

ANALISIS PENGARUH INTEGRASI PLTS *ON-GRID* TERHADAP STABILITAS TEGANGAN SISTEM DISTRIBUSI LISTRIK MAUMERE PADA PENYULANG GELITING

¹Yohanes Moa, ²Awan Uji Krismanto, ³Irrine Budi Sulistiawati
Teknik Elektro, Institut Teknologi Nasional, Malang

¹moayohan@gmail.com, ²awan_uji_krismanto@lecturer.itn.ac.id, ³irrine@lecturer.itn.ac.id

Abstrak— Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dampak integrasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) terhubung ke jaringan listrik umum (*on-grid*) terhadap stabilitas tegangan dalam sistem distribusi listrik di Maumere, khususnya pada penyulang Geliting. Metode analisis melibatkan pemodelan dan simulasi menggunakan *software* ETAP 16.0.0. Analisis dimulai dengan pemodelan karakteristik sistem distribusi listrik terkait, termasuk parameter sistem dan profil beban. Selanjutnya, integrasi PLTS dengan variasi kapasitas terpasang dan lokasi penempatannya disimulasikan untuk mengevaluasi dampaknya terhadap tegangan di titik-titik kritis dalam jaringan distribusi. Hasil analisis menunjukkan bahwa integrasi PLTS dapat memberikan kontribusi positif terhadap stabilitas tegangan dalam sistem distribusi listrik Maumere. Dengan memilih kapasitas PLTS yang tepat dan lokasi penempatannya yang strategis, dapat dicapai penurunan fluktuasi tegangan dan peningkatan kinerja keseluruhan sistem. Penelitian ini memberikan pandangan mendalam tentang manfaat integrasi PLTS *on-grid* dalam meningkatkan kinerja dan keberlanjutan sistem distribusi listrik di Maumere. Implikasi praktis dari temuan ini dapat digunakan sebagai dasar untuk pengembangan kebijakan energi terbarukan dan pengelolaan infrastruktur listrik yang berkelanjutan di wilayah tersebut.

Kata Kunci: PLTS On-Grid, Jaringan Distribusi, Kestabilan Tegangan, ETAP 16.0.0

I. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik semakin meningkat dari waktu ke waktu. Menurut data yang di laporkan oleh Kementerian ESDM, penggunaan listrik per kapita Indonesia di tahun 2022 menyentuh angka 1.173 KWh/kapita. Peningkatan konsumsi listrik ini sebesar 4% dibanding tahun 2021 (*years-on-years/yoy*), sekaligus menjadi rekor baru dalam lima dekade terakhir[1].

Dalam mendistribusikan tenaga listrik ke konsumen, seringkali terjadi jatuh tegangan dan rugi-rugi daya karena peningkatan kebutuhan energi listrik. Jatuh tegangan akan menyebabkan rugi daya dan melanggar standar PLN. Jatuh tegangan yang diperbolehkan antara 0,95-1,05 pu [2].

Kestabilan tegangan adalah kemampuan suatu sistem tenaga listrik untuk mempertahankan tegangan pada titik pengiriman daya dalam batas yang ditentukan di bawah kondisi dinamik yang berubah-ubah, seperti variasi beban, gangguan pada jaringan, atau kegagalan peralatan. Kestabilan tegangan saluran distribusi sangat penting untuk menjaga keandalan dan kualitas daya listrik yang dihasilkan oleh sistem tenaga listrik. Kestabilan tegangan adalah kemampuan suatu sistem tenaga listrik untuk mempertahankan tegangan pada titik pengiriman daya dalam batas yang ditentukan dibawah kondisi dinamik yang berubah-ubah[3].

Tegangan yang tidak stabil dapat menyebabkan berbagai masalah, seperti gangguan sistem, kegagalan peralatan, dan bahkan kerusakan pada peralatan dan jaringan. Oleh karena itu, perlu dilakukan Analisis terhadap pengaruh integrasi PLTS pada sistem distribusi terhadap kestabilan saluran distribusi agar dapat memberikan solusi dalam penanganan masalah yang ada.

Pada penelitian ini dilakukan analisis aliran daya menggunakan metode *Newton-Raphson*. Analisis yang digunakan adalah analisis aliran daya dengan menggunakan metode *Newton-Raphson* kemudian disimulasikan menggunakan *software* ETAP (*Electrical Transient Analyzer Program*).

II. KAJIAN PUSTAKA

A. Sistem Jaringan Distribusi

Sistem distribusi merupakan bagian dari sistem energi listrik. Sistem distribusi ini berguna dalam menyalurkan energi listrik dari sumber listrik yang besar (Large Power Sources) ke konsumen. Oleh karena itu fungsi distribusi tenaga listrik adalah : 1) menyalurkan atau menyalurkan tenaga listrik ke beberapa lokasi (pelanggan) dan 2) merupakan subsistem energi listrik yang langsung terhubung dengan pelanggan, karena penyaluran tenaga

listrik ke pusat-pusat beban (pelanggan) adalah dilakukan langsung melalui jaringan distribusi[4].

Terdapat beberapa tipe jaringan distribusi, diantaranya:

1) Sistem Radial

Sistem radial hanya memiliki satu catu daya dan satu pengisi daya. Jika terjadi gangguan pada salah satunya (saluran listrik atau hantaran listrik), maka seluruh beban yang disediakan oleh jaringan ini akan dimatikan. Sistem radial ini mempunyai nilai keandalan yang rendah, keandalan sistem memenuhi tingkat kontinuitas 1 dan umumnya kompatibel dengan jaringan eksternal.

2) Sistem Loop/Ring

Sistem loop ini merupakan gabungan dari dua sistem radial. Secara umum pengoperasian normal, sistem ini hampir sama dengan sistem radial. Sistem loop menunjukkan kandalan dan kontinuitas yang lebih baik dibandingkan sistem radial. Sistem *loop* memiliki dua sumber daya dan arah pengisian daya, salah satunya dapat digunakan sumber daya cadangan, sistem ini banyak digunakan di jaringan publik institusi dan industri penting seperti rumah sakit dan pusat pemerintah.

3) Sistem Spindle

Sistem ini merupakan modifikasi dari sistem cincin (ring) yang terdiri dari beberapa sistem radial. Sistem ini terdiri dari beberapa jalur pengumpan, masing-masing berasal dari gardu induk utama dan terminal-terminalnya dihubungkan ke garud induk *switching*.

