

ANALISIS PENGARUH INTEGRASI 0,5 MW_p PLTS ITN MALANG TERHADAP KESTABILAN TEGANGAN PADA SISTEM DISTRIBUSI ULP SINGOSARI

¹Offianda Yanuar's Angsari.²Abraham Lomi.³Awan Uji Krismanto
Institut Teknologi Nasional, Malang, Indonesia

¹offiandayanuarsangsari@gmail.com²abraham@lecturer.itn.ac.id.³awan_uji_krismanto@lecturer.itn.ac.id.

Abstrak— Ketersediaan bahan bakar fosil di alam semakin hari semakin menipis dikarenakan adanya peningkatan permintaan akan energi listrik secara signifikan. Dengan adanya permasalahan tersebut, Pemerintah sudah mulai mengembangkan penggunaan energi baru terbarukan dengan target pada tahun 2025 sebesar 23% dimana 35.000 MW dari 23% tersebut adalah PLTS. Implementasi dan penggunaan PLTS sendiri telah dioperasikan disalah satu Perguruan Tinggi di Indonesia yang berlokasi di kota Malang, yaitu Institut Teknologi Nasional Malang dengan kapasitas 0,5 MW_p. Namun, dengan adanya integrasi PLTS kedalam sistem distribusi dapat mempengaruhi kestabilan tegangan. Dimana penelitian ini bertujuan untuk menganalisis integrasi 0,5 MW_p PLTS ITN Malang terhadap kestabilan tegangan pada sistem distribusi ULP Singosari melalui feeder Karangploso. Pada analisa kestabilan tegangan metode yang digunakan adalah analisa tegangan statis yaitu Kurva P-V(Daya Aktif Terhadap Tegangan) dan analisa tegangan dinamik dengan menganalisa apakah sistem dapat memperbaiki atau mempertahankan tegangan pada batas stabilitas yang diperbolehkan dan setelah terjadi gangguan. Dan dari hasil analisa yang diteliti menggunakan bantuan software DigSILENT PowerFactory menunjukkan bahwa dengan adanya integrasi PLTS 0,5 MW_p kedalam sistem distribusi dapat memperbaiki dan mempertahankan terjadinya penurunan tegangan dapat lebih baik dari kondisi sistem yang sudah ada.

Kata Kunci—Pengaruh Integrasi PLTS, Kestabilan Tegangan, DigSILENT PowerFactory, Kurva P-V(Daya Aktif Terhadap Tegangan), kestabilan Tegangan Dinamik

I. PENDAHULUAN

Ketersediaan bahan bakar fosil di alam semakin hari semakin menipis dikarenakan adanya peningkatan permintaan energi listrik secara signifikan. Penggunaan bahan bakar fosil yang berlebihan ini dapat menimbulkan dampak yang parah pada kerusakan lingkungan yaitu dapat menimbulkan pemanasan global, polusi dari gas buang pembakaran, perubahan iklim dan efek rumah kaca.[1]. Hal ini lah yang menjadi salah satu upaya yang banyak dilakukan oleh para peneliti untuk mengembangkan penggunaan energi baru terbarukan. Didukung dengan program pemerintah Indonesia

untuk menggunakan energi baru terbarukan pada tahun 2025 sebesar 23% dimana 35.000 MW dari 23% adalah PLTS.[2] Dengan energi baru terbarukan ini diharapkan dapat membantu meningkatkan ketersediaan pasokan listrik. Meskipun belum bisa menggantikan pembangkit konvensional, namun dapat mengurangi penggunaan bahan bakar fosil yang berlebih.

Salah satu sumber energi baru terbarukan yang banyak menarik perhatian dan banyak digunakan adalah PLTS. PLTS adalah pembangkit listrik yang memanfaatkan energi matahari menjadi energi listrik melalui model *Fotovoltaik*. [3] Energi ini merupakan jenis energi yang melimpah, bersih, ramah lingkungan dan pemasangan alat yang lebih mudah.[4] Implementasi dan penggunaan PLTS sendiri telah dioperasikan disalah satu Perguruan Tinggi di Indonesia yang berada di kota Malang yaitu Institut Teknologi Nasional dengan kapasitas 0,5 MW_p. Dengan adanya PLTS ini diharapkan dapat membantu mengurangi kebutuhan listrik dikota Malang.

PLTS dengan kapasitas 0,5 MW_p ITN Malang terhubung secara on-grid ke dalam sistem jaringan distribusi melalui penyulang KarangPloso. Dikarenakan PLTS yang bersifat Non-Dispatchable yang artinya daya input atau energi yang diambil dari matahari tidak dapat dikontrol dikarenakan keadaan cuaca yang tidak pasti. Bahkan ketika terjadi sapuan awan dalam beberapa detik diatas modul fotovoltaik pun dapat menyebabkan penurunan tegangan ketika permintaan beban besar. Maka dengan tersambunganya PLTS kedalam sistem distribusi tersebut dapat mempengaruhi kondisi penyulang, dikarenakan sifatnya energi surya yang intermitten (tidak pasti) inilah yang dapat mempengaruhi stabilitas sistem.[5] Kestabilan sistem tenaga listrik adalah kemampuan suatu sistem energi listrik untuk mempertahankan kondisi normal atau mengembalikan ketidakstabilan kondisi sistem setelah terjadi gangguan. Kestabilan sistem tenaga listrik dibagi atas 3 bagian yaitu kestabilan sudut rotor, kestabilan frekuensi dan kestabilan tegangan.

Kestabilan tegangan merupakan bagian paling penting dalam pengoperasian sistem. kestabilan tegangan adalah kemampuan sistem tenaga listrik untuk mempertahankan nilai tegangan tetap pada batas toleransi di setiap bus jaringan dalam kondisi operasi normal ataupun setelah mengalami gangguan.[6] Pada sistem tenaga listrik, sistem dirancang untuk beroperasi dan dapat berfungsi dengan baik dengan

rentang tegangan berkisar -5% dan +10%.[7] Ketika tegangan tidak dalam batas yang diizinkan maka tegangan dianggap tidak stabil dan dapat menyebabkan masalah ketidakstabilan. Ketidakstabilan tegangan didefinisikan sebagai ketidakmampuan sistem untuk mempertahankan profil tegangan yang dapat diterima di beberapa atau semua bus sistem dibawah kondisi normal atau setelah mengalami gangguan, yaitu kemungkinan rendah satu atau ganda sehingga dapat menyebabkan penurunan tegangan yang tidak terkendali.[8]

