

# Analisis Performa Interkoneksi PLTS Pada Sistem Kelistrikan 20 kV Lombok Nusa Tenggara Barat

Irrine Budi S<sup>1\*</sup>, I Made Wartana<sup>2</sup>, Cholis Setiawan<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Teknik Elektro S1 ITN Malang, Malang, Indonesia

irrine@lecturer.itn.ac.id, m.wartana@lecturer.itn.ac.id<sup>2</sup>, khusnul018@gmail.com

## Article Info

### Article history:

Received November 23<sup>th</sup>, 2023

Revised December 21<sup>th</sup>, 2023

Accepted December 26<sup>th</sup>, 2023

### Keyword:

Distributed Generation (DG)

ETAP Power Station 12.6

Profil tegangan

Rugi-rugi daya

## ABSTRACT

Panjang saluran distribusi tenaga listrik mempengaruhi profil tegangan dan rugi rugi daya sistem. *Distributed Generation* (DG) kapasitas kecil dan tegangan nominal rendah menjadi salah satu alternatif dalam membangkitkan energi listrik yang dapat meningkatkan profil tegangan dan mereduksi rugi daya sistem akibat panjang saluran distribusi. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan performa sistem akibat interkoneksi DG jenis pembangkit energi surya (PLTS-DG) pada saluran distribusi yang dipresentasikan sebagai peningkatan profil tegangan sekaligus penurunan rugi rugi daya. Uji simulasi dilakukan pada sistem uji IEEE 14-bus dan pada sistem kelistrikan 20 kV Lombok, Nusa Tenggara Barat (NTB) yang terhubung DG menggunakan *software* ETAP *Power Station*. Dengan studi aliran daya menggunakan metode Newton Raphson, performa sistem uji pada kondisi *basecase* dan sesudah pemasangan DG. Profil tegangan dan rugi rugi daya sistem yang mempresentasikan performa akan diamati dari hasil simulasi tersebut. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pemasangan PLTS-DG pada bus 90 di akhir penyulang Sheraton dapat memperbaiki profil tegangan menjadi 0,9552 p.u memenuhi batas margin yang diizinkan. Sedangkan rugi rugi daya total sistem dapat direduksi dari 3,278 MW dan 19,364 MVar menjadi 3,245 MW dan 19,292 MVar.

Copyright © 2023 FORTEI Regional VII Jawa Timur.  
All rights reserved.

### Corresponding Author:

Irrine Budi S

Email: irrine@lecturer.itn.ac.id

## 1. PENDAHULUAN

Penggunaan sumber energi terbarukan seperti tenaga surya dan angin mendapatkan banyak perhatian di seluruh dunia karena kebersihannya pengurangan emisi, dan polusi. Eksploitasi dalam portofolio sistem tenaga meningkat jumlahnya, dengan demikian, menarik minat peneliti [1]. Injeksi unit pembangkitan terdistribusi berbasis fotovoltaik Pembangkit Listrik Tenaga Surya-*Distributed Generation* (PLTS-DG) dalam sistem distribusi listrik dapat berkontribusi pada beberapa manfaat seperti pengurangan kerugian daya, dukungan tegangan, peningkatan kualitas daya dan keandalan sistem [2]. PLTS-DG adalah pembangkit tenaga surya yang terhubung ke jaringan yang ditempatkan lebih dekat ke pusat-pusat beban terlepas dari kapasitas dayanya. Sederhananya, PLTS-DG merupakan pembangkit skala kecil berbasis surya yang terhubung langsung ke jaringan distribusi atau di lokasi meteran konsumen. Kapasitas unit DG mulai dari beberapa kilowatt hingga ratusan

Megawatt. PLTS-DG dapat diklasifikasikan sebagai skala mikro, kecil, menengah dan utilitas [3].

Pemanfaatan PLTS-DG ke dalam sistem distribusi akan menyumbangkan efek positif dan negatif berdasarkan karakteristik itu sendiri dan manajemen operasi dari skema distribusi. Seperti yang dinyatakan dalam [4], dampak PLTS-DG tergantung pada sistem utilitas yang dihubungkan, ukuran unit DG, jumlah kapasitas PLTS relatif terhadap sistem, kapasitas pembangkitan berdasarkan beban pada titik interkoneksi, dan pengaturan tegangan pada *feeder* [2]. Integrasi PLTS-DG dapat membawa tantangan untuk utilitas terutama untuk pabrik besar. Salah satunya adalah aliran daya terbalik. PLTS-DG dengan tingkat penetrasi yang besar dapat menyebabkan aliran daya aktif terbalik pada level *feeder* dan transformator gardu. Koordinasi proteksi arus berlebih dapat terpengaruh dan pengurangan rugi-rugi jaringan akan meningkat karena total *output* DG lebih dari dua kali lipat dari total beban [5].

Di sisi lain, DG memiliki potensi untuk mengurangi emisi dan meningkatkan ketergantungan pada sumber energi alternatif, dan karenanya berpartisipasi dalam diversifikasi energi. Hal ini juga membantu untuk memberikan daya cadangan pada saat permintaan listrik meningkat, menghindari investasi pada pembangkit listrik besar dan saluran transmisi, juga sebagai akibat dari berkurangnya rugi daya transmisi dan distribusi. Lebih lanjut, DG meningkatkan profil tegangan dan faktor beban, yang meminimalkan jumlah regulasi tegangan yang diperlukan, kapasitor dan peringkat serta biaya perawatannya [6].

Struktur jaringan transmisi dan distribusi yang panjang dari pembangkit ke beban memiliki risiko alam tingkat tinggi seperti angin, badai, kilat, dan gangguan lainnya. Semakin lama jaringan, semakin besar kerugian daya sehingga upaya teknis diperlukan untuk mengurangi kerugian ini seperti memperpendek jaringan, *reconductor*, gardu penyisipan, pemasangan kapasitor, pengatur tegangan otomatis (AVR), penggantian konektor dan sebagainya. Oleh karena itu, tujuan dari penelitian ini adalah meningkatkan performansi sistem akibat pengaruh pemasangan PLTS-DG terhadap profil tegangan dan rugi rugi daya pada sistem uji standard IEEE 13-bus dan sistem kelistrikan 20 kV Lombok, NTB. Analisis dilakukan menggunakan *software ETAP Power station 12.6* dan metode Newton-Raphson. Diharapkan hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa dengan integrasi PLTS-DG ke sistem akan mengurangi rugi rugi daya dan meningkatkan profil tegangan. Wilayah Nusa Tenggara Barat menjadi lokasi penelitian ini dikarenakan terdapat 3 PLTS yang berkapasitas 3 x 5 MWp yang terintegrasi dengan jaringan distribusi PLN Lombok Nusa Tenggara Barat.