4) Sistem Gugus (*Mesh/Grid*)

Konfigurasi cluster banyak digunakan di kota-kota besar dengan kepadatan beban tinggi. Sistem ini memiliki pemutus arus beban dan pengisi daya cadangan. Selama pengisi daya darurat beroperasi, apabila terjadi gangguan pada salah satu pengisi daya konsumen maka pengisi daya darurat akan menggantikan fungsi yang diberikan kepada konsumen.

B. Pembangkit Listrik tenaga Surya (PLTS)

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah salah satu Energi Baru Terbarukan yang memanfaatkan radiasi matahari sebagai sumber energinya. 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[5].

Dalam sistem PLTS, konfigurasi sistem PLTS yang sering digunakan antara lain:

1) PLTS *Off-grid*

Sistem pembangkit listrik tenaga surya terpusat (*off-grid*) adalah sistem pembangkit listrik yang menggunakan radiasi matahari tanpa terhubung dengan jaringan listrik PLN. Dengan kata lain, satu-satunya sumber pembangkit listrik adalah dengan menggunakan panel surya atau fotovoltaik untuk memanfaatkan radiasi matahari guna menghasilkan listrik.

2) PLTS *On-grid*:

Sistem PLTS (On-Grid) atau yang disebut dengan *Grid Connected PV System* merupakan sistem pembangkit listrik yang memanfaatkan radiasi matahari untuk menghasilkan listrik. Dan sesuai dengan namanya, maka sistem ini akan dihubungkan dengan jaringan PLN dengan mengoptimalkan pemanfaatan energi matahari melalui modul surya atau photovoltaic modul yang menghasilkan listrik semaksimal mungkin. Sistem ini juga dianggap ramah lingkungan dan bebas emisi. Sistem PLTS terinterkoneksi juga merupakan sebuah solusi green energi bagi masyarakat perkotaan baik perkantoran maupun perumahan yang bertujuan untuk dapat memperkecil tagihan rekening listrik dari PLN dan dapat memberikan nilai tambah kepada pemiliknya[6].

C. Stabilitas Tegangan

Stabilitas tegangan adalah kemampuan suatu sistem tenaga listrik untuk mempertahankan tegangan pada titik pengiriman daya dalam batas yang ditentukan di bawah kondisi dinamik yang berubah-ubah, seperti variasi beban, gangguan pada jaringan, atau kegagalan peralatan[7].

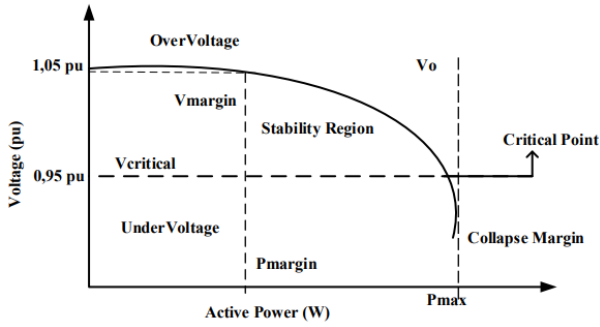
Apabila tegangan sistem dibawah 0,95 p.u maka tegangan sistem mengalami *undervoltage* dan jika besarnya tegangan pada sistem lebih dari 1,05 p.u maka tegangan sistem mengalami *overvoltage*[8].

Sistem akan memasuki keadaan ketidakstabilan aliran daya pada saat terjadi gangguan, meningkatkan permintaan setiap beban dan adanya perubahan-perubahan kondisi sistem. Keadaan ini akan menyebabkan penurunan performa sistem, sehingga aliran daya menjadi tidak seimbang. Akibatnya berdampak pada profil tegangan menurun dan kerugian daya (*losses*) pada sistem distribusi semakin besar[9]. Stabilitas tegangan dibagi menjadi 2 jenis yaitu stabilitas tegangan statis dan stabilitas tegangan dinamis.

1) Stabilitas Tegangan Statis

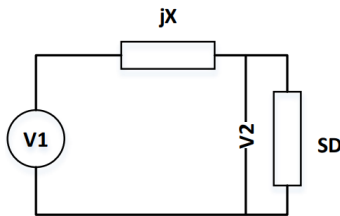
Melalui Analisa stabilitas tegangan statis dapat diterapkan dalam operasi waktu nyata dan perhitungan yang cepat, sehingga sebagian besar masalah dapat diselesaikan karena beberapa informasi yang diperlukan terkait dengan status stabilitas tegangan sistem. Teknik Analisa kesetabilan statis ini biasanya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

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 jatuh tegangan. Semua analisis tersebut digunakan untuk menentukan titik collaps (Pmax), yaitu berdasarkan titik dimana tegangan mengalami penurunan pada beban maksimum yang dapat ditoleransi oleh sistem. Titik jatuh tegangan terjadi pada saat sistem tenaga mengalami gangguan atau sistem dalam kondisi kurang daya reaktif.



Gambar 1. Grafik P-V

Dari grafik di atas 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 lebih dari 1,05 pu sistem akan mengalami *overvoltage*[10].



Gambar 2. Rangkaian sistem 2 bus

Pada gambar 2 diasumsikan beban kompleks adalah $S_{12} = jQ_{12}$.

Dimana:

V_1 = tegangan ujung pengirim

V_2 = tegangan ujung penerima

$\cos \theta$ = faktor daya beban (*power factor*)

Sehingga:

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

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

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

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:

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

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

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

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 dapat dikteahui bahwa:

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

Sehingga,

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

Dari hasil persamaan Q_D dan P_D , di dapatkan 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 ini diketahui bahwa daya yang disalurkan ke beban, reaktansi saluran, dan faktor daya dapat mempengaruhi tegangan pada suatu titik beban[11].

2) Stabilitas Tegangan Dinamis

Kestabilan tegangan dinamis adalah kemampuan sistem tenaga listrik untuk mempertahankan profil tegangan yang stabil dan dapat diterima pada setiap bus dalam sistem, terutama selama terjadi gangguan atau perubahan beban yang signifikan. Analisis kestabilan tegangan dinamis dilakukan untuk memastikan bahwa sistem tenaga listrik dapat mempertahankan profil tegangan yang stabil dan dapat diterima pada setiap bus dalam sistem, bahkan selama kondisi operasi yang ekstrem.

Analisis stabilitas tegangan dinamis sangat penting dalam perencanaan dan desai jaringan listrik selama operasi sistem. Analisis kestabilan tegangan dinamis didasarkan pada persamaan diferensial dengan melihat bagaimana tegangan bus bervariasi dengan perubahan parameter operasi sistem.