Disisi lain, masuknya PLTS ke dalam jaringan dapat membantu memberikan perbaikan kedalam pengembangan jaringan dimana dapat membantu memperbaiki profil tegangan, pengurangan rugi-rugi daya, dan meningkatkan keandalan sistem. Oleh karena itu, untuk mengetahui bagaimana pengaruh sistem distribusi ketika terintegrasi dengan PLTS, maka perlu dilakukan sebuah kajian melalui analisis stabilitas tegangan, yaitu untuk memutuskan apakah nilai tegangan pada semua bus berada pada batas yang diizinkan atau tidak, baik pada saat kondisi *base case* maupun setelah diintegrasikan dengan PLTS 0,5 MWp pada sistem distribusi ULP Singosari melalui penyulang Karangploso.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Analisa Kestabilan Tegangan

Kestabilan tegangan merupakan bagian paling penting dalam pengoperasian sistem sehingga dapat digunakan untuk menjaga ketersediaan suplai daya listrik secara berkelanjutan dengan kualitas daya yang baik dan juga dapat meminimalisasi terjadinya blackout total maupun sebagian. Stabilitas tegangan didefinisikan sebagai kemampuan sistem tenaga listrik untuk mempertahankan nilai tegangan tetap yang dapat ditoleransi pada setiap bus jaringan baik dalam kondisi normal atau pada saat sistem mengalami gangguan.[8]

Stabilitas tegangan ditentukan oleh parameter seperti karakteristik sistem, menghasilkan perilaku beban unit, control kontinu dan distrit serta interaksi perlindungan.[9][10] Pada setiap sistem tenaga dirancang untuk beroperasi dan berfungsi dengan baik dengan rentang tegangan berkisar -5% dan +10%. Ketika tegangan tidak dalam batas yang ditentukan maka tegangan dianggap sebagai *voltage collapse* dan dapat menyebabkan masalah ketidakstabilan tegangan.

Ketidakstabilan tegangan didefinisikan sebagai ketidakmampuan sistem dalam mempertahankan nilai tegangan dalam batas yang dapat diterima yaitu 0,95 pu – 1,05 pu di beberapa atau semua bus dalam keadaan kondisi normal atau setelah mengalami gangguan, yaitu dapat menyebabkan penurunan tegangan secara bertahap dan tidak terkendali.[11]

Analisis stabilitas tegangan dapat dibagi menjadi analisis stabilitas tegangan statis dan dinamis. Untuk menganalisis masalah stabilitas tegangan statis perlu diterapkan dalam operasi waktu nyata, dan perhitungannya memakan waktu yang singkat. Sebaliknya analisis dinamik lebih akurat daripada analisis statis, tetapi membutuhkan informasi data yang cukup besar untuk pemodelan dan berhubungan dengan koordinasi perlindungan, kontrol, dan analisis stabilitas jangka pendek. Sehingga Kedua metode ini dapat digunakan jika terjadi ketidakstabilan tegangan dengan menganalisa seperti bagaimana dan mengapa ketidakstabilan tegangan terjadi,

dapat mengidentifikasi area kelemahan tegangan dalam jaringan yang dipelajari, dan juga dapat mengidentifikasi langkah-langkah paling efektif untuk mengatasi ketidakstabilan serta dengan adanya perluasan maka dapat meningkatkan stabilitas tegangan.[12][13]

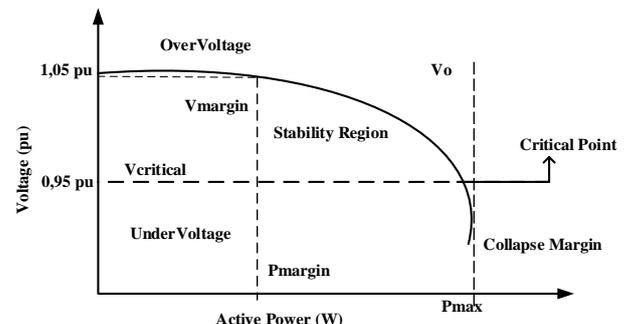
1. Stabilitas Tegangan Statis

Melalui analisis tegangan statis dapat diterapkan dalam operasi waktu nyata dan perhitungan yang cepat sehingga sebagian besar masalah dapat diselesaikan karena beberapa informasi yang diperlukan terkait dengan status stabilitas tegangan sistem. Teknik analisis statis ini biasanya digunakan untuk mendeteksi titik kegagalan tegangan dan untuk menentukan batas kemampuan sistem tenaga.[14]

Metode yang telah ditetapkan untuk menganalisis stabilitas tegangan statis adalah metode yang didasarkan pada kurva P-V (Daya Aktif terhadap Tegangan) dan Q-V (Daya Reaktif Terhadap Tegangan), aliran daya lanjutan, dan singularitas aliran daya matriks jacobian pada titik keruntuhan tegangan. Semua metode analisis tersebut digunakan untuk menentukan titik *collapse* (P_{max}), yaitu berdasarkan titik dimana tegangan mengalami penurunan tegangan pada beban maksimum yang dapat ditoleransi oleh sistem. Titik keruntuhan tegangan terjadi pada saat sistem tenaga mengalami gangguan atau pada saat sistem mengalami kekurangan daya reaktif.

a. Analisa Kurva P-V (Daya Aktif Terhadap Tegangan)

Analisis kurva P-V (Daya Aktif terhadap Tegangan) merupakan metode yang paling populer dan banyak digunakan pada analisa stabilitas statis dan berguna untuk memprediksi keamanan tegangan. Metode kurva P-V (Daya Aktif terhadap Tegangan) banyak digunakan untuk menganalisis stabilitas tegangan dengan cara menentukan jumlah margin daya aktif yang tersedia sebelum titik *voltage collapse*.

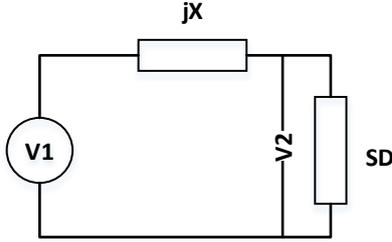


Gambar 1 Kurva P-V (Daya Aktif terhadap Tegangan)

Dari grafik diatas Kurva P-V (Daya Aktif terhadap Tegangan) menunjukkan bagaimana kurva menurun seiring dengan meningkatnya permintaan secara bertahap, tegangan akan menurun hingga titik hidung kurva tercapai. Pada titik hidung peningkatan lebih lanjut dalam daya aktif tidak memberikan besarnya tegangan yang tepat maka momen itu disebut dengan *voltage collapse* yang biasanya terjadi. Dimana jarak antara titik operasi dan titik hidung biasanya diberikan sebagai margin daya aktif sedangkan jarak antara titik operasi dan titik kritis disebut margin tegangan. Jika hasil tegangan diantara batas stabilitas tegangan yaitu diantara tegangan lebih dari 0,95 pu dan kurang dari 1,05 pu maka bahwa sistem

dalam kondisi stabil, namun ketika tegangan dibawah 0,95 pu maka tegangan pada sistem akan mengalami undervoltage sedangkan ketika nilai tegangan pada sistem diatas 1,05 pu maka sistem akan mengalami overvoltage.[15][16]

Untuk menjelaskan analisa kurva PV dapat diasumsikan dengan sistem 2 bus dengan generator tunggal, saluran transmisi tunggal dan beban, untuk rangkaian tersebut ditunjukkan pada gambar dibawah ini :



Gambar 2 rangkaian 2-bus system

Dari rangkaian diatas, diasumsikan bahwa beban kompleks adalah $S_{12} = P_{12} + jQ_{12}$, with V_1 adalah tegangan ujung pengirim, V_2 adalah tegangan ujung penerima, dan $\cos \theta$ adalah faktor daya beban.

