengan mudah diklasifikasikan ke dalam stabilitas tegangan gangguan besar (*large-disturbance voltage stability*) dan stabilitas tegangan gangguan kecil (*small-disturbance voltage stability*).

Stabilitas tegangan gangguan besar (*large-disturbance voltage stability*) berkaitan dengan kemampuan sistem tenaga untuk mempertahankan tegangan tetap dalam batas yang dapat diterima setelah gangguan besar seperti gangguan sistem atau pemutusan saluran transmisi, transformator atau generator sinkron. Proses pemulihan tegangan setelah gangguan tergantung pada karakteristik beban dan karakteristik jaringan serta tindakan berbagai sistem proteksi dan kontrol. Analisis matematika membutuhkan simulasi selama periode waktu yang diperpanjang dari beberapa detik hingga puluhan menit. [13].

Stabilitas tegangan gangguan kecil (*small-disturbance voltage stability*) mengacu pada kemampuan sistem tenaga untuk mengontrol tegangan ketika terjadi perubahan beban pada sistem tenaga, terutama perubahan permintaan beban secara bertahap. Proses yang terjadi dalam hal ini lambat dan dapat dikaitkan dengan kondisi tunak. Oleh karena itu, metode analisis statik, juga disebut sebagai analisis aliran beban dari kondisi tunak, dapat diterapkan, dengan akurasi yang baik, untuk menentukan margin stabilitas dan indeks yang menunjukkan kekuatan sistem terhadap tegangan. Kondisi operasi tergantung pada karakteristik beban dan tindakan kontrol pada saat analisis dilakukan. [13]

Ketidakstabilan tegangan sering terjadi pada sistem dengan kondisi pembebanan yang tinggi, memiliki jaringan transmisi dan distribusi yang kompleks serta daya reaktif yang terbatas. Menurut standar ANSI, tegangan layanan harus berada dalam $\pm 5\%$ dari tingkat tegangan nominalnya yang diterjemahkan menjadi 0.95 hingga 1.05 per unit (pu). Ketika tegangan layanan turun dibawah 0.95 pu, maka dianggap sebagai *undervoltage* atau tegangan rendah dan jika tegangan layanan melebihi 1.05 pu, maka dianggap sebagai *overvoltage* atau tegangan berlebih [15].

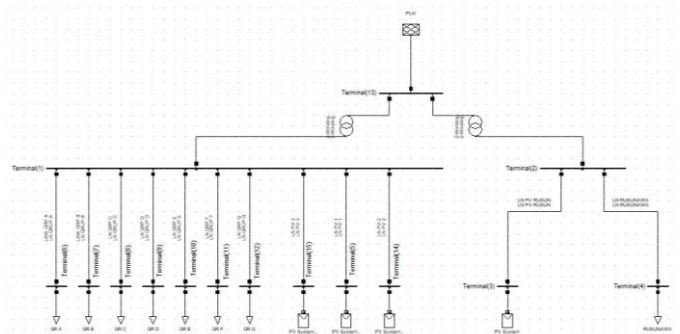
III. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini difokuskan untuk menganalisa unjuk kerja sistem kelistrikan Kampus 2 ITN Malang sebelum dan sesudah disuplai dengan PLTS 0.5 MWp. Teknik pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Kajian Literatur
2. Pengumpulan Data
3. Simulasi dan Analisa Data

A. Sistem Kelistrikan Kampus 2 ITN Malang

Sistem kelistrikan yang menjadi studi kasus utama pada penelitian ini adalah sistem kelistrikan Kampus 2 ITN Malang dengan suplai PLTS kapasitas 0.5 MWp atau setara dengan 501.3 KWp sesuai kondisi terkini. Sistem kelistrikan ini kemudian disimulasikan dengan simulasi studi aliran daya (*Load Flow*) untuk mengetahui kondisi sistem yang digambar apakah dapat dijalankan secara normal agar penelitian dapat dilanjutkan ke tahap selanjutnya untuk dianalisa.



Gambar 3 Single Line Diagram Kampus 2 ITN Malang

B. Hasil Pengukuran di Panel LVMDP Kampus 2 ITN Malang

Pengukuran dilakukan di LVMDP Kampus 2 ITN Malang dan LVMDP Rumah Susun Mahasiswa (Rusunawa) pada Rabu, 6 April 2022. Selanjutnya data pengukuran tersebut diolah menjadi data beban yang akan digunakan pada *single line diagram*.