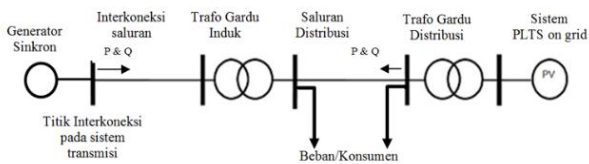
Analisis stabilitas tegangan dinamis digunakan untuk mengevaluasi perilaku tegangan selama gangguan pada sistem distribusi. Dengan mempelajari analisis domain waktu dengan mempertimbangkan gangguan pada lokasi dan gangguan tertentu[12].

D. Analisa Aliran Daya

Konsep perhitungan *Load Flow* atau aliran daya adalah menghitung faktor-faktor dasar dalam sistem tenaga listrik, seperti besarnya beda potensial dan sudut fasa tegangan. Dalam proses perhitungan aliran daya dilakukan perhitungan terhadap besarnya daya aktif (P) dan daya reaktif (Q), sehingga berdasarkan perhitungan P dan Q ini dilakukan analisis terhadap jatuhnya tegangan dan rugi-rugi daya pada pembangkit maupun beban[13].

Suatu sistem yang ideal adalah dimana daya yang di kirim oleh sumber akan sama hasilnya dengan daya yang diterima oleh beban. Namun pada kenyataannya, daya yang dikirim oleh sumber tidak akan sama dengan daya yang diterima beban. hal ini di sebabkan beberapa faktor, antara lain:

1. Panjang saluran distribusi
2. Impedansi saluran distribusi
3. Tipe beban dan jumlah beban pada saluran distribusi.



Gambar 3. Diagram aliran daya

Generator Sinkron (GS) terhubung dengan interkoneksi saluran distribusi. Sistem PLTS *on-grid* terkoneksi dengan gardu distribusi (GD) tanpa melalui Gardu Induk (GI).

Analisa aliran daya pada penelitian ini menggunakan metode *Newton-Raphson*. Dalam metode ini, persamaan aliran daya dirumuskan dalam bentuk polar.

Persamaan daya aktif pada bus I , yaitu:

$$P_i = \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} + \delta_i - \delta_j) \quad (1)$$

Persamaan daya reaktif pada bus I , yaitu:

$$Q_i = \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} + \delta_i - \delta_j) \quad (2)$$

Apabila $\Delta P_i^{(k)}$ dan $\Delta Q_i^{(k)}$ belum mencapai nilai konvergensi pada iterasi awal, maka dilanjutkan dengan membentuk elemen-elemen matriks *Jacobian*. Hitung nilai baru dari sudut fasa $\delta^{(k+1)}$ dan tegangan $|V^{(k+1)}|$

$$\delta_i^{(k+1)} = \delta_i^{(k)} + \Delta \delta_i^{(k)} \quad (3)$$

$$|V_i^{(k+1)}| = |V_i^{(k)}| + \Delta |V_i^{(k)}| \quad (4)$$

Apabila telah mendapatkan nilai baru sudut fasa dan

tegangan maka kembali ke proses iterasi selanjutnya. Proses iterasi akan berhenti jika nilai konvergen (ϵ) sudah dipenuhi:

Daya yang mengalir dari bus i ke bus j diperoleh dengan persamaan

$$S_{ij} = P_{ij} + jQ_{ij} = V_i \cdot I_{ij}^* \quad (5)$$

Sebaliknya, arus yang mengalir dari bus j ke bus I diperoleh dengan persamaan

$$I_{ji} = (V_j + V_i)Y_{ij} + V_j \frac{Y_{ji}}{2} \quad (6)$$

Sebaliknya juga, daya yang mengalir dari bus j ke bus I diperoleh dengan persamaan

$$S_{ji} = P_{ij} + jQ_{ij} = V_i \cdot I_{ij}^* \quad (7)$$

Sehingga persamaan rugi-rugi daya pada saluran $i-j$ dituliskan:

$$SL_{ij} = S_{ij} + S_{ji} \quad (8)$$

Dimana:

$|V_i^{(k+1)}|$ = Nilai magnitude tegangan baru

$|V_i^{(k)}|$ = Nilai magnitude tegangan lama

$\Delta |V_i^{(k)}|$ = Nilai koreksi tegangan

$\delta_i^{(k+1)}$ = Sudut fasa tegangan baru

$\delta_i^{(k)}$ = Sudut fasa tegangan lama

$\Delta \delta_i^{(k)}$ = Nilai koreksi sudut fasa

Proses penyelesaian iterasi akan berhenti jika nilai konvergensi (ϵ) sudah terpenuhi. Penurunan tegangan pada saluran distribusi adalah selisih antara tegangan ujung pengiriman dengan tegangan ujung penerima. Pada saluran bolak balik besar kecilnya jatuh tegangan tergantung nilai impedansi, admitansi saluran, beban, dan faktor daya.

E. ETAP

ETAP (Electrical Transient Analysis Program) merupakan sebuah software yang berfungsi sebagai penganalisis sebuah sistem kelistrikan secara rinci. Mulai dari *power*, bahkan hingga *network*. ETAP mampu bekerja secara *offline* untuk menganalisis *load flow*, *short circuit*, *harmonic*, maupun pengamanan pada motor. METODOLOGI PENELITIAN

F. Teknik Pengumpulan Data

Penelitian ini difokuskan untuk menganalisa kestabilan tegangan pada sistem distribusi listrik Maumere yang terintegrasi dengan PLTS 1 MWp Wairita. Untuk memperoleh data yang akan menunjang penelitian ini, dilakukan studi literatur dan pengambilan data di PLN ULP Maumere. Terdapat 3 tahapan dalam menganalisa yaitu:

1) Kajian literatur

Yaitu kajian pustaka yang mempelajari teori-teori terkait kemudian referensi berupa buku-buku dan jurnal internasional yang ada dan berhubungan dengan penelitian ini.

2) Pengumpulan data

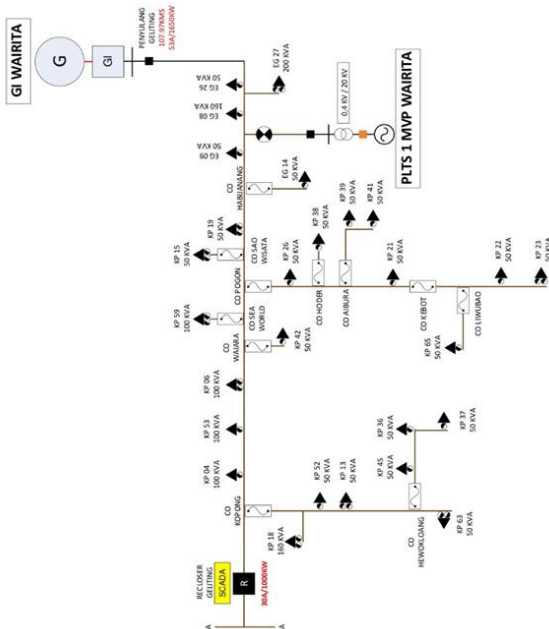
Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sistem jaring distribusi berupa single line diagram, data *branch*, data jenis kabel dan data saluran. Kemudian untuk data PV yang terpasang yaitu sebesar 1 MWp. Setelah itu dari data yang ada, disimulasikan kedalam software ETAP 16.0.0.