Sehingga,

$$S_{12} = P_{12} + jQ_{12} \quad (1)$$

$$P_{12} = |V_1|^2 G - |V_1||V_2|G \cos(\theta_1 - \theta_2) + |V_1||V_2|B \sin(\theta_1 - \theta_2) \quad (2)$$

$$Q_{12} = |V_1|^2 B - |V_1||V_2|B \cos(\theta_1 - \theta_2) + |V_1||V_2|G \sin(\theta_1 - \theta_2) \quad (3)$$

Diasumsikan bahwa $G=0$, maka:

$$P_{12} = |V_1||V_2|B \sin(\theta_1 - \theta_2) \quad (4)$$

$$Q_{12} = |V_1|^2 B - |V_1||V_2|B \cos(\theta_1 - \theta_2) \quad (5)$$

Sekarang didapatkan bahwa :

$$S_D = P_D + jQ_D = -(P_{12} + jQ_{12}) \quad (6)$$

$$P_D = -P_{21} = -|V_1||V_2|B \sin(\theta_2 - \theta_1) = |V_1||V_2|B \sin(\theta_1 - \theta_2) \quad (7)$$

$$Q_D = -Q_{21} = |V_2|^2 B - |V_1||V_2|B \cos(\theta_2 - \theta_1) = -|V_1|^2 + |V_1||V_2|B \cos(\theta_1 - \theta_2) \quad (8)$$

Didefinisikan bahwa $\theta_{12} = \theta_1 - \theta_2$

$$P_D = |V_1||V_2|B \sin \theta_{12} \quad (9)$$

$$Q_D = |V_2|^2 B + |V_1||V_2|B \cos \theta_{12} \quad (10)$$

Dari rangkaian diatas juga didapatkan bahwa:

$$\begin{aligned} S_D &= |V_2||I|e^{j\phi} \\ &= |V_2|(\cos \phi + j \sin \phi) \\ &= P_D (1 + j \tan \phi) \\ &= P_D (1 + j \beta), \text{ dimana } \beta = \tan \phi \end{aligned} \quad (11)$$

Sehingga,

$$Q_D = P_D \beta = |V_2|^2 B + |V_1||V_2|B \cos \theta_{12} \quad (12)$$

Dari hasil persamaan P_D dan Q_D , didapatkan bahwa :

$$(|V_2|^2)^2 + \left[\frac{2P_D \beta}{B} - |V_2|^2 + \frac{P_D}{B} [1 + \beta^2] \right] = 0 \quad (13)$$

Ini adalah persamaan kuadrat dalam $|V_2|^2$, menghilangkan θ_2 dan menyelesaikan pertanyaan orde kedua, jadi :

$$|V_2|^2 = \frac{1 - \beta P_D \pm \sqrt{1 - P_D(P_D + 2\beta)}}{2} \quad (14)$$

Dari persamaan diatas tegangan pada suatu titik beban dipengaruhi oleh daya yang disalurkan ke beban, reaktansi saluran dan juga faktor daya.[16]

2. Stabilitas Tegangan Dinamis

Analisa stabilitas tegangan dinamik sangat penting dalam perencanaan dan desain jaringan listrik selama operasi sistem. Analisis stabilitas dinamik didasarkan pada persamaan differensial dengan melihat bagaimana tegangan bus bervariasi dengan perubahan parameter operasi sistem. Berbagai parameter PV, seperti isolasi matahari (radiasi matahari dan suhu), dan pemodelan dinamis (konverter elektronik daya dan kompensator daya reaktif), parameter tersebut sangat penting dalam analisis stabilitas tegangan dinamis yang terhubung ke sistem jaringan.

Analisis dinamik digunakan untuk mengevaluasi perilaku tegangan selama gangguan pada sistem distribusi. Dengan mempelajari analisis domain waktu dengan mempertimbangkan gangguan pada lokasi dan waktu tertentu.[22][23] Metode yang biasa digunakan untuk analisa tegangan dinamis adalah analisis stabilitas sinyal kecil, simulasi domain waktu, dan analisis metode bifurkasi.[24]

Analisa stabilitas tegangan dinamik yang akan dilakukan yaitu menggunakan gangguan short-circuit pada busbar beban dengan setting waktu selama 0,5 detik di *DigSILENT PowerFactory*

B. Integrasi PLTS 0,5 MWp Kedalam Sistem Distribusi

PLTS ITN Malang berkapasitas 0,5 MWp yang terhubung dengan sistem distribusi ULP Singosari melalui feeder Karangploso bekerja secara on-grid yang artinya sistem bekerja secara langsung dipanel surya. Teknologi ini tidak menggunakan penyimpanan atau baterai sehingga listrik yang dihasilkan dapat digunakan secara langsung untuk berbagai keperluan sehari-hari.

Melalui Peraturan Menteri ESDM tentang Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi (EBTKE), bahwasannya dalam suatu sistem jaringan listrik PLN berperan sebagai penyalur atau penghubung arus listrik yang berasal dari panel surya yang dialiri beban. Pembangkit Listrik Tenaga Surya dapat berkerja dua arah dimana pada siang hari, penggunaan listrik dapat memanfaatkan listrik dari panel surya sedangkan pada malam hari nya dikarenakan tidak ada sinar matahari yang artinya tidak ada produksi listrik dari panel surya, maka listrik yang digunakan masih memanfaatkan daya listrik dari PLN untuk menyuplai beban yang dibutuhkan.[20]

Sehingga, Pembangkit Listrik Tenaga Surya tidak dapat dikontrol untuk menghasilkan daya sesuai dengan permintaan

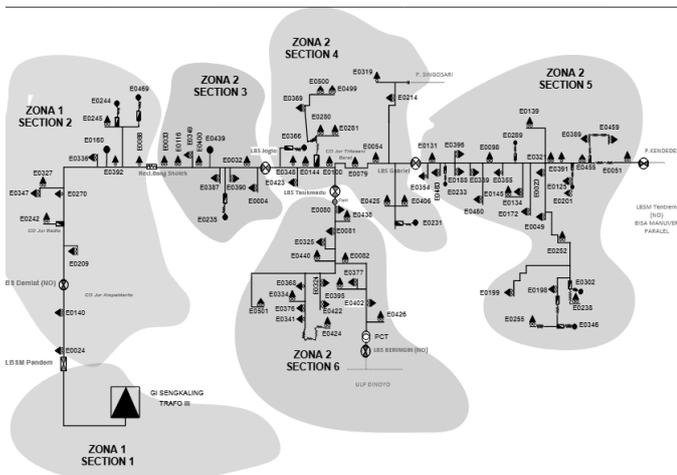
konsumen, dikarenakan kondisi cuaca yang tidak menentu. Bahkan ketika terjadi sapuan awan dalam beberapa detik di atas modul panel surya pun dapat menyebabkan fluktuasi tegangan atau penurunan tegangan jika terjadi peningkatan beban yang besar. Tegangan akan turun dibawah batas stabilitas tegangan yang diperbolehkan sehingga stabilitas tegangan tidak dapat dipertahankan.[21] Hal seperti adanya perubahan seketika dan permintaan yang tidak pasti inilah yang dapat mempengaruhi kestabilan tegangan.