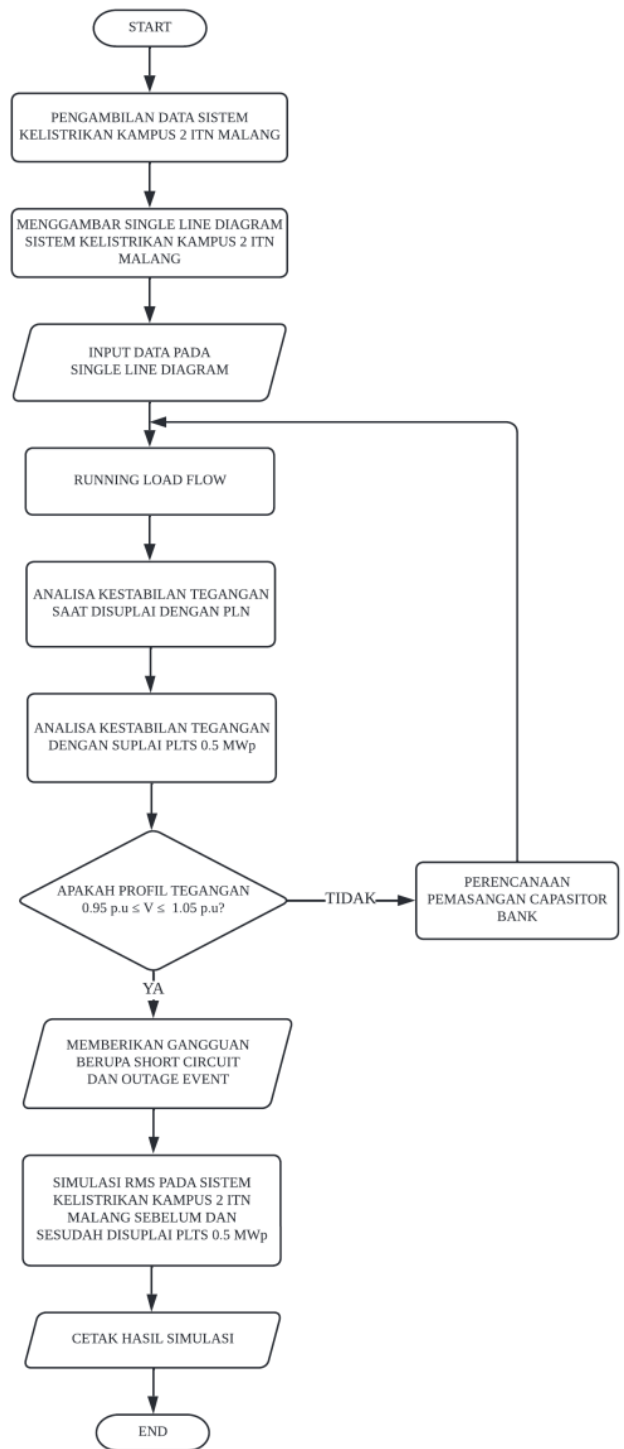
Tabel 2 Hasil Pengukuran LVMDP

Satuan	MDP ITN (Pukul 10.00 WIB)				
	Gd. Lab A	Gd. Lab B	Gd. Lab C	Gd. Kuliah A	Gd. Kuliah B
R (A)	0,7	1,4	3,9	2,5	2,8
S (A)	7,4	5,7	10,4	3,4	9,5
T (A)	2,3	4,9	3,3	2,6	5,4
Volt	407	409	408	407	407

Satuan	MDP ITN (Pukul 10.00 WIB)		MDP RUSUNAWA (Pukul 10.40 WIB)
	Gd. Kuliah C	Gd. Lab D	MDP
R (A)	9,7	1,7	13,3
S (A)	14,5	0	13
T (A)	8,5	2,7	12,2
Volt	408	408	415

C. Flowchart Penelitian

Alur dari penelitian ini dapat dilihat pada diagram alir dibawah ini:



Gambar 4 Diagram Alir Penelitian

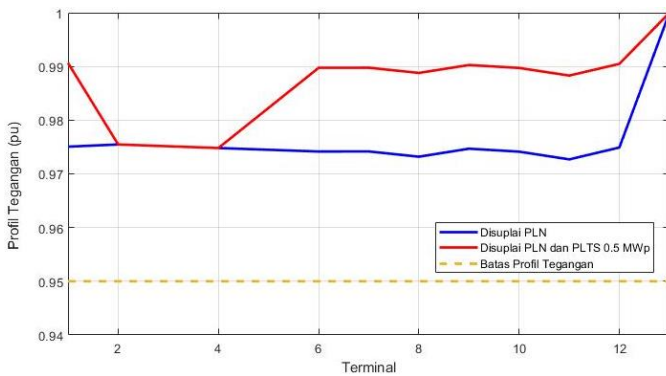
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Simulasi Aliran Daya

Simulasi aliran daya (*Load Flow Analysis*) dilakukan untuk bertujuan untuk mengetahui kinerja dan kondisi aliran daya dalam keadaan tertentu ketika sistem bekerja dalam keadaan normal atau *steady state*.

Tabel 3 Hasil Simulasi *Load Flow*

Terminal	Disuplai PLN	Disuplai PLN dan PLTS
1	0,9750609	0,9906342
2	0,9754711	0,9754709
3	0	0,9754761
4	0,974809	0,9748083
5	0	1
6	0,9741576	0,989744
7	0,9741752	0,9897614
8	0,9731944	0,9887928
9	0,9746874	0,9902663
10	0,9741332	0,9897199
11	0,9726952	0,9882991
12	0,9749067	0,9904824
13	1	1
14	0	1
15	0	1



Gambar 5 Hasil Simulasi *Load Flow*

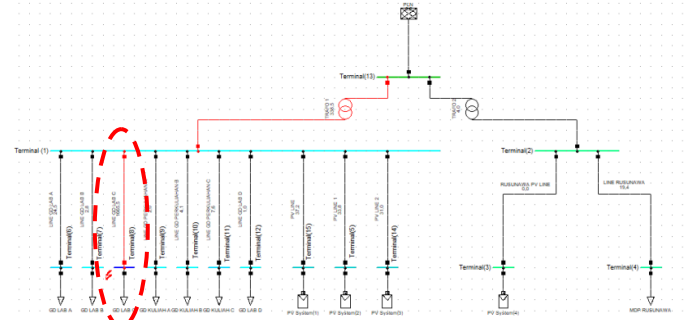
Setelah sistem dapat disimulasikan dengan studi aliran daya, maka didapatkan hasil profil tegangan dari sistem kelistrikan Kampus 2 ITN Malang.

Dengan adanya suplai tambahan dari PLTS 0.5 MWp ke dalam sistem, terlihat kenaikan profil tegangan yang cukup signifikan. Hal ini dibuktikan melalui grafik yang dapat dilihat di bawah ini bahwa adanya suplai daya tambahan dari PLTS 0.5 MWp mampu meningkatkan profil tegangan pada sistem kelistrikan Kampus 2 ITN Malang. Selanjutnya akan dilakukan analisa selanjutnya yaitu simulasi RMS untuk mengetahui respon sistem sebelum dan sesudah adanya tambahan suplai dari PLTS 0.5 MWp.

B. Analisis Simulasi RMS Short Circuit

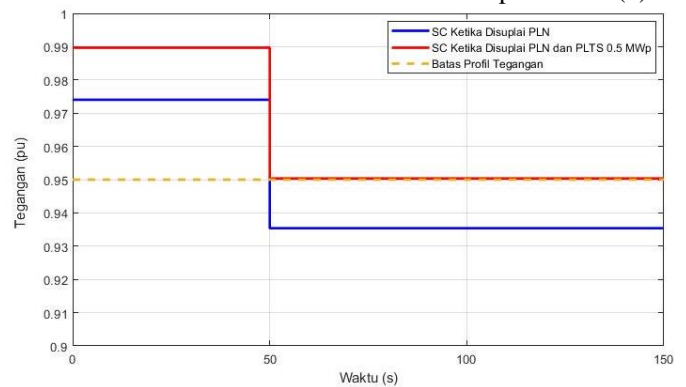
Simulasi RMS dilakukan dengan 2 skenario yaitu dengan diberikan *Short Circuit Event* pada Terminal(8) mengetahui respon dari sistem kelistrikan Kampus 2 ITN Malang akibat adanya suplai daya tambahan PLTS 0.5 MWp ke dalam sistem ketika terjadi gangguan.