**2. METODOLOGI (10 PT)**

**Sistem Distribusi Listrik**

Ada tiga bagian penting dalam proses penyaluran tenaga listrik yaitu Pembangkitan, Penyaluran (transmisi) dan distribusi. Tegangan sistem distribusi dapat dikelompokkan menjadi 2 bagian besar yaitu distribusi primer (20 kV) dan distribusi sekunder (380/220V). Jaringan distribusi 20 kV sering disebut sistem distribusi tegangan menengah dan jaringan distribusi 380/220V sering disebut jaringan distribusi sekunder atau disebut jaringan tegangan rendah 380/220V. Jaringan pada sistem distribusi tegangan menengah (primer 20 kV) dapat dikelompokkan menjadi lima model yaitu jaringan radial, jaringan hantaran penghubung (*tie line*), jaringan lingkaran (*loop*), jaringan *spindle*, dan sistem gugus atau kluster. Sistem distribusi sekunder merupakan bagian dalam sistem distribusi yaitu mulai dari gardu trafo sampai pada pemakai akhir atau konsumen [7].

**Analisis Aliran Daya**

Studi aliran daya di dalam sistem tenaga merupakan studi yang mengungkapkan kinerja dan aliran daya (nyata

dan reaktif) untuk keadaan tertentu ketika sistem bekerja saat tunak (steady state). Tujuan utama studi aliran daya adalah untuk menentukan magnitudo tegangan, sudut/vektor tegangan, aliran daya aktif dan daya reaktif pada saluran, serta rugi-rugi daya yang muncul dalam sistem tenaga. Setiap titik/ bus pada suatu sistem tenaga listrik terdapat daya aktif P, daya reaktif Q, tegangan E, dan sudut fasa tegangan  $\delta$ . Jadi pada setiap bus terdapat empat besaran yaitu P, Q, E dan  $\delta$ . Di dalam studi aliran daya, dua dari keempat besaran itu diketahui, dan dua yang lain perlu dicari. Berdasarkan hal tersebut di atas, bus bus dibedakan menjadi tiga jenis yaitu [8] :

1. Bus beban (P-Q bus)

Pada bus ini, selisih daya antara daya yang dibangkitkan oleh generator dan daya yang diserap oleh beban diketahui nilainya.

2. Bus generator (P-V bus)

Komponen yang diketahui dalam bus ini adalah besar tegangan dan daya aktif P, sedangkan yang tidak diketahui adalah sudut fasa tegangan dan daya reaktif Q.

3. Bus berayun (Slack bus)

Komponen yang diketahui dalam bus ini adalah besar tegangan dan sudut fasa, sedangkan yang tidak diketahui adalah daya aktif P dan daya reaktif Q. Umumnya dalam studi aliran daya hanya terdapat satu bus berayun.

**Aliran Daya Newton Raphson**

Pada Metode Newton Raphson, *slack bus* diabaikan dari perhitungan iterasi untuk menentukan tegangan-tegangan, karena besar dan sudut tegangan pada slack bus telah ditentukan. Sedangkan pada generator bus , daya aktif dan magnitudo tegangan bernilai tetap, sehingga hanya daya reaktif yang dihitung pada setiap iterasinya. Dalam analisis aliran daya, ada dua persamaan yang harus diselesaikan pada tiap tiap bus. Dalam penyelesaian iterasi pada metode Newton Raphson, nilai dari daya aktif ( $P_p$ ) dan daya reaktif ( $Q_p$ ) yang telah dihitung harus dibandingkan dengan nilai yang ditetapkan, dengan persamaan sebagai berikut [9]:

$$\begin{bmatrix} \Delta P_1 \\ \Delta P_n \\ \dots \\ \Delta Q_1 \\ \Delta Q_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_1}{\partial \theta_1} & \frac{\partial P_1}{\partial \theta_n} & \frac{\partial P_1}{\partial |V_1|} & \frac{\partial P_1}{\partial |V_n|} \\ \frac{\partial P_n}{\partial \theta_1} & \frac{\partial P_n}{\partial \theta_n} & \frac{\partial P_n}{\partial |V_1|} & \frac{\partial P_n}{\partial |V_n|} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial Q_1}{\partial \theta_1} & \frac{\partial Q_1}{\partial \theta_n} & \frac{\partial Q_1}{\partial |V_1|} & \frac{\partial Q_1}{\partial |V_n|} \\ \frac{\partial Q_n}{\partial \theta_1} & \frac{\partial Q_n}{\partial \theta_n} & \frac{\partial Q_n}{\partial |V_1|} & \frac{\partial Q_n}{\partial |V_n|} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \theta_1 \\ \Delta \theta_n \\ \dots \\ \frac{\Delta V}{V_1} \\ \frac{\Delta V}{V_n} \end{bmatrix} \tag{1}$$

Proses iterasi ini akan berlangsung sampai perubahan daya aktif ( $\Delta P_p$ ) dan perubahan daya reaktif ( $\Delta Q_p$ ) tersebut telah mencapai nilai konvergen ( $\epsilon$ ) yang telah ditetapkan. Pada umumnya nilai konvergen antara 0,01 sampai 0,0001. Matrik Jacobian terdiri dari turunan parsial dari P dan Q terhadap masing-masing variabel, besar dan sudut fasa tegangan. Besar dan sudut fasa tegangan yang diasumsikan serta daya aktif dan daya reaktif yang dihitung digunakan untuk mendapatkan elemen elemen Jacobian. Setelah itu akan diperoleh harga dari perubahan besar tegangan,  $\frac{\Delta|\Delta|}{\Delta}$ , dan perubahan sudut fasa tegangan,  $\Delta\delta$ . Secara umum persamaan tersebut dapat ditulis sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} H & N \\ J & L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\theta \\ \frac{\Delta|\Delta|}{V} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} \quad (2)$$