3) Simulasi dan analisa

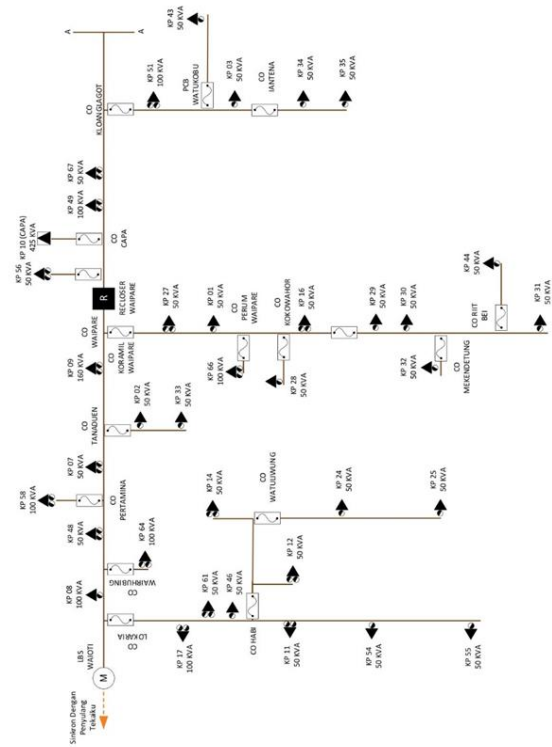
Simulasi dan analisa yang dilakukan dengan menggunakan *software* ETAP 16.0.0 adalah Analisa aliran daya dan Analisa kestabilan tegangan. Dari hasil simulasi yang diperoleh kemudian dianalisa kondisi kestabilan tegangan saat kondisi normal dan kondisi setelah injeksi daya PLTS sebesar 1 MWp.

G. Single Line Diagram Penyulang Geliting

Pada gambar 4 dan gambar 5 menunjukkan Single Line Diagram dari sistem distribusi listrik yang digunakan pada penelitian ini, yaitu penyulang Geliting, ULP Maumere, Nusa Tenggara Timur..



Gambar 4. Single Line Diagram Penyulang Geliting (a)



Gambar 5. Single Line Diagram Penyulang geliting (b)

H. Data Transformator

Data transformator yang didapatkan merupakan data kapasitas setiap trafo yang ada pada sistem distribusi penyulang Geliting.

Tabel 1. Data Transformator

KODE TRAF0	RATING (KVA)	KODE TRAF0	RATING (KVA)
EG08	50	KP34	50
EG09	160	KP35	50
EG14	50	KP36	50
EG26	50	KP37	50
EG27	200	KP38	50
GI WAIRITA	40000	KP39	50
KP01	50	KP41	50
KP02	50	KP42	50
KP03	50	KP43	50
KP04	100	KP44	50
KP06	100	KP45	50
KP07	50	KP46	50
KP09	160	KP48	50
KP10 (CAPA)	425	KP49	100
KP12	50	KP50	50

KP13	50	KP51	100
KP14	50	KP52	50
KP15	50	KP53	100
KP16	50	KP54	50
KP17	100	KP55	50
KP18	160	KP56	50
KP19	50	KP58	100
KP21	50	KP59	100
KP22	50	KP60	50
KP23	50	KP61	50
KP25	50	KP63	50
KP26	50	KP64	100
KP27	50	KP65	50
KP28	50	KP66	50
KP29	50	KP67	50
KP30	50	T1	1000
KP31	50		
KP32	50		
KP33	50		

<i>Cable30</i>	70	1020	0,568	0,142
<i>Cable31</i>	70	1000	0,568	0,142
<i>Cable32</i>	70	1008	0,568	0,142
<i>Cable33</i>	70	1101	0,568	0,142
<i>Cable34</i>	70	645	0,568	0,142
<i>Cable35</i>	70	1081	0,568	0,142
<i>Cable36</i>	70	589	0,568	0,142
<i>Cable45</i>	70	918	0,568	0,142
<i>Cable46</i>	70	578	0,568	0,142
<i>Cable47</i>	70	690	0,568	0,142
<i>Cable48</i>	70	977	0,568	0,142
<i>Cable49</i>	70	1021	0,568	0,142
<i>Cable52</i>	70	1003	0,568	0,142
<i>Cable53</i>	70	1006	0,568	0,142
<i>Cable54</i>	70	1000	0,568	0,142
<i>Cable55</i>	70	891	0,568	0,142
<i>Cable56</i>	70	794	0,568	0,142
<i>Cable57</i>	70	869	0,568	0,142
<i>Cable58</i>	70	1080	0,568	0,142
<i>Cable59</i>	70	865	0,568	0,142
<i>Cable60</i>	70	1066	0,568	0,142
<i>Cable61</i>	70	1054	0,568	0,142
<i>Cable66</i>	70	100,6	0,568	0,142
<i>Cable67</i>	70	608	0,568	0,142
<i>Cable68</i>	70	804	0,568	0,142
<i>Cable69</i>	70	547	0,568	0,142
<i>Cable70</i>	70	477	0,568	0,142
<i>Cable71</i>	70	558	0,568	0,142
<i>Cable74</i>	70	708	0,568	0,142
<i>Cable75</i>	70	1109	0,568	0,142
<i>Cable82</i>	70	542	0,568	0,142
<i>Cable83</i>	70	714	0,568	0,142
<i>Cable85</i>	70	716	0,568	0,142
<i>Cable86</i>	70	609	0,568	0,142
<i>Cable87</i>	70	907	0,568	0,142
<i>Cable95</i>	70	658	0,568	0,142
<i>Cable96</i>	70	994	0,568	0,142
<i>Cable97</i>	70	861	0,568	0,142
<i>Cable98</i>	70	835	0,568	0,142
<i>Cable99</i>	70	759	0,568	0,142
<i>Cable100</i>	70	846	0,568	0,142
<i>Cable101</i>	70	895	0,568	0,142
<i>Cable105</i>	70	574	0,568	0,142
<i>Cable106</i>	70	864	0,568	0,142
<i>Cable107</i>	70	787	0,568	0,142
<i>Cable109</i>	70	634	0,568	0,142
<i>Cable110</i>	70	812	0,568	0,142
<i>Cable114</i>	70	636	0,568	0,142
<i>Cable116</i>	70	230	0,568	0,142