Sistem kelistrikan Kampus 2 ITN Malang yang telah disuplai oleh PLTS 0.5 MWp dicoba untuk diberikan gangguan hubung singkat pada bus sistem Terminal(8) sehingga dapat diketahui bagaimana respon dari sistem yang disuplai PLTS ketika terjadi gangguan.



Gambar 6 Terminal(8) Diberikan Gangguan Hubung Singkat

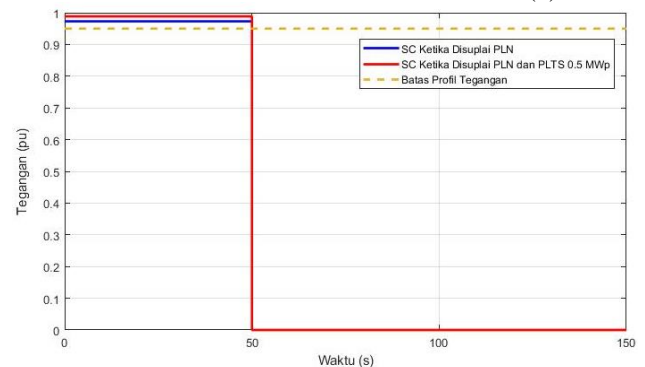
a. Hasil Simulasi *Short Circuit* Terhadap Terminal(7)



Gambar 7 Hasil Kestabilan Tegangan Terhadap Terminal(7)

Setelah dilakukan percobaan dapat dianalisa pada grafik bahwa profil tegangan pada Terminal(7) menunjukkan nilai 0,974172 pu saat disuplai oleh PLN dan nilai 0,989761 pu saat disuplai dengan PLN dan PLTS 0,5 MWp namun kemudian mengalami jatuh tegangan akibat adanya gangguan hubung singkat pada detik 50s yang menunjukkan nilai 0,935524 pu saat disuplai oleh PLN dan nilai 0,950408 pu saat disuplai dengan PLN dan PLTS 0.5 MWp.

b. Hasil Simulasi *Short Circuit* Pada Terminal(8)

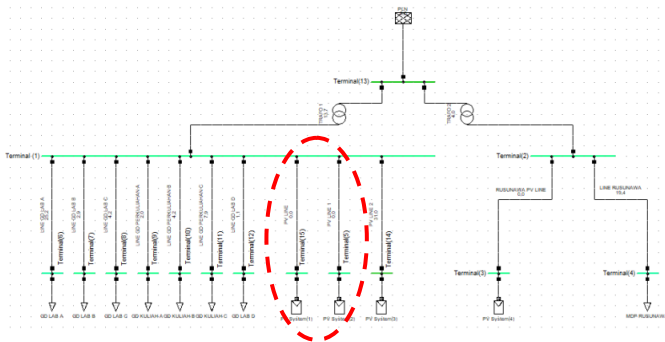


Gambar 8 Hasil Kestabilan Tegangan Pada Terminal(8)

Setelah dilakukan percobaan dapat dianalisa pada grafik bahwa profil tegangan pada Terminal(8) menunjukkan nilai 0,973188 pu saat disuplai oleh PLN dan nilai 0,988793 pu saat disuplai dengan PLN dan PLTS 0,5 MWp. Selanjutnya pada detik 50s terjadi jatuh tegangan sehingga profil tegangan menunjukkan nilai 0, maka Terminal(8) mengalami trip yang dikarenakan gangguan hubung singkat yang terjadi.

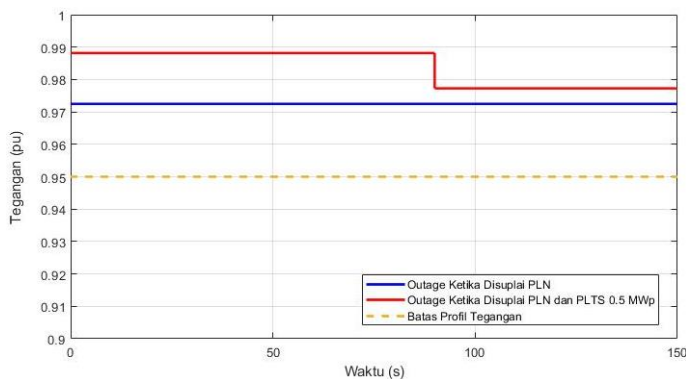
C. Analisis Simulasi RMS Outage Event

Simulasi RMS dilakukan dengan 2 skenario yaitu dengan diberikan *Outage Event* pada *PV system (1)* dan *PV system (2)* mengetahui respon dari sistem kelistrikan Kampus 2 ITN Malang akibat adanya suplai daya tambahan PLTS 0.5 MWp ke dalam sistem ketika terjadi gangguan.