$\Delta P$  dan  $\Delta Q$  merupakan selisih daya (*power mismatch*) antara daya pembebanan yang telah diketahui dengan daya yang diperoleh dari hasil perhitungan. Persamaan untuk daya yang dihitung adalah:

$$P_p = |V_p| \left| \left[ \sum_{q=1}^n (G_{pq} \cos\theta_{pq} + B_{pq} \sin\theta_{pq}) V_q \right] \right| \quad (3)$$

$$Q_p = |V_p| \left| \left[ \sum_{q=1}^n (G_{pq} \sin\theta_{pq} + B_{pq} \cos\theta_{pq}) V_q \right] \right| \quad (4)$$

Sehingga selisih daya (*power mismatch*) yang terjadi adalah:

$$\Delta P_p = P_p^{Spec} - |V_p| \left| \left[ \sum_{q=1}^n (G_{pq} \cos\theta_{pq} + B_{pq} \sin\theta_{pq}) V_q \right] \right| \quad (5)$$

$$\Delta Q_p = Q_p^{Spec} - |V_p| \left| \left[ \sum_{q=1}^n (G_{pq} \sin\theta_{pq} + B_{pq} \cos\theta_{pq}) V_q \right] \right| \quad (6)$$

### A. Perbaikan Profil Tegangan

Mengatasi jatuh tegangan di sisi pelanggan (sisi tegangan rendah trafo distribusi) agar memenuhi kriteria yang diizinkan, dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut [10]:

Mengatur tegangan kirim GI

1. Mengubah setelan sisi primer trafo distribusi
2. Mengalihkan sebagian beban ke penyulang yang lain (rekonfigurasi)
3. Mengganti segmen penghantar yang mengakibatkan jatuh tegangan yang besar
4. Memasang kapasitor
5. Memasang DG Variable

### Rugi Rugi Daya Sistem Tenaga Listrik

Rugi-rugi yang terdapat pada sistem kelistrikan secara umum meliputi rugi tegangan dan rugi daya. Rugi daya adalah selisih antara daya yang dialirkan atau dikirimkan dari suatu bus generator menuju bus beban. Besarnya rugi rugi daya dapat diperoleh melalui proses matematis berikut [11]:

$$P_{losses} = P_{kirim} - P_{terima} \quad (7)$$

$$P = I^2 R \quad (8)$$

$$P_{loss} = 3xI^2 \times R \times L \quad (9)$$

$$P_{loss} = \frac{(P^2 \times R \times L)}{(V^2 \times (\cos\theta)^2)} \quad (10)$$

$$I = \frac{P}{(\sqrt{3} \times V \times \cos\theta)} \quad (11)$$

$$P_{loss} = \frac{(3 \times (P)^2 \times R \times L)}{((\sqrt{3})^2 \times (V)^2 \times (\cos\theta)^2)} \quad (12)$$

$$P_{loss} = \frac{(3 \times P^2 \times R \times L)}{(3 \times V^2 \times (\cos\theta)^2)} \quad (13)$$

$$P_{loss} = \frac{(P^2 \times R \times L)}{(V^2 \times (\cos\theta)^2)} \quad (14)$$

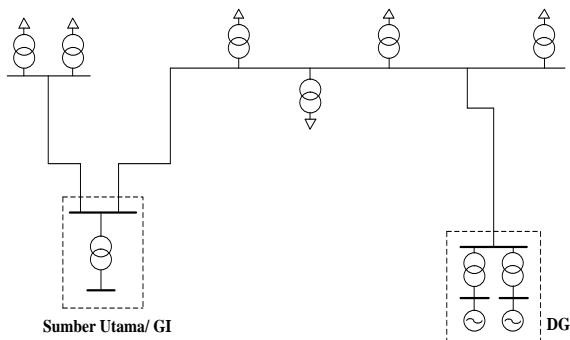
Rugi-rugi tegangan adalah selisih antara tegangan kirim pada sebuah bus generator dengan tegangan yang diterima bus beban. Rugi tegangan biasanya disebut jatuh tegangan. Rumus secara matematisnya adalah sebagai berikut :

$$\Delta V = V_S - V_R \quad (15)$$

$$\Delta V = I \times Z$$

### Distributed Generation

Distributed *Generation* (DG) atau yang dikenal dengan pembangkitan skala kecil tersebar merupakan unit pembangkit energi baru terbarukan yang dipasang pada jaringan distribusi. Pembangkitan skala kecil tersebar dapat mereduksi kebutuhan jaringan dalam skala besar walaupun terjadi perubahan pada jaringan sistem tenaga listrik. Teknologi DG sangat diperlukan di sisi jaringan distribusi karena sistem tersebut dapat mengurangi rugi daya pada sistem dan memperbaiki kualitas tegangan untuk terciptanya kehandalan sistem tenaga listrik. Penggunaan DG dapat juga meningkatkan efisiensi, sehingga dapat memperbaiki performa dari sistem tenaga listrik [10], [12].



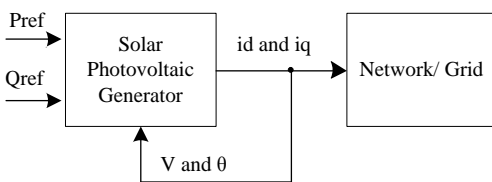
Gambar 1. Interkoneksi DG pada Jaringan Distribusi Tenaga Listrik<sup>[10]</sup>

PLTS-DG memiliki fungsi utama yaitu sebagai unit yang difungsikan untuk mengantisipasi apabila terjadi pemutusan dari suplai daya grid atau *stand by unit* dan difungsikan sebagai unit dipasang pada jam jam beban puncak atau *peaking unit*. Karakteristik DG adalah skala kecil, terdistribusi dan dekat dengan pusat beban (*closed to load*), terinterkoneksi dengan sistem distribusi, membatasi pembangunan jaringan transmisi dan memiliki aliran daya satu arah. Pembangkit ini ramah lingkungan, andal dalam merespon perubahan beban, mengurangi penggunaan bahan bakar fosil, deregulasi dalam pasar kelistrikan dan sejumlah keuntungan lainnya [12], [13].