I. Data Kabel

Tabel 2. Data Kabel

<i>Cable ID</i>	<i>Size (mm²)</i>	<i>Adj. (m)</i>	<i>Impedansi</i>	
			<i>R (Ω)</i>	<i>X (Ω)</i>
<i>Cable3</i>	70	451	0,5681	0,2607
<i>Cable4</i>	70	990	0,568	0,142
<i>Cable5</i>	70	795	0,568	0,142
<i>Cable6</i>	70	654	0,568	0,142
<i>Cable7</i>	70	975	0,568	0,142
<i>Cable9</i>	70	795	0,568	0,142
<i>Cable10</i>	70	754	0,568	0,142
<i>Cable11</i>	70	979	0,568	0,142
<i>Cable12</i>	70	497	0,568	0,142
<i>Cable13</i>	70	869	0,568	0,142
<i>Cable14</i>	70	1000	0,568	0,142
<i>Cable15</i>	70	559	0,568	0,142
<i>Cable16</i>	70	1099	0,568	0,142
<i>Cable17</i>	70	779	0,568	0,142
<i>Cable18</i>	70	1067	0,568	0,142
<i>Cable19</i>	70	1036	0,568	0,142
<i>Cable20</i>	70	1108	0,568	0,142
<i>Cable23</i>	70	647	0,568	0,142
<i>Cable25</i>	70	796	0,568	0,142
<i>Cable26</i>	70	976	0,568	0,142
<i>Cable27</i>	70	649	0,568	0,142
<i>Cable28</i>	70	771	0,568	0,142
<i>Cable29</i>	70	579	0,568	0,142

J. PLTS Wairita 1 MWp

PLTS Wairita terletak di wairbleler, Kec. Waigete, Kabupaten Sikka, Nusa Tenggara Timur. Dari single line pada gambar 3 dapat diperhatikan bahwa PLTS Wairita terhubung dengan penyulang geliting dengan kode gardu EG09. Total daya listrik yang dihasilkan oleh PLTS Wairita sebesar 1 MWp.



Gambar 6. PLTS Wairita

K. Data Beaban

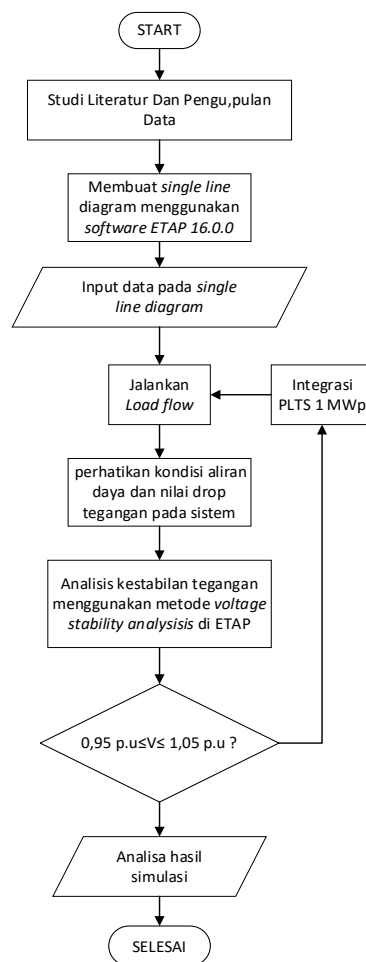
Data beban yang digunakan adalah asumsi dari pembebanan transformator sesuai standar PLN. Menurut Standar Perusahaan Listrik Negara (PLN), pembebanan pada transformator tidak melebihi 80%, jadi apabila kondisi pembebanan tinggi maka transformator akan menjadi kelebihan beban (Overload) sehingga dapat mengurangi usia dari transformator dan juga dapat menyebabkan kerusakan akibat panas yang berlebih[14].

Tabel 3. Data Beban Penyulang Geliting

Load ID	Load		Load ID	Load	
	Rating (KVA)	Rating (KW)		Rating (KVA)	Rating (KW)
Load1	25,98	25,23	Load32	23,6	21,79
Load2	121,6	117,8	Load33	22,1	20,44
Load3	26,3	25,32	Load34	22,7	20,98
Load4	90,35	86,56	Load35	26,9	24,74
Load5	28,88	27,53	Load37	53,5	49,25
Load6	27,9	26,48	Load38	24,7	22,49
Load7	25,1	23,81	Load39	23,1	21,06
Load8	24	22,67	Load40	28,1	25,46
Load9	29,1	27,32	Load41	23,12	21,06
Load10	15,9	15,9	Load42	24,1	21,92
Load11	21,08	19,95	Load43	22	20,05
Load12	26,1	24,57	Load44	22,7	20,67
Load13	27	25,38	Load45	29,6	26,75
Load14	29,8	27,92	Load46	26	23,59

Load15	29	27,2	Load47	29,6	26,75
Load16	57,31	53,68	Load48	87,94	79,82
Load17	59	54,84	Load49	24,81	22,56
Load18	42,8	39,96	Load50	28	25,38
Load19	55,3	51,14	Load51	21	19,16
Load20	27,7	26,09	Load52	58,1	52,51
Load21	28	25,78	Load53	23,7	21,53
Load22	22,4	20,74	Load54	25,9	23,79
Load23	24,9	22,99	Load55	55,2	49,88
Load24	29,6	27,18	Load56	26,6	24,05
Load25	30	27,54	Load57	20,4	18,56
Load26	22,7	20,92	Load58	30	26,99
Load27	25	23,08	Load59	29,2	26,29
Load28	26	24,35	Load60	24,15	21,86
Load29	60,2	54,9	Load61	22	19,96
Load30	31,2	28,26	Load62	27,32	24,66
Load31	221,7	203,4	Load63	20,8	18,9
Load32	23,6	21,79	Load64	25	22,62

L. Flowchart



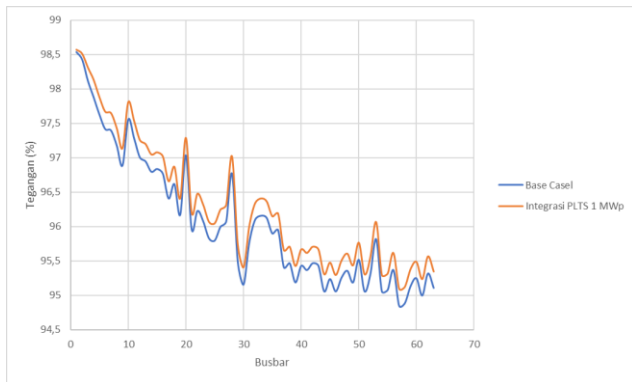
Gambar 7. Diagram Alir Penelitian

III. SIMULASI DAN ANALISA

A. Running Analisa Aliran Daya (Load Flow Analysis)

Sebelum melakukan analisis kestabilan, perlu di ketahui terlebih dahulu aliran daya (*load flow*) untuk memahami besaran daya dalam sistem tenaga listrik apakah memenuhi batas yang sudah ditentukan. Hasil run dari *load flow* selanjutnya bisa disebut sebagai kondisi *base case*. *Single line* hasil *running load flow analysis* akan di masukan kedalam lembar lampiran pada halaman terakhir.