Gambar 9 PV System(1) dan PV System(2) yang Telah Diberikan Outage Event

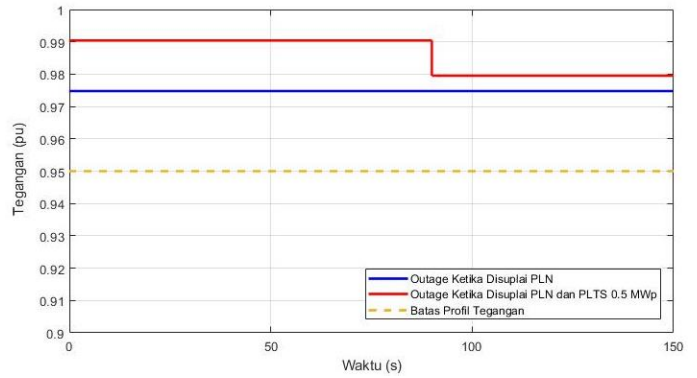
a. Hasil Outage Event Terhadap Terminal(11)



Gambar 10 Hasil Kestabilan Tegangan Terhadap Terminal(11)

Dalam percobaan saat sistem kelistrikan Kampus 2 ITN Malang disuplai oleh PLN profil tegangan Terminal(11) berada pada nilai 0,972478 pu dan saat disuplai dengan PLN dan PLTS 0,5 MWp profil tegangan berada pada nilai 0,988299 pu kemudian PV System(1) dan PV System(2) mengalami outage pada detik 90s yang ditunjukkan pada grafik pada Gambar 4.22 yang menyebabkan terjadi jatuh tegangan sehingga profil tegangan saat disuplai PLN dan PLTS 0,5 MWp menjadi 0,977455 pu.

b. Hasil Outage Event Terhadap Terminal(12)



Gambar 11 Hasil Kestabilan Tegangan Terhadap Terminal(12)

Dalam percobaan saat sistem kelistrikan Kampus 2 ITN Malang disuplai oleh PLN profil tegangan Terminal(12) berada pada nilai 0,974783 pu dan saat disuplai dengan PLN dan PLTS 0,5 MWp profil tegangan berada pada nilai 0,990482 pu kemudian PV System(1) dan PV System(2) mengalami outage pada detik 90s yang ditunjukkan pada grafik pada Gambar 4.23 yang menyebabkan terjadi jatuh tegangan sehingga profil tegangan saat disuplai PLN dan PLTS 0,5 MWp menjadi 0,979614 pu.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan simulasi aliran daya yang telah dilakukan, profil tegangan pada base case sistem kelistrikan Kampus 2 ITN Malang sebelum disuplai dengan PLTS 0.5 MWp memiliki rata-rata pada nilai 0,976663 pu sedangkan saat disuplai dengan PLN dan PLTS 0.5 MWp rata-rata nilai profil tegangan menjadi 0,987998 pu. Setelah dilakukan simulasi RMS gangguan hubung singkat (*short circuit*) yang telah dilakukan diketahui bahwa gangguan hubung singkat dapat menyebabkan jatuh tegangan hingga profil tegangan rendah (*under voltage*) namun dengan adanya suplai dari PLTS 0.5 MWp terbukti dapat membantu menopang profil tegangan. Sedangkan setelah dilakukan simulasi RMS gangguan pelepasan elemen sistem tenaga listrik (*outage event*) yang telah dilakukan terbukti bahwa profil tegangan sistem kelistrikan Kampus 2 ITN Malang lebih meningkat dan handal saat adanya suplai daya tambahan oleh PLTS 0.5 MWp apabila dibandingkan dengan hanya saat disuplai oleh PLN.