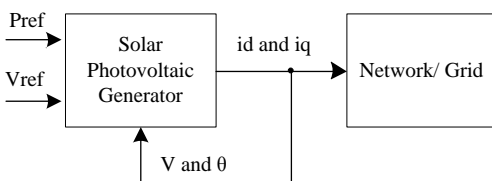
**Sistem Photovoltaic Distributed Generation (PLTS-DG)**

- Struktur Dasar PLTS-DG.

Dalam hal karakteristik utilitas, sistem PV yang terhubung ke jaringan berbeda dari jenis pembangkit listrik lainnya. Perbedaan yang paling mendasar adalah tidak adanya perangkat mekanik yang digunakan dalam proses konversi energi matahari. PVDG dapat dimodelkan sebagai konstanta terkendali P dan V (model PV) dan juga mengontrol konstanta P dan Q (Model PQ) seperti yang ditunjukkan pada Gambar. 2 [14].



(a) Konstanta P dan Q dikendalikan



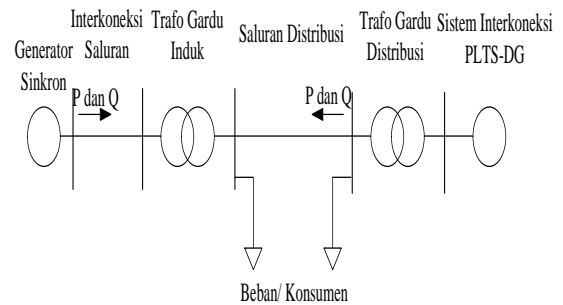
(b) Konstanta P dan V dikendalikan  
Gambar 2. Struktur dasar sistem PV didalam grid<sup>[15]</sup>.

- Pemodelan PLTS-DG pada sistem distribusi listrik

PLTS-DG adalah model pembangkit listrik yang terhubung langsung ke jaringan distribusi pada sisi pelanggan. PLTS-DG yang terhubung dengan jaringan listrik eksisting dapat dibedakan dari skala kapasitasnya yaitu skala kecil untuk kapasitas 5 kW – 100 kW, skala menengah 100 kW–500kW dan skala besar yaitu 500 kW – 10 MW [1].

Daya listrik DC yang dihasilkan dari panel surya dikonversikan menjadi daya AC melalui inverter. Inverter terhubung ke Transformator penaik tegangan yang terhubung ke grid atau jala-jala (sistem distribusi). Nilai beban yang terdapat pada inverter PLTS adalah daya beban pada grid (beban penyulang). Persyaratan utama untuk terhubung ke grid sangat ditentukan oleh kualitas arus ( $I_{PV}$ ) dan tegangan ( $V_{PV}$ ) PLTS-DG dengan arus ( $I_{AC}$ ) dan tegangan ( $V_{DC}$ ) pada jaringan [14]

PLTS-DG berbeda dari segi utilitas beserta karakteristiknya dengan pembangkit lainnya. Perbedaan paling mendasar adalah tidak adanya penggunaan peralatan yang sifatnya mekanis pada proses konversi energi matahari. Karena tidak adanya sistem mekanik, maka jenis operasional dan penanganannya juga berbeda. Penanganan yang paling utama adalah beberapa kondisi dinamis yaitu dimana intensitas radiasi dan suhu yang bersifat fluktuatif terhadap waktu [14]. Gambar 3 ditampilkan model aliran daya PLTS *on grid*.



Gambar 3. Model PLTS-DG pada saluran distribusi.

Simulasi dalam penelitian yaitu menggunakan data uji standard IEEE 14-bus selanjutnya diuji pada data *real* yaitu sistem kelistrikan 20 kV Lombok, NTB, 140-bus.

**Algoritma penyelesaian masalah :**

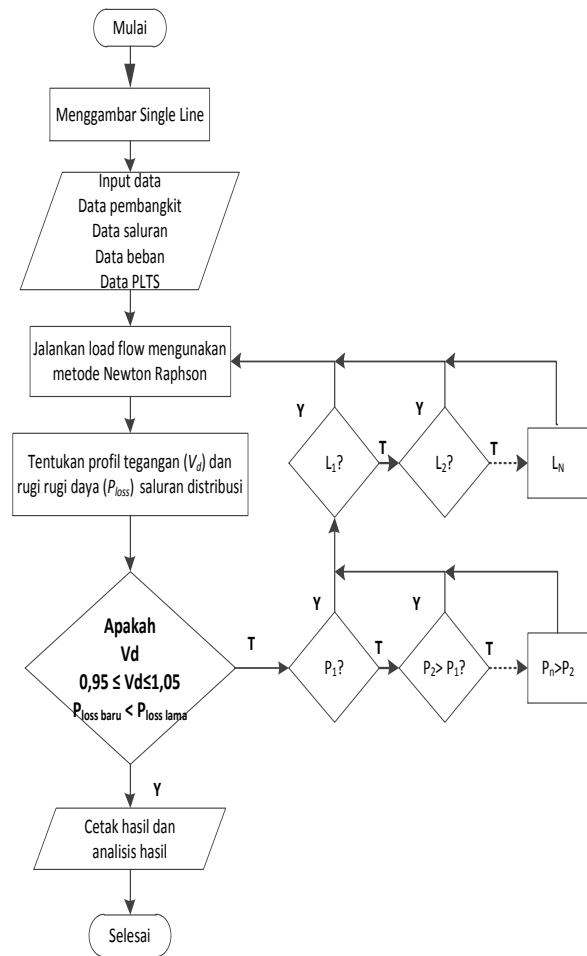
Gambar 4 melukiskan diagram alir (*flowchart*) penyelesaian masalah yang disusun berdasarkan algoritma sebagai berikut :