Pengaruh kestabilan tegangan pada sistem yang terintegrasi PLTS membutuhkan analisa stabilitas tegangan statis dan dinamis yang komprehensif. Ketika menambahkan daya aktif sebagai sumber PLTS ke bus dapat mengubah batas stabilitas tegangan statis. Sedangkan parameter dari PLTS seperti suhu, efek pelepasan awan, dan fluktuasi cepat dalam radiasi matahari bereperan dalam ketidakstabilan tegangan dinamis.

III. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini difokuskan untuk meneliti kestabilan tegangan pada sistem distribusi melalui feeder Karangploso akibat adanya integrasi PLTS 0,5 MWp ITN Malang kedalam sistem tersebut dengan menggunakan metode analisa kurva P-V(Daya Aktif terhadap Tegangan) dan analisa kestabilan tegangan dinamik.

A. Studi Kasus

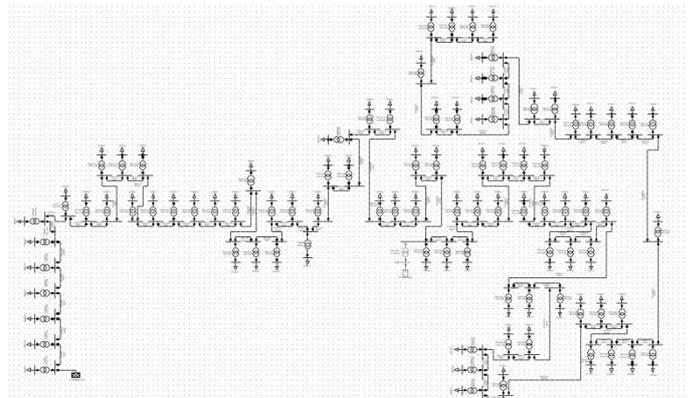


Gambar 3 Single Line Diagram Penyulang Karangploso

Sistem kelistrikan yang digunakan adalah sistem penyulang Karangploso ULP Singosari, Jawa Timur, yang beroperasi pada tegangan 20 Kv/220 V. Penyulang karangploso memiliki 90 titik beban dan 90 titik trafo. Dan total permintaan beban sebesar 5,668 MW.



Gambar 4 PLTS 0,5 MWp ITN Malang

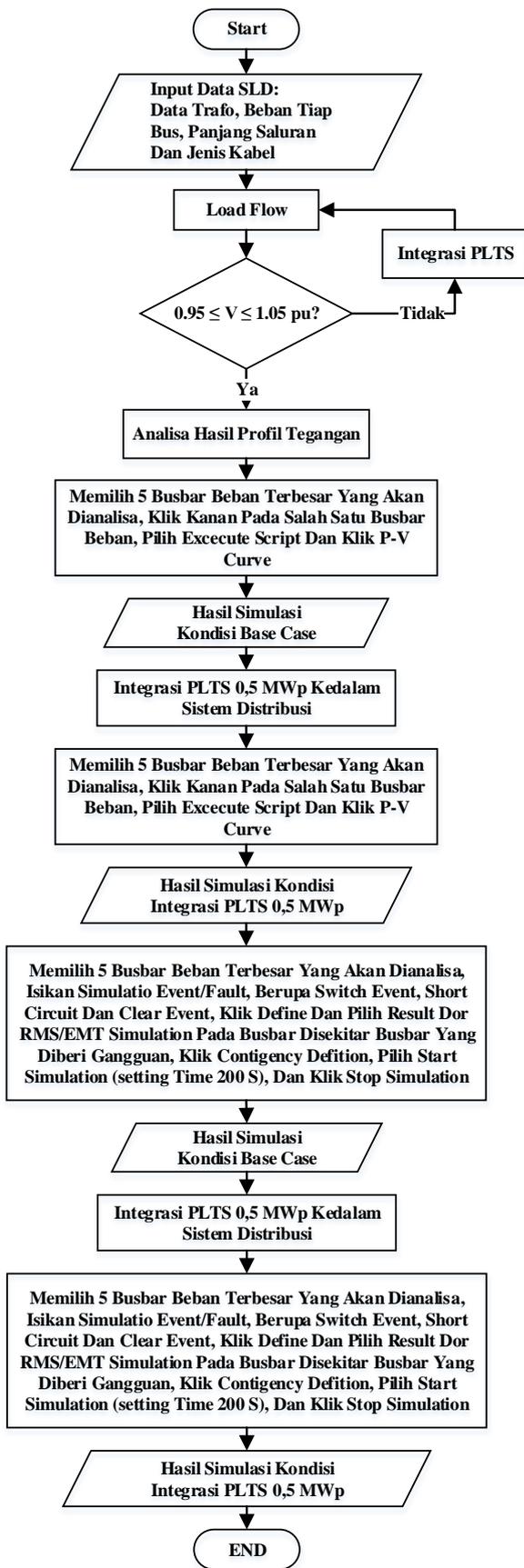


Gambar 5 Load Flow Single Line Diagram di DigSILENT PowerFactory

Sistem kelistrikan pada feeder karangploso yang digunakan sebagai studi kasus dalam penelitian ini digambarkan dengan software *DigSILENT PowerFactory*. Setelah *Single Line Diagram* digambarkan, maka sistem dapat disimulasikan melalui aliran daya (*Load Flow*) untuk mengetahui kondisi sistem tersebut dapat dijalankan atau belum agar penelitian dapat dilanjutkan ke tahap berikutnya.