VI. REFERENSI

- [1] U.S. Energy Information Administration, "Frequently Asked Questions (FAQs) - U.S. Energy Information Administration (EIA)," *Independent Statistics & Analysis U.S. Energy Information Administration* . <https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.php?id=79&t=11> (accessed Nov. 16, 2021).
- [2] J. Heo, H. Moon, S. Chang, S. Han, and D. E. Lee,

- “Case study of solar photovoltaic power-plant site selection for infrastructure planning using a bim-gis-based approach,” *Appl. Sci.*, vol. 11, no. 18, 2021, doi: 10.3390/app11188785.
- [3] R. Anto and J. Jose, “Performance Analysis Of A 100kW Solar Photovoltaic Power Plant,” *Int. Conf. Magn. Mach. Drives (AICERA-2014 iCMMD)*, 2014, doi: 10.1109/ISGT-LA.2019.8894937.
- [4] KESDM, “Blueprint Pengelolaan Energi Nasional Tahun 2006-2025,” *Kementeri. Energi dan Sumber Daya Miner.*, pp. 1–78, 2006.
- [5] C. for T. of Energy Resources and Chemical Industry, *Indonesia Energy Outlook 2016 Energy Development in Supporting Green Industry*, vol. 16. Center for Technology of Energy Resources and Chemical Industry Agency for the Assessment and Application of Technology, 1965.
- [6] D. F. Syahbana, N. Winanti, A. Purwadi, and N. Heryana, “Performance evaluation of 1.8 kWp Grid-Tied PV system at al-umanaa boarding school, Sukabumi,” *4th IEEE Conf. Power Eng. Renew. Energy, ICPERE 2018 - Proc.*, pp. 1–4, 2018, doi: 10.1109/ICPERE.2018.8739562.
- [7] A. Qolbi, “The Emergence of Solar Photovoltaic Technology in Indonesia: Winners and Losers,” *E3S Web Conf.*, vol. 191, no. REE, pp. 1–6, 2020, doi: 10.1051/e3sconf/202019101001.
- [8] J. Donker and X. Van Tilburg, “Three Indonesian solar-powered futures: Solar PV and ambitious climate policy,” *ECN.TNO*, no. December, pp. 1–43, 2019.
- [9] S. R. Spea and H. A. Khattab, “Design Sizing and Performance Analysis of Stand-Alone PV System using PVSyst Software for a Location in Egypt,” *2019 21st Int. Middle East Power Syst. Conf. MEPCON 2019 - Proc.*, pp. 927–932, 2019, doi: 10.1109/MEPCON47431.2019.9008058.
- [10] DOE Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, “Photovoltaics: Basic Principles and Components,” *U.S. Dep. Energy Natl. Renew. Energy Lab.*, vol. GO-10097-3, no. FS 231, pp. 1–8, 1997.
- [11] T. K. Nagsarkar and M. S. Sukhija, *Power System Analysis Second Edition*. 2014.
- [12] T. Gönen, *Modern Power System Analysis : Second Edition*, vol. 53, no. 9. 2012.
- [13] M. Eremia and M. Shahidehpour, *Handbook of Electrical Power System Dynamics: Modeling, Stability, and Control*. 2013.
- [14] L. Marina, I. M. Ari Nrartha, and A. B. Muljono, “Analisis Kontingensi Pada Sistem Tenaga Listrik Menggunakan Logika Fuzzy,” *Jur. Tek. Elektro, Fak. Tek. Univ. Mataram, NTB*.
- [15] H. V. Padullaparti, P. Chirapongsananurak, S. Santoso, and J. A. Taylor, “Edge-of-Grid Voltage Control: Device Modeling, Strategic Placement, and Application Considerations,” *IEEE Power Energy Technol. Syst. J.*, vol. 4, no. 4, pp. 106–114, 2017, doi: 10.1109/jpets.2017.2750479.

VII. BIODATA PENULIS



Valentine Kilau Intan Caesarista, merupakan lulusan Teknik Elektro S-1 di Institut Teknologi Nasional Malang. Sebelum melanjutkan ke perkuliahan, penulis telah menempuh pendidikan Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) dengan jurusan Teknik Otomasi Industri. Penulis lahir di Malang, 23 September. Alamat e-mail penulis : valentinevkic@gmail.com