1. Mulai
2. Menggambar *single line diagram* sistem kelistrikan yang akan diuji
3. Input data pembangkit, data saluran dan data beban pada *software ETAP Power Station 12.6*
4. Jalankan *load flow* menggunakan metode Newton Raphson
5. Tentukan profil tegangan ( $V_d$ ) dan rugi rugi daya ( $P_{loss}$ ) saluran distribusi
6. Check apakah  $0,95 \leq V_d \leq 1,05$  dan  $P_{loss} \leq 5\%$
7. Jika Ya maka menuju ke langkah 14. Jika Tidak lanjutkan ke langkah 8.
8. Check apakah integrasi PLTS-DG dilakukan dengan kapasitas daya terkecil yaitu  $P_1$  jika Ya menuju ke langkah 9, jika Tidak menuju ke langkah 12
9. Check apakah PLTS-DG dipasang pada lokasi bus kritis  $L_1$  jika Ya menuju ke langkah 4, jika Tidak menuju ke langkah 10
10. Check apakah PLTS-DG dipasang pada lokasi bus kritis  $L_2$  jika Ya menuju ke langkah 4, jika Tidak menuju ke langkah 11
11. Integrasi bus beban  $L_N$  dan menuju ke langkah 4
12. Check apakah integrasi PLTS-DG  $P_2 > P_1$  jika Ya menuju ke langkah 9-10-11, jika Tidak menuju ke langkah 13
13. Integrasi  $P_n > P_2$  dan menuju ke langkah 9-10-11
14. Hasil dan analisis hasil
15. Selesai

**Algoritma menentukan lokasi dan kapasitas PLTS-DG terbaik**

Pengujian dilakukan dengan PLTS-DG berkapasitas mulai terkecil sampai kapasitas terbesar yang diasumsikan ( $P_1 < P_2 < \dots < P_n$ ) di integrasikan pada masing masing bus beban yang mengalami *critical* yang diasumsikan ( $L_1, L_2 \dots L_N$ ) secara bergantian, kemudian dilakukan analisis untuk melihat lokasi terbaik.

Program aliran daya menggunakan metode Newton Raphson dengan *software* yang digunakan adalah ETAP Power Station 12.6.

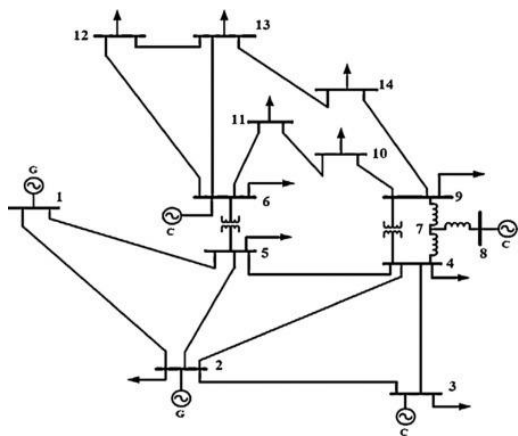


Gambar 4. Flowchart Simulasi Pemecahan Masalah

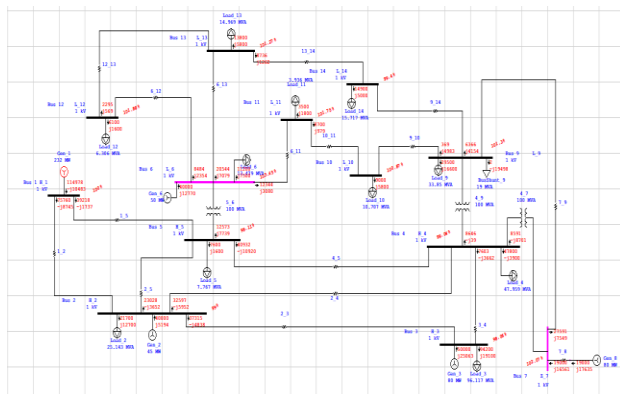
**3. HASIL DAN ANALISA**

**Data uji sistem IEEE 14-bus**

Sistem kelistrikan yang digunakan untuk simulasi adalah sistem uji IEEE 14-bus pada *example software ETAP Power Station 12.6*, yang *single line diagram* dan hasil *load flow* nya ditunjukkan masing-masing pada Gambar 5 dan 6.



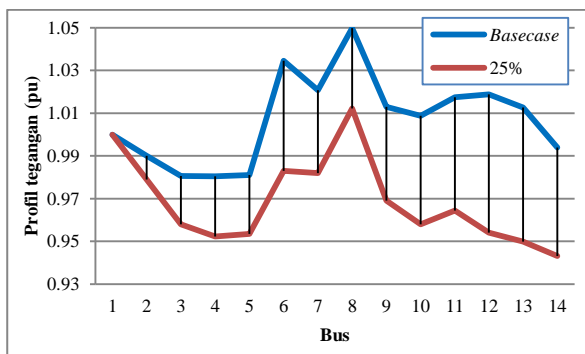
Gambar 5. Single Line diagram IEEE 14 Bus.



Gambar 6. Hasil Load Flow IEEE 14-bus

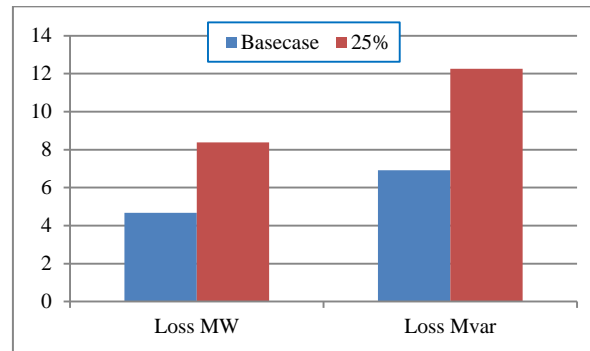
**Kondisi Base Case.**

Simulasi awal dijalankan untuk menentukan profil tegangan dan rugi rugi daya pada kondisi *basecase* pada sistem standard IEEE 14-bus yang bebannya sudah dinaikkan sampai dengan 25% dari kondisi awal untuk mendapatkan profil tegangan *critical* yaitu tegangan di bawah batas margin aman atau kurang dari 0,95 pu. Untuk kondisi *basecase* pada penelitian ini, bus 13 dan 14 mengalami *critical* seperti ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik profil tegangan pada kondisi *basecase*

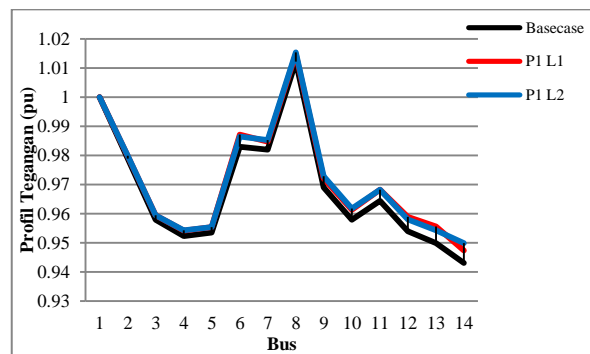
Sedangkan rugi rugi daya aktif dan reaktif pada kondisi *basecase* ini masing masing adalah 8.376 MW dan 12.255 MVar ditunjukkan pada Gambar 8.