Simulasi analisis aliran daya yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui kinerja dan kondisi aliran daya dalam keadaan tertentu baik saat kondisi *base case* maupun setelah integrasi PLTS. Studi aliran daya juga dapat memberikan informasi tentang tegangan pada tiap titik, dan rugi-rugi saluran dan pembangkit.



Gambar 8. Hasil *Running* Aliran Daya Sebelum dan Sesudah Integrasi PLTS

Dari Gambar 8 menunjukkan Grafik profil tegangan pada penyulang Geliting sebelum integrasi PLTS dan setelah Integrasi PLTS. Sedangkan tabel dibawah ini menunjukkan profil tegangan pada penyulang Geliting saat *base case* dan setelah terintegrasi dengan PLTS 1 MWp Wairita.

Tabel 4. Hasil Load Flow Profil tegangan

Terminal Bus ID	Tegangan (%)	
	Sebelum integrasi PLTS	Sesudah Integrasi PLTS 1 MWp
bus78	98,54	98,57
bus79	98,43	98,51
bus80	98,12	98,31
bus83	97,88	98,13
bus84	97,63	97,88
bus85	97,42	97,67
bus86	97,4	97,65
bus87	97,18	97,43
bus88	96,89	97,14
bus89	97,56	97,81
bus90	97,29	97,54
bus91	97,01	97,26
bus92	96,95	97,2
bus93	96,8	97,05

bus94	96,84	97,08
bus95	96,77	97,02
bus96	96,41	96,66
bus97	96,62	96,87
bus98	96,17	96,41
bus99	97,04	97,29
bus114	95,96	96,2
bus100	96,23	96,48
bus101	96,08	96,32
bus102	95,83	96,07
bus103	95,8	96,05
bus104	96	96,25
bus105	96,08	96,32
bus106	96,77	97,02
bus109	95,49	95,74
bus108	95,16	95,41
bus107	95,77	96,01
bus110	96,1	96,34
bus111	96,16	96,41
bus112	96,13	96,37
bus113	95,9	96,15
bus117	95,95	96,19
bus115	95,41	95,66
bus116	95,47	95,71
bus118	95,19	95,43
bus119	95,43	95,67
bus120	95,37	95,62
bus121	95,47	95,71
bus122	95,43	95,67
bus123	95,06	95,31
bus124	95,24	95,48
bus125	95,06	95,3
bus126	95,26	95,51
bus131	95,36	95,61
bus127	95,19	95,44
bus128	95,52	95,77
bus129	95,06	95,31
bus130	95,31	95,56
Bus202	95,82	96,07
bus132	95,06	95,3
bus133	95,08	95,32
bus134	95,37	95,62
bus135	94,85	95,1
bus136	94,89	95,13
bus137	95,14	95,39
bus139	95,25	95,49
bus140	95	95,24
bus141	95,32	95,57
bus142	95,11	95,35

Dari grafik pada gambar 8 dan tabel 4 menunjukkan bahwa busbar 135, busbar 136 dan busbar 140 menampilkan *alert marginal* yang menandakan bahawa titik-titik tersebut berpotensi mengalami *undervoltage* hingga dibawah ketentuan. Besarnya tegangan pada busbar 135 yaitu 94,85%, busbar 136 sebesar 94,88% dan busbar 140 sebesar 95%. Ketika sistem terintegrasi dengan PLTS 1 MWp kedalam sistem distribusi dapat memperbaiki profil tegangan pada penyulang Geliting.

B. Analisis Kestabilan Statis

Salah satu faktor yang mempengaruhi kestabilan tegangan adalah perubahan statis yang dihasilkan oleh pembangkit listrik, terutama pembangkit listrik terbarukan seperti PLTS. Oleh karena itu dari grafik hasil *load flow* pada Gambar 4 dapat diketahui bahwa dengan adanya integrasi PLTS kedalam sistem distribusi listrik penyulang Geliting dapat memperbaiki profil tegangan pada sistem, sehingga bisa dikatakan bahwa sistem ini dalam keadaan stabil.

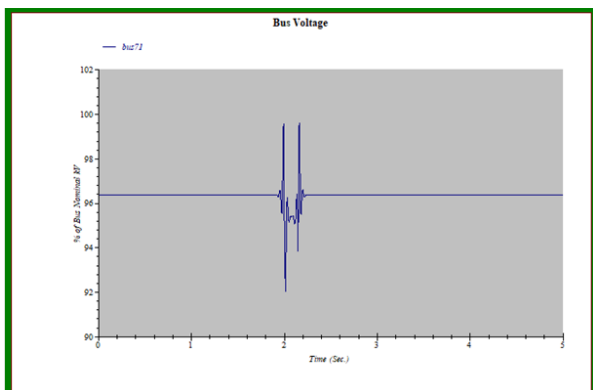
C. Analisis Kestabilan Dinamis

Dalam sub bab ini dilakukan analisa kestabilan tegangan pada busbar yang diberi gangguan (*fault*) dan busbar yang berada di dekatnya. Analisa dilakukan pada busbar yang sama dengan 2 kondisi, yaitu saat *base case* dan kondisi setelah integrasi PLTS dengan daya sebesar 1 MWp. Analisis kestabilan dilakukan dengan memberikan gangguan (*Fault*) pada salah satu titik bus, kemudian dilanjutkan dengan menganalisa kondisi tegangan pada bus-bar terdekat dengan titik gangguan.