B. Flowchart Program

Alur rangkaian penelitian dapat dilihat pada flowchart dibawah ini :

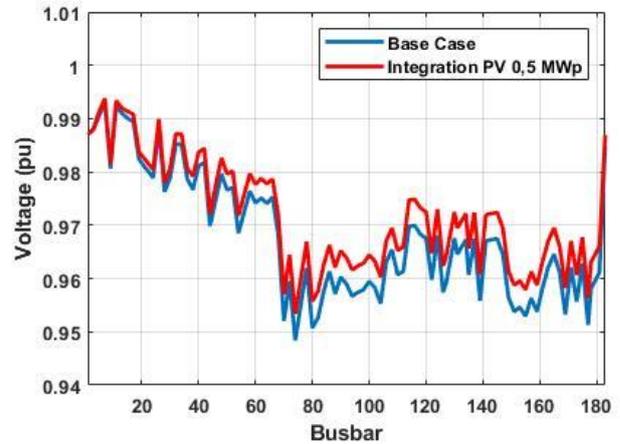


Gambar 6 Flowchart Penelitian

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Profil Tegangan

Setelah sistem dapat disimulasikan aliran daya (Load Flow), maka dilanjutkan dengan analisa profil tegangan yang berguna untuk mengetahui apakah batas profil tegangan ada pada batas yang diperbolehkan atau tidak yaitu pada 0,95 pu – 1,05 pu.

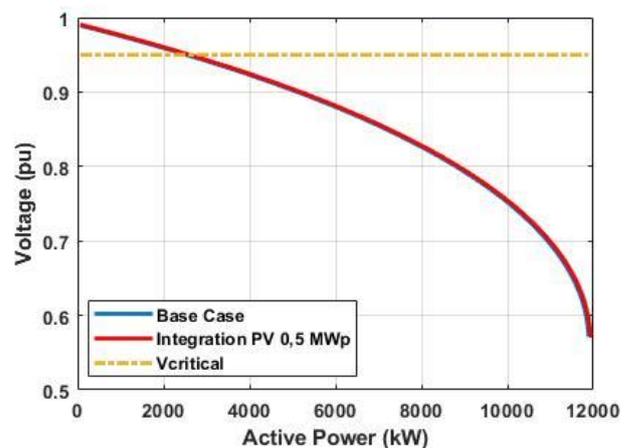


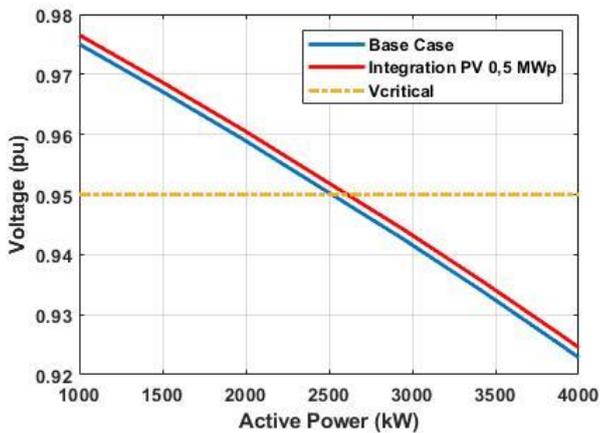
Gambar 9 Hasil Load Flow Terhadap Profil Tegangan

Dari hasil grafik pada Gambar 9 didapatkan hasil load flow terhadap profil tegangan adalah nilai profil tegangan bervariasi dikarenakan permintaan beban yang berbeda di setiap terminal atau busbar beban baik pada saat kondisi base case atau pada saat kondisi sistem terintegrasi PLTS 0,5 MWp. Kemudian pada grafik kondisi base case pada salah satu busbar terjadi undervoltage atau dibawah batas stabilitas tegangan yang diizinkan yaitu pada busbar 74 sebesar 0,948372 pu dari minimum batas stabilitas tegangan sebesar 0,95 pu. Namun, ketika sistem diintegrasikan dengan PLTS 0,5 MWp pada grafik menunjukkan bahwa nilai profil tegangan mengalami kenaikan sebesar 0,953375 pu.

Dari hasil tersebut diatas, dapat disimpulkan bahwa dengan adanya integrasi PLTS 0,5 MWp kedalam sistem distribusi itu dapat memperbaiki profil tegangan yang mengalami undervoltage dan dapat lebih baik daripada kondisi base case.

B. Analisa Kurva P-V (Daya Aktif Terhadap Tegangan)

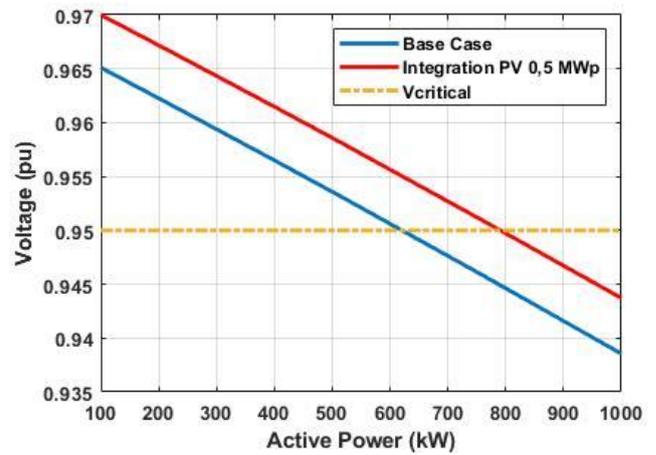
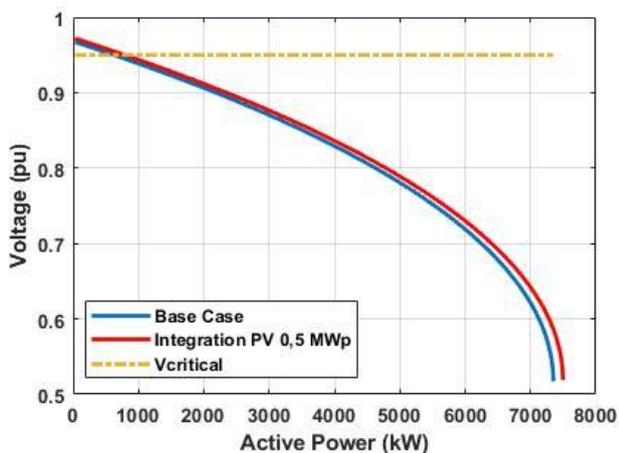




Gambar 10 Hasil Kurva P-V Busbar 24

Dari Gambar 10 grafik simulasi busbar 24 menunjukkan bahwa terdapat grafik base case dan juga grafik Integrasi PLTS 0,5 MWp kedalam sistem. Dari kedua grafik tersebut terjadi penurunan tegangan sampai hidung kurva tercapai. Pada saat kondisi base case (pada saat kondisi normal) grafik menunjukkan hidung kurva tercapai pada permintaan beban sebesar 11.887 kW dengan tegangan sebesar 0,565062 pu sedangkan pada saat kondisi sistem terintegrasi dengan PLTS 0,5 MWp grafik baru menunjukkan permintaan beban sebesar 11.931 kW dengan tegangan sebesar 0,570323 pu. Kemudian ketika tegangan berada pada batas tegangan yang diperbolehkan yaitu sebesar 0,95 pu. Maka pada saat kondisi base case grafik menunjukkan titik kritis pada batas stabilitas tegangan yang diperbolehkan ketika permintaan beban sebesar 2500 kW. Sedangkan pada kondisi integrasi PLTS 0,5 MWp kedalam sistem grafik baru menunjukkan titik kritis pada batas stabilitas tegangan yang diperbolehkan ketika permintaan beban sebesar 2700 kW.