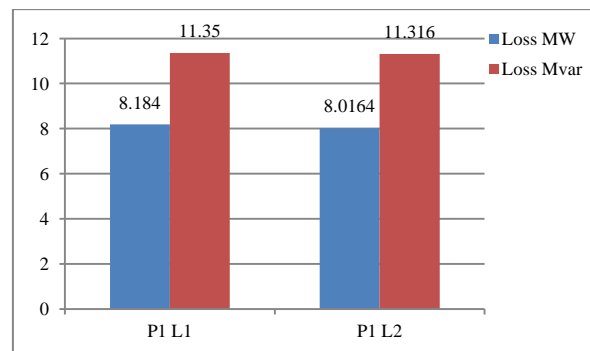
Gambar 8. Grafik rugi rugi daya sistem setelah penambahan beban

**Setelah Integrasi PLTS-DG.**

Setelah integrasi PLTS-DG pada sistem uji IEEE 14-bus yang kapasitasnya diasumsikan  $P_1$  (2.5 MW) pada masing masing bus beban yang mengalami *critical* secara bergantian, maka peningkatan profil tegangan dan penurunan rugi rugi daya ditunjukkan masing-masing pada Gambar 9 dan 10.

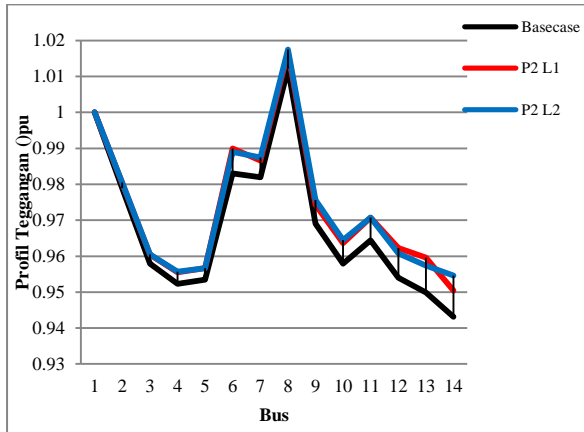


Gambar 9. Grafik profil tegangan setelah integrasi PLTS-DG 2.5 MW pada masing masing bus

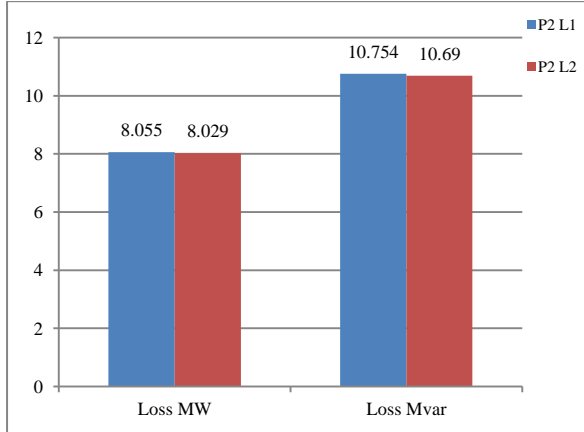


Gambar 10. Rugi rugi daya sistem setelah integrasi PLTS-DG 2,5 MW

Dari Gambar 9 terlihat bahwa dengan integrasi PLTS-DG 2,5 MW pada sistem uji IEEE 14-bus yaitu pada bus 13, 14 masih belum bisa meningkatkan profil tegangan ke batas margin aman yaitu 0.95 pu. Kemudian simulasi dilanjutkan dengan integrasi PLTS-DG P2 (5 MW) pada masing masing bus beban yang mengalami *critical* secara bergantian, maka peningkatan profil tegangan dan penurunan rugi rugi daya ditunjukkan masing masing Gambar 11 dan 12.



Gambar 11. Grafik profil tegangan setelah integrasi PLTS-DG 5 MW pada masing masing bus



Gambar 12. Rugi rugi daya sistem setelah integrasi PLTS-DG 5 MW

Berdasarkan hasil pengujian pada Gambar 11 dan 12, menunjukkan bahwa integrasi PLTS-DG berkapasitas 5 MW pada bus 13 masih belum bisa meningkatkan profil tegangan ke batas margin aman yaitu 0,95 pu, kemudian integrasi pada bus 14 berkapasitas 5 MW tegangan pada kondisi *basecase* 0,9431 pu dapat ditingkatkan menjadi 0,9546 pu seperti terlihat pada Tabel 1. Sedangkan rugi rugi daya yang dapat direduksi dari 8.376 MW dan 12.255 MVar menjadi 8.029 MW dan 10.690 MVar seperti pada Tabel 2.

Tabel 1. Perbandingan profil tegangan pada kondisi *basecase* (beban 25%) dan integrasi PLTS-DG sebesar 5 MW pada bus 14

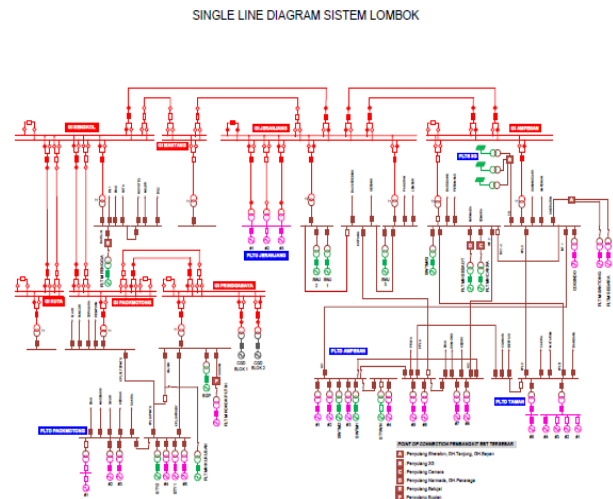
Bus	V <sub>d</sub> (pu)	
	Kondisi <i>basecase</i>	Setelah integrasi PLTS-DG
1	1	1
2	0,9789	0,9804
3	0,9579	0,9602
4	0,9523	0,9552
5	0,9535	0,9562
6	0,983	0,9867
7	0,982	0,9857
8	1,0122	1,0158
9	0,969	0,973
10	0,9579	0,962
11	0,9644	0,9683
12	0,954	0,9581
13	0,9499	0,9548
14	0,9431	0,9546