1) Line to Ground Fault Pada Busbar 135

Analisa kestabilan dinamis dilakukan dengan memberikan gangguan berupa fasa ke tanah (Line to Ground) pada busbar 135, kemudian dilakukan analisa stabilitas dinamis pada busbar 71

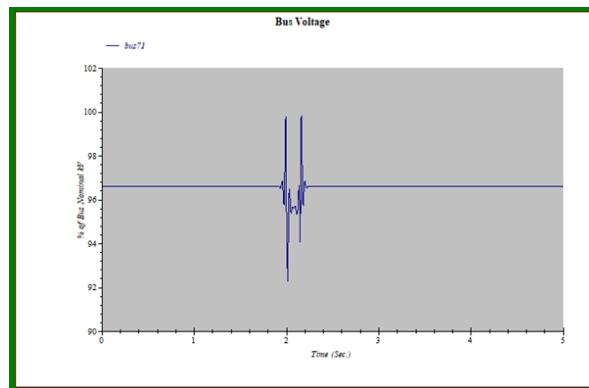
a) Busbar 71 Sebelum Integrasi PLTS



Gambar 2. Busbar 71 Sebelum Integrasi PLTS

Besarnya tegangan pada bus 71 saat base case adalah 96,36%. Setelah diberi gangguan fasa ke tanah pada busbar 135 di detik ke 2 tegangan pada busbar 71 menurun menjadi 95,37% kemudian setelah detik ke 2,15 tegangan kembali menjadi 96,36%.

b) Busbar 71 setelah integrasi PLTS



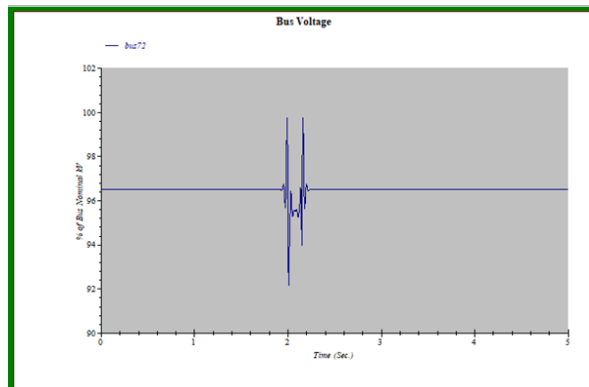
Gambar 3. Busbar 71 Setelah Integrasi PLTS

Besarnya tegangan pada bus 71 saat base case adalah 96,61%. Setelah diberi gangguan fasa ke tanah pada busbar 135 di detik ke 2 tegangan pada busbar 71 menurun menjadi 95,62% kemudian setelah detik ke 2,15 tegangan kembali menjadi 96,36%.

2) Line to Ground Fault Pada Busbar 136

Analisa kestabilan dinamis dilakukan dengan memberikan gangguan berupa fasa ke tanah (Line to Ground) pada busbar 136, kemudian dilakukan analisa stabilitas dinamis pada busbar 72.

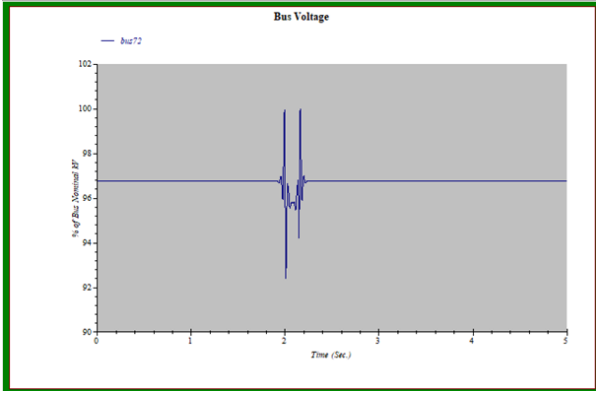
a) Busbar 72 Sebelum Integrasi PLTS



Gambar 4. Busbar 72 Sebelum Integrasi PLTS

Besarnya tegangan pada bus 76 saat base case adalah 96,52%. Setelah diberi gangguan fasa ke tanah pada busbar 135 di detik ke 2 tegangan pada busbar 72 menurun menjadi 95,52% kemudian setelah detik ke 2,15 tegangan kembali menjadi 96,52%.

b) Busbar 136 setelah integrasi PLTS



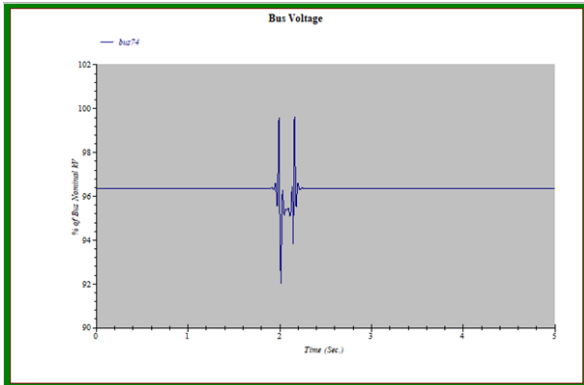
Gambar 5. Busbar 72 setelah Integrasi PLTS

Besarnya tegangan pada bus 72 saat base case adalah 96,75%. Setelah diberi gangguan fasa ke tanah pada busbar 135 di detik ke 2 tegangan pada busbar 72 menurun menjadi 95,76% kemudian setelah detik ke 2,15 tegangan kembali menjadi 96,75%.

3) *Line to Ground Fault* Pada Busbar 140

Analisa kestabilan dinamis dilakukan dengan memberikan gangguan berupa fasa ke tanah (*Line to Ground*) pada busbar 140, kemudian dilakukan pengamatan pada busbar 74.

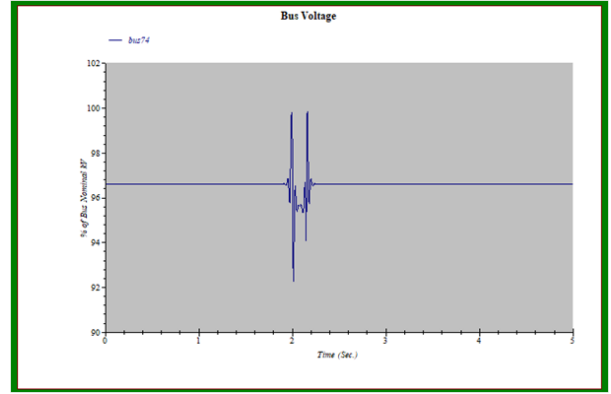
a) busbar 74 sebelum Integrasi PLTS



Gambar 6. Busbar 74 Sebelum Integrasi PLTS

Besarnya tegangan pada bus 74 saat base case adalah 96,36%. Setelah diberi gangguan fasa ke tanah pada busbar 135 di detik ke 2 tegangan pada busbar 74 menurun menjadi 95,37% kemudian setelah detik ke 2,15 tegangan kembali menjadi 96,36%.

b) Busbar 140 setelah integrasi PLTS



Gambar 7. Busbar 74 Stelah Integrasi PLTS

Besarnya tegangan pada bus 74 saat base case adalah 96,61%. Setelah diberi gangguan fasa ke tanah pada busbar 135 di detik ke 2 tegangan pada busbar 74 menurun menjadi 95,62% kemudian setelah detik ke 2,15 tegangan kembali menjadi 96,61%.