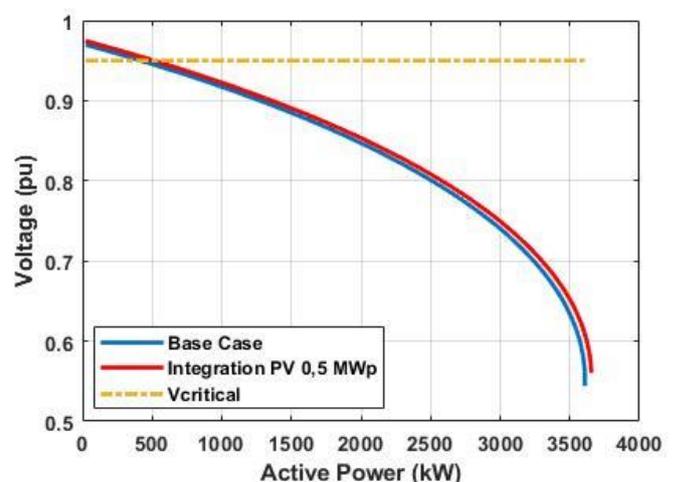
Artinya bahwa dari hasil grafik tersebut dapat diketahui bahwa dengan adanya integrasi PLTS 0,5 MWp ke dalam sistem dapat mempertahankan tegangan lebih baik dari kondisi base case.

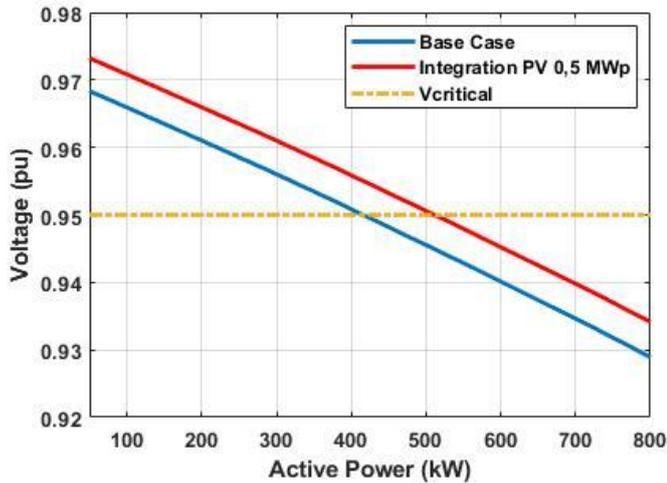


Gambar 11 Hasil Kurva P-V Busbar 161

Dari Gambar 11 grafik simulasi busbar 161 menunjukkan bahwa terdapat grafik base case dan juga grafik Integrasi PLTS 0,5 MWp kedalam sistem. Dari kedua grafik tersebut terjadi penurunan tegangan sampai hidung kurva tercapai. Pada saat kondisi base case (pada saat kondisi normal) grafik menunjukkan hidung kurva tercapai pada permintaan beban sebesar 7.348 kW dengan tegangan sebesar 0,517331 pu sedangkan pada saat kondisi sistem terintegrasi dengan PLTS 0,5 MWp grafik baru menunjukkan permintaan beban sebesar 7.496 kW dengan tegangan sebesar 0,518973 pu. Kemudian ketika tegangan berada pada batas tegangan yang diperbolehkan yaitu sebesar 0,95 pu. Maka pada saat kondisi base case (pada saat kondisi normal) grafik menunjukkan titik kritis pada batas stabilitas tegangan yang diperbolehkan ketika permintaan beban sebesar 610 kW. Sedangkan pada kondisi integrasi PLTS 0,5 MWp kedalam sistem grafik baru menunjukkan titik kritis pada batas stabilitas tegangan yang diperbolehkan ketika permintaan beban sebesar 790 kW.

Artinya bahwa dari hasil grafik tersebut dapat diketahui bahwa dengan adanya integrasi PLTS 0,5 MWp ke dalam sistem dapat mempertahankan tegangan lebih baik dari kondisi base case.





Gambar 12 Hasil Kurva P-V pada Busbar 126

Dari Gambar 12 grafik simulasi busbar 126 menunjukkan bahwa terdapat grafik base case dan juga grafik Integrasi PLTS 0,5 MWp kedalam sistem. Dari kedua grafik tersebut terjadi penurunan tegangan sampai hidung kurva tercapai. Pada saat kondisi base case (pada saat kondisi normal) grafik menunjukkan hidung kurva tercapai pada permintaan beban sebesar 3.609 kW dengan tegangan sebesar 0,551386 pu sedangkan pada saat kondisi sistem terintegrasi dengan PLTS 0,5 MWp grafik baru menunjukkan permintaan beban sebesar 3.654 kW dengan tegangan sebesar 0,560607 pu. Kemudian ketika tegangan berada pada batas tegangan yang diperbolehkan yaitu sebesar 0,95. Maka pada saat kondisi base case (pada saat kondisi normal) grafik menunjukkan titik kritis pada batas stabilan tegangan yang diperbolehkan ketika permintaan beban sebesar 410 kW. Sedangkan pada kondisi integrasi PLTS 0,5 MWp kedalam sistem grafik baru menunjukkan titik kritis pada batas stabilitas tegangan yang diperbolehkan ketika permintaan beban sebesar 510 kW.

Artinya bahwa dari hasil grafik tersebut dapat diketahui bahwa dengan adanya integrasi PLTS 0,5 MWp ke dalam sistem dapat mempertahankan tegangan lebih baik dari kondisi base case.

Dari ke 3 busbar beban terbesar didapatkan bahwa hasil simulasi :

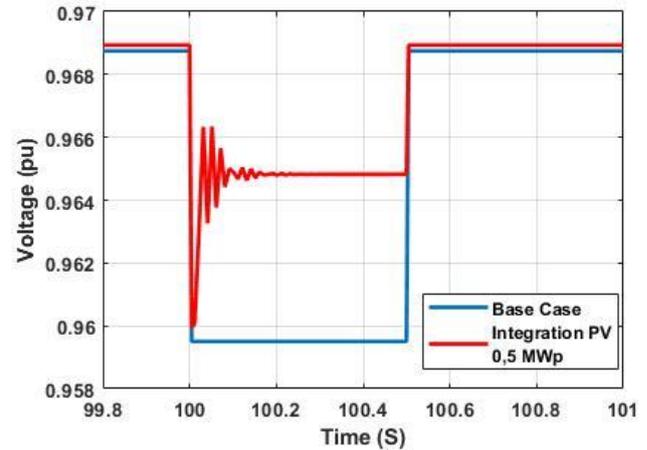
Tabel 1 Hasil Analisa Kurva P-V

Bus	Kurva Hidung Tercapai				Batas Stabilitas Tegangan (0,95)	
	Base Case		Integrasi PLTS		Base Case	Integrasi PLTS
	P (kW)	V (Volt)	P (kW)	V (Volt)	P (kW)	P (kW)
24	11.88	0,565	11.93	0,570	2.500	2.700
161	7.348	0,517	7.496	0,518	610	790
126	3.609	0,551	3.654	0,560	410	510