Tabel 2. Perbandingan rugi rugi pada kondisi *basecase* (beban 25%) dan integrasi PLTS-DG

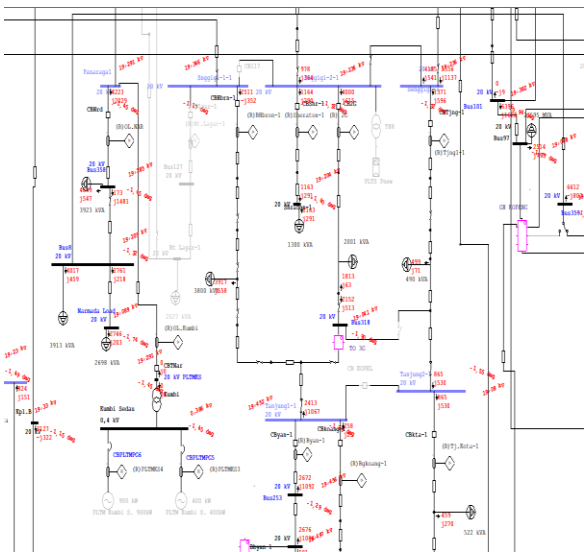
Kondisi	P <sub>loss</sub> (MW)	Q <sub>loss</sub> (MVar)
<i>Basecase</i>	8.376	12.255
Setelah integrasi PLTS-DG	8.029	10.69

**Gambar Single line diagram Jaringan Lombok.**

Sistem kelistrikan yang digunakan adalah sistem kelistrikan 20 kV Lombok, 140-bus yang terhubung dengan pusat pusat beban, *single line diagram* dan hasil *load flow* nya ditunjukkan masing-masing pada Gambar 13 dan 14.



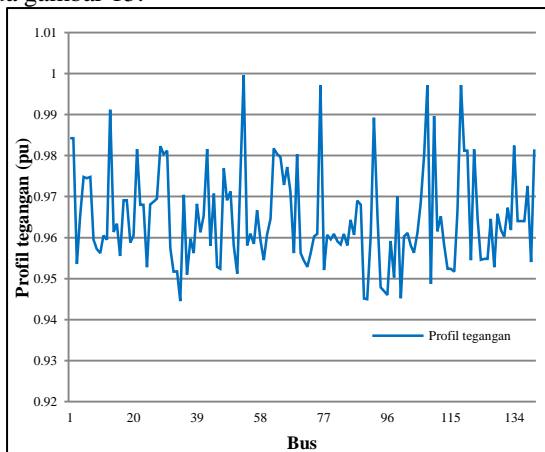
Gambar 13. *Single Line* diagram kelistrikan 20 kV Lombok.



Gambar 14. Hasil load flow sistem kelistrikan 20 kV Lombok

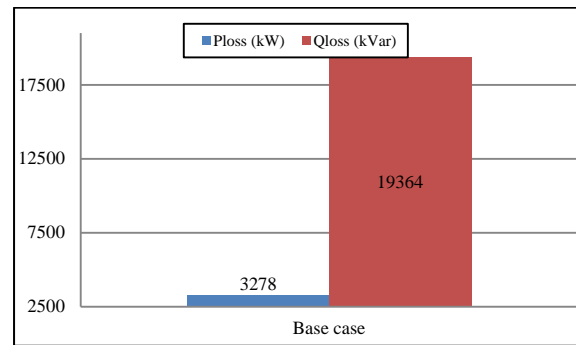
**Kondisi Base Case.**

Simulasi awal dijalankan untuk menentukan profil tegangan dan rugi rugi daya pada kondisi *basecase* pada sistem kelistrikan Lombok 20 kV. Pada analisis pengujian kondisi *basecase* ini jatuh tegangan terjadi pada bus 34, 89, 90, 94, 95, 96, 100, 109, karena dipengaruhi oleh panjang saluran dari sistem distribusi. Ditunjukkan pada gambar 15.



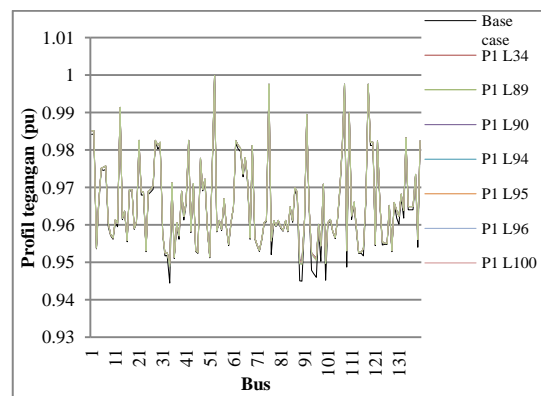
Gambar 15. Profil tegangan kondisi base case.

Sedangkan total rugi rugi daya sebesar 3278 kW dan 19364 kVar. Rugi rugi daya yang terjadi masih cukup besar karena dipengaruhi oleh panjang saluran dari sistem distribusi, ditunjukkan pada Gambar 16.

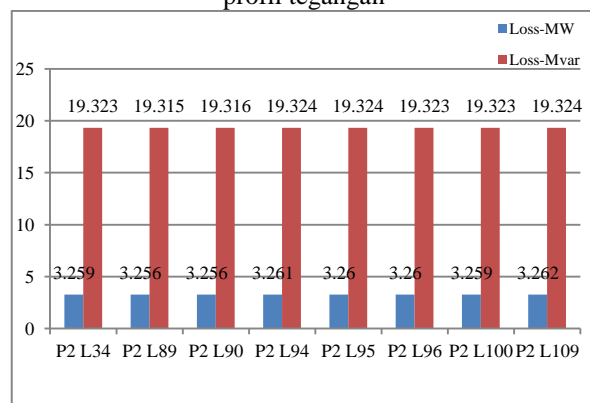


Gambar 16. Rugi rugi daya kondisi *basecase*.