4) Hasil Analisa Kestabioan Dinamik

Tabel 5. Hasil Analisa Kestabilan Dinamik.

Ground Fault		Time (second)	Tegangan (%)	
Bus Fault	Respon Bus terdekat		Base Case	Integrasi PLTS
135	71	0,15	95,37	95,62
136	72	0,15	95,52	95,76
140	74	0,15	95,37	95,62

Dari hasil analisa kestabilan dinamik dapat dilihat bahwa respon tegangan setelah bus diberi gangguan berupa *ground fault* dengan melihat respon tegangan pada bus terdekat dengan seting waktu yang ditentukan dan kemudian tegangan dapat kembali pada kondisi normal. Pada tabel 4.6 diperoleh hasil dari simulasi pada bus 135, 136, dan 140 dengan gangguan *ground fault* selama 0,15 detik bahwa dengan adanya integrasi PLTS Wairita 1 MWp kedalam sistem distribusi pada penyulang Geliting dapat lebih baik mempertahankan terjadinya penurunan tegangan dari kondisi *base case* nya.

IV. KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari hasil hasil *load flow* dapat diketahui bahwa dengan adanya integrasi PLTS 1 MWp kedalam sistem distribusi listrik penyulang Geliting dapat memperbaiki profil tegangan pada sistem tersebut.
2. Dari hasil analisa kestabilan tegangan dinamis dapat

diketahui bahwa dengan adanya integrasi PLTS kedalam sistem distribusi pada penyulang Geliting dapat mempertahankan tegangan (kedip tegangan) lebih baik daripada kondisi *base case*.

3. Integrasi PLTS kedalam sistem distribusi listrik pada penyulang Geliting dapat membantu meningkatkan kestabilan tegangan saluran distribusi dengan mengurangi fluktuasi tegangan dan meningkatkan kinerja keseluruhan sistem.

Berdasarkan pembahasan pada penelitian ini, diperoleh saran sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan penelitian lanjutan untuk menentukan kapasitas dan penempatan *Distributed Generation (DG)* dan kapasitor bank untuk mengatasi drop tegangan yang terjadi pada sistem.
2. Data penelitian tentang Analisis kestabilan tegangan perlu diperbaharui sehingga tersedia data yang relevan.

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] “Konsumsi Listrik Penduduk Indonesia Naik pada 2022, Capai Rekor Baru.” Accessed: Dec. 06, 2023. [Online]. Available: <https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2023/02/23/konsumsi-listrik-penduduk-indonesia-naik-pada-2022-capai-rekor-baru>
- [2] M. Eremia and M. Shahidehpour, Eds., *Handbook of electrical power system dynamics: modeling, stability, and control*. in IEEE Press Series on power engineering. Hoboken, New Jersey: IEEE Press/Wiley, 2013.
- [3] D. W. I. Cahya and S. I. Haryudo, “Analisis Kestabilan Transient Dan Pelepasan Beban Saat Terjadi Gangguan Pada Pembangkit Di PTPN X (Persero) PG. Ngadiredjo Kediri,” vol. 07, 2018.
- [4] N. Nurdiana, “Analisa Gangguan Arus Hubung Singkat Pada Penyulang Nakula Gardu Induk Talang Kelapa,” vol. 1, 2016.
- [5] V. K. I. Caesarista, “ANALISIS UNJUK KERJA SISTEM KELISTRIKAN KAMPUS 2 ITN MALANG DENGAN SUPLAI PLTS 0.5 MWp”.
- [6] A. W. Hasanah, T. Koerniawan, and Y. Yuliansyah, “Kajian Kualitas Daya Listrik Plts Sistem Off-Grid Di STT-PLN,” *energi*, vol. 10, no. 2, pp. 93–101, Jan. 2019, doi: 10.33322/energi.v10i2.211.
- [7] Denis, E. W. Sinuraya, J. Windarta, Y. A. A. Soetrisno, and K. Fernanda, “Analysis of Performance and Control of DC Microgrids as Electricity Providers for Renewable Energy,” *E3S Web Conf.*, vol. 317, p. 04032, 2021, doi: 10.1051/e3sconf/202131704032.
- [8] A. S. Addurat and J. Pasupuleti, “The impacts of number of solar photovoltaic units on distribution network losses and voltage profile,” in *2020 IEEE Student Conference on Research and Development (SCORED)*, Batu Pahat, Malaysia: IEEE, Sep. 2020, pp. 249–253. doi: 10.1109/SCORED50371.2020.9250971.
- [9] U. Jayatunga, S. Perera, and P. Ciufu, “Voltage unbalance management in power systems based on IEC 61000-3-13:2008: Implications on the use of ‘kuE factor’,” in *2012 IEEE 15th International Conference on Harmonics and Quality of Power*, Hong Kong, China: IEEE, Jun. 2012, pp. 936–942. doi: 10.1109/ICHQP.2012.6381180.
- [10] M. A. Mahmud, M. J. Hossain, H. R. Pota, and N. K. Roy, “Robust Nonlinear Controller Design for Three-Phase Grid-Connected Photovoltaic Systems Under Structured Uncertainties,” *IEEE Trans. Power Delivery*, vol. 29, no. 3, pp. 1221–1230, Jun. 2014, doi: 10.1109/TPWRD.2014.2309594.
- [11] “L-G-0000002325-0002332165.pdf.”
- [12] “Mahmud et al. - 2014 - Robust Nonlinear Controller Design for Three-Phase.pdf.”
- [13] U. Faruq, A. Ridho, M. Vrayulis, and E. Julio, “Analisa Aliran Daya pada Sistem Tenaga Listrik menggunakan ETAP 12.6,” vol. 6, no. 1, 2021.
- [14] “Syukri et al. - 2022 - Analisa Pembebanan Transformator Distribusi 20 kV .pdf.”

VI. BIODATA PENULIS



Penulis dengan nama lengkap Yohanes Moa lahir pada tanggal 15 april 1999 di maumere. Penulis menempuh pendidikan menengah atas di SMK Negeri 1 Maumere dari 2013 dan tamat pada 2017 dengan bidang keahlian yaitu Teknik Distribusi Tenaga Listrik. kemudian penulis melanjutkan pendidikan di Institut Teknologi Nasional Malang pada tahun 2017 dengan program studi teknik elektro konsentarsi energi listrik.