Dari Tabel 1 dapat disimpulkan bahwa semakin besar nilai daya pada busbar maka akan terjadi penurunan tegangan dari permintaan beban yang semakin besar baik pada kondisi

base case maupun pada saat sistem terintegrasi dengan PLTS 0,5 MWp

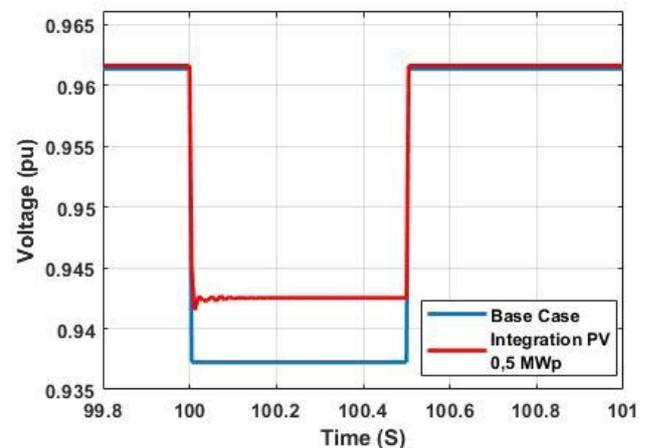
C. Analisa Dynamic Voltage



Gambar 13 Hasil Dynamic Voltage stability Busbar 129

Pada analisa kestabilan tegangan dinamik hasil respon tegangan setelah busbar beban 126 yang diberi gangguan yaitu melalui event short circuit dan didapatkan hasil grafik dengan mensimulasikannya dibusbar dekat dengan busbar yang diberi gangguan yaitu busbar 129. Sehingga didapatkan hasil grafik pada Gambar 13 yang menunjukkan bahwa terjadi penurunan tegangan sebesar 0,959503 pu selama 100-100.5 detik (*setting* waktu selama 0,5 detik) kemudian sistem kembali dalam kondisi normal. Sedangkan ketika sistem diintegrasikan PLTS 0,5 MWp grafik menunjukkan bahwa baru terjadi penurunan tegangan sebesar 0.964823 pu selama 100-100.5 detik (*setting* waktu selama 0,5 detik) kemudian sistem kembali dalam kondisi normal.

Artinya bahwa dengan adanya integrasi PLTS ke dalam sistem dapat mempertahankan tegangan (kecip tegangan) lebih baik dari kondisi base case.

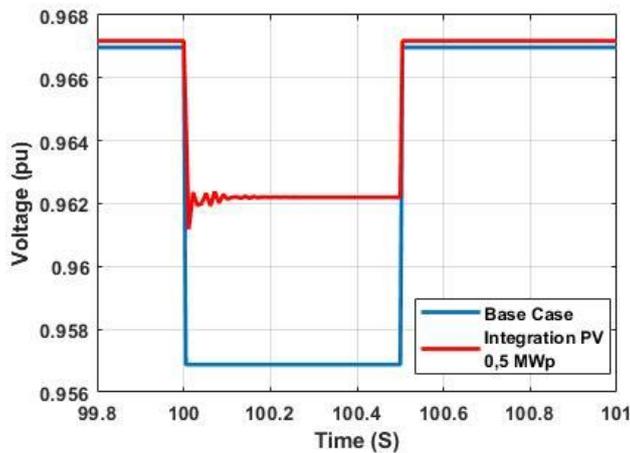


Gambar 14 Hasil Dynamic Voltage stability Busbar 93

Pada analisa kestabilan tegangan dinamik hasil respon tegangan setelah busbar beban 80 yang diberi gangguan yaitu melalui event short circuit dan didapatkan hasil grafik dengan mensimulasikannya dibusbar dekat dengan busbar yang

diberi gangguan yaitu busbar 93. Sehingga didapatkan hasil grafik pada Gambar 14 yang menunjukkan bahwa terjadi penurunan tegangan sebesar 0,937232 pu selama 100-100.5 detik (*setting* waktu selama 0,5 detik) kemudian sistem kembali dalam kondisi normal. Sedangkan ketika sistem diintegrasikan PLTS 0,5 MWp grafik menunjukkan bahwa baru terjadi penurunan tegangan sebesar 0.942530 pu selama 100-100.5 detik (*setting* waktu selama 0,5 detik) kemudian sistem kembali dalam kondisi normal.

Artinya bahwa dengan adanya integrasi PLTS ke dalam sistem dapat mempertahankan tegangan (kedip tegangan) lebih baik dari kondisi base case.



Gambar 14 Hasil Dynamic Voltage stability Busbar 146

Pada analisa kestabilan tegangan dinamik hasil respon tegangan setelah busbar beban 139 yang diberi gangguan yaitu melalui event short circuit dan didapatkan hasil grafik dengan mensimulasikan nya dibusbar dekat dengan busbar yang diberi gangguan yaitu busbar 146. Sehingga didapatkan hasil grafik pada Gambar 4.14 yang menunjukkan bahwa terjadi penurunan tegangan sebesar 0,956877 pu selama 100-100.5 detik (*setting* waktu selama 0,5 detik) kemudian sistem kembali dalam kondisi normal. Sedangkan ketika sistem diintegrasikan PLTS 0,5 MWp grafik menunjukkan bahwa baru terjadi penurunan tegangan sebesar 0.962203 pu selama 100-100.5 detik (*setting* waktu selama 0,5 detik) kemudian sistem kembali dalam kondisi normal.

Artinya bahwa dengan adanya integrasi PLTS ke dalam sistem dapat mempertahankan tegangan (kedip tegangan) lebih baik dari kondisi base case.

Dari ke 3 simulasi kestabilan tegangan dinamik didapatkan hasil bahwa:

Tabel 2 Hasil Analisa Kestabilan Tegangan Dinamik

Gangguan Short Circuit		Time (s)	Tegangan (pu)	
Bus Diganggu	Respon Bus Terdekat		Base Case	Integrasi PLTS 0,5 MWp
126	129		0,959	0,964
80	93		0,937	0,942
139	146		0,956	0,962

Analisa kestabilan tegangan dinamik dilihat bagaimana respon tegangan setelah bus diberi gangguan dengan melihat respon tegangan di bus terdekat dengan setting waktu yang ditentukan dan kemudian tegangan tersebut dapat kembali ke kondisi normal. Dan pada Tabel 2 didapatkan bahwa dari 3 simulasi dengan gangguan short circuit selama 0,5 detik bahwa dengan adanya integrasi PLTS 0,5 MWp dapat lebih baik untuk mempertahankan terjadi penurunan tegangan dari kondisi base case nya.

V. KESIMPULAN

Dari hasil load flow didapatkan 1 busbar yang mengalami undervoltage atau dibawah batas stabilitas tegangan sebesar 0,948372 pu pada bus 74, kemudian pada saat sistem distribusi tersebut ketika diinjeksikan daya PLTS sebesar 0,5 MWp hasil profil tegangan menjadi diatas batas stabilitas tegangan yaitu sebesar 0,953375 pu. Artinya dengan adanya integrasi PLTS kedalam sistem dapat memperbaiki profil tegangan dapat lebih baik dari kondisi base case.

Dari hasil analisa kestabilan tegangan statis yaitu melalui metode kurva P-V (Daya Aktif terhadap Tegangan) bahwa dari 3 busbar beban terbesar yang dipilih untuk diuji didapatkan hasil semakin besar beban maka permintaan beban juga akan besar. Dan dari hasil juga didapatkan bahwa dengan adanya integrasi PLTS 0,5 MWp kedalam sistem distribusi dapat mempertahankan tegangan dari permintaan beban dapat lebih baik dari kondisi base case.

Dari hasil analisa kestabilan dinamik bahwa dari 3 busbar beban terbesar yang dipilih untuk diuji didapatkan hasil respon tegangan yaitu ketika sistem diberi gangguan short circuit pada busbar beban selama 0,5 detik maka sistem akan mengalami penurunan tegangan dan setelah 0,5 detik tegangan kembali ke kondisi normal. Dan dari keseluruhan hasil didapatkan bahwa dengan adanya integrasi PLTS 0,5 MWp kedalam sistem distribusi dapat mempertahankan terjadinya penurunan tegangan dapat lebih baik dari kondisi base case. Kemudian pada grafik terjadi ayunan gelombang dikarenakan adanya pengaruh dari inverter.

V. REFERENSI

- [1] A. U. Krismanto, I. Soegiarto, A. Lomi, I. B. Sulistiawati, H. Setiadi, and M. Abdillah, "Probabilistic Voltage Profiles Analysis of Power System with Large Scale Wind Power Integration," *Int. J. Intell. Eng. Syst.*, vol. 14, no. 5, pp. 269–282, 2021, doi: 10.22266/ijies2021.1031.25.
- [2] A. F. Gusnanda, Sarjiya, and L. M. Putranto, "Effect of distributed photovoltaic generation installation on voltage profile: A case study of rural distribution system in Yogyakarta Indonesia," *2019 Int. Conf. Inf. Commun. Technol. ICOIACT 2019*, pp. 750–755, 2019, doi: 10.1109/ICOIACT46704.2019.8938534.
- [3] D. Wang, X. Yuan, M. Zhao, and Y. Qian, "Impact of large-scale photovoltaic generation integration structure on static voltage stability in China's Qinghai province network," *J. Eng.*, vol. 2017, no. 13, pp. 671–675, 2017, doi: 10.1049/joe.2017.0414.

- [4] Z. A. Kamaruzzaman and A. Mohamed, "Dynamic voltage stability of a distribution system with high penetration of grid-connected photovoltaic type solar generators," *J. Electr. Syst.*, vol. 12, no. 2, pp. 239–248, 2016
- [5] P. P. Rezky, "Studi Analisa Stabilitas Transien Sistem Jawa-Madura-Bali," *Gastron. ecuatoriana y Tur. local.*, vol. 1, no. 69, pp. 5–24, 1967.
- [6] K. Prabha, "Power System Stability and Control," *Power System Stability and Control*. p. 1199, 1965, doi: 10.1016/c2013-0-08253-9.
- [7] L. L. Grigsby, "The Electric Power Engineering Handbook". New York: CRC/IEEE, 2001.
- [8] Y. Mansour, "Voltage stability of power systems: concepts, analytical tools, and industry experience", IEEE power Engineering Society, Piscataway: IEEE, cop. 1990
- [9] J. Katz. Grid-Integrated Distributed Solar: Addressing Challenges for Operations and Planning, Greening the Grid (Fact Sheet) (n.d.).
- [10] B. Belcher, B.J. Petry, T.Davis, K. Hatipoglu, "The Effect of Major Solar Integration on a 21-Bus Sytem: Technology review and PSAT Simulation", conf. Proc-IEEE Southeast con (2017);
- [11] C. A. Canizares and F. L. Alvarado, "Point of collapse and continuation methods for large AC/DC systems," IEEE Trans. Power Syst., vol. 8, no. 1, pp. 1–8, Feb. 1993.
- [12] T. V. Cutsem and C. Vournas, Voltage Stability of Electric Power Systems. Springer, 1998
- [13] C. W. Taylor, "Power System Voltage Stability," Mc Graw-Hill New York, NY, USA, 1993.
- [14] Z. A. Kamaruzzaman, A. Muhammad, H. Shareef, Effect Of Grid-Connected Photovoltaic Systems On Static And Dynamic Stability With Analysis Techniques-A Review, Doi:10.15199/48.2015.06.07
- [15] B. Gao. G. K. Morison, and P. Kundur, "Voltage Stability Analysis Using Static and Dynamic Approaches," IEEE Transactions On Power System, Vol. 8. no.3, pp. 1159-1171, 1993.
- [16] V. Custem and C. Vournas, Voltage Stability Analysis in Electrical Power Systems, Springer Science, New York, NY, USA, 1998.
- [17] Mahmud, M. A., Pota, H. R., Hossain, M. J., "Dynamic stability of three-phase grid-connected photovoltaic system using zero dynamic design approach," IEEE Journal of Photovoltaics, Oct. 2012, vol.2, no.4, pp.564-571
- [18] Brenna, M., Faranda, R., Leva, S., "Dynamic Analysis Of A Network Topology For High Power Grid Connected PV Systems," IEEE Power and Energy Society General Meeting, July 2010, vol., no., pp.1-7
- [18] J. Ma, X. S. Li, and X. S. Zhou, "e comments on dynamic bifurcation of voltage stability in power systems," ICIE, IEEE, vol. 355, pp. 272–275, 2010.
- [20] A. F. Gusnanda, Sarjiya, and L. M. Putranto, "Effect of distributed photovoltaic generation installation on voltage profile: A case study of rural distribution system in Yogyakarta Indonesia," *2019 Int. Conf. Inf. Commun. Technol. ICOIACT 2019*, pp. 750–755, 2019, doi: 10.1109/ICOIACT46704.2019.8938534.
- [21] Yan, R., Saha, T. K., "Investigation Of Voltage Stability For Residential Customers Due To High Photovoltaic Penetrations," IEEE Transactions On Power Systems, May 2012, Vol.27, No.2, Pp.651-662