Integrasi PLTS-DG pada sistem kelistrikan Lombok 20 kV digunakan untuk menentukan lokasi terbaik yang kapasitasnya diasumsikan P1 (501 kW) yang kemudian di integrasikan pada masing masing bus beban secara bergantian, maka peningkatan profil tegangan dan penurunan rugi rugi daya ditunjukkan masing-masing pada Gambar 17 dan Gambar 18.



Gambar 17. Pengaruh integrasi PLTS-DG P1 terhadap profil tegangan

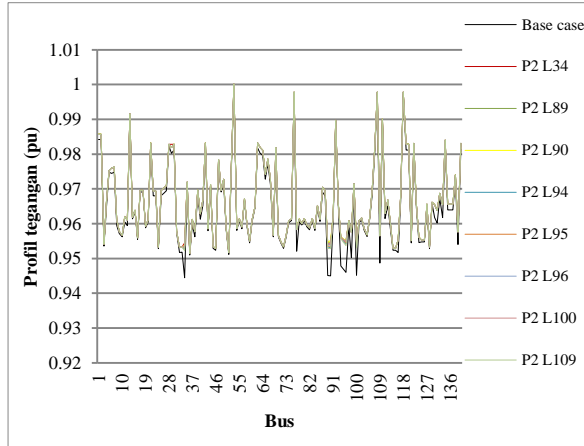


Gambar 18. Pengaruh lokasi PLTS-DG terhadap rugi rugi daya

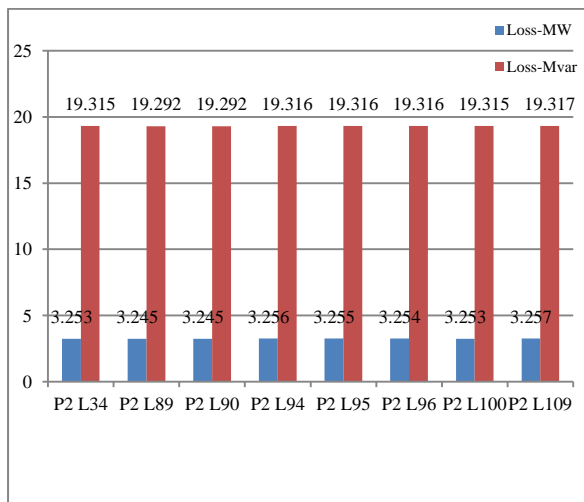
Integrasi PLTS-DG P1 (501 kW) pada sistem kelistrikan Lombok 20kV masih belum bisa meningkatkan profil tegangan pada bus yang mengalami



critical dibawah 0.95 pu. Kemudian simulasi dilanjutkan dengan integrasi PLTS-DG P2 (904 kW) pada masing masing bus beban yang mengalami critical secara bergantian, maka peningkatan profil tegangan dan penurunan rugi rugi daya ditunjukkan masing masing gambar 17 dan 18.



Gambar 19. Pengaruh integrasi PLTS-DG P2 terhadap profil tegangan



Gambar 20. Pengaruh lokasi PLTS-DG terhadap rugi rugi daya

Berdasarkan hasil pengujian seperti ditunjukkan Gambar 19, menunjukkan bahwa integrasi PLTS-DG pada bus 90 berkapasitas 904kW yang awalnya 0,9445 pu dapat ditingkatkan menjadi 0,9552 pu yang ditunjukkan pada tabel 3. Sedangkan rugi rugi daya yang dapat direduksi dari 3,278 MW dan 19,364 MVar menjadi 3,245 MW dan 19,292 MVar seperti pada tabel 4.

Tabel 3. Perbandingan profil tegangan pada kondisi basecase dan integrasi PLTS-DG sebesar 904kW pada bus 90

Bus	V <sub>d</sub> (pu)	
	Kondisi basecase	Setelah ntegrasi PLTS-DG
34	0,9445	0,9538
89	0,9451	0,9546
90	0,945	0,9552
94	0,9479	0,9562
95	0,9469	0,9556
96	0,946	0,9551
100	0,9452	0,9546
109	0,9487	0,9567

Tabel 4. Perbandingan rugi rugi pada kondisi basecase dan integrasi PLTS-DG

Kondisi	P <sub>loss</sub> (MW)	Q <sub>loss</sub> (MVar)
Basecase	3,278	19,364
Setelah integrasi PLTS-DG	3,245	19,292

4. KESIMPULAN

- Integrasi PLTS-DG pada bus 14 dengan kapasitas PLTS-DG sebesar 5 MW sistem uji IEEE 14-bus mampu meningkatkan profil tegangan, yang sebelumnya profil tegangan 0,9431 pu menjadi 0,9509 pu (0,827%) terletak pada bus 14 dengan kapasitas PLTS-DG sebesar 5 MW. Sedangkan untuk sistem kelistrikan Lombok 20 kV yang sebelumnya profil tegangan 0,945 pu dapat ditingkatkan menjadi 0,9552 pu (1,079%) setelah integrasi PLTS-DG pada bus 90 dengan kapasitas 904 kW.
- Peningkatan profil tegangan pada sistem basecase IEEE 14-bus adalah 0,0115 pu. Sedangkan pada sistem kelistrikan Lombok yang dihasilkan adalah 0,0102 pu.
- Reduksi rugi rugi daya sistem dengan integrasi PLTS-DG pada lokasi dan kapasitas yang sama dengan point 1 di atas pada IEEE 14-bus yang sebelumnya 8.376 (MW) dan 12.255 (MVar) menjadi 7.825 (MW) dan 10.69 (MVar) (6,57%). Sedangkan pada sistem kelistrikan Lombok yang sebelumnya 3278 (MW) dan 19,364 (MVar) menjadi 3,245 (MW) dan 19,292 (MVar) (0,465%).

DAFTAR PUSTAKA

[1] B. Gudimetla, F. Katiraei, J. R. Agüero, J. H. R. Enslin, and H. Alatrash, "Integration of Micro-Scale Photovoltaic Distributed Generation on Power Distribution Systems : Dynamic Analyses," *Transm. Distrib. Conf. Expo. (T&D), 2012 IEEE PES*, pp. 1–7, 2012.

[2] S. Daud, A. F. A. Kadir, and C. K. Gan, "The impacts of distributed Photovoltaic generation on power distribution networks losses," *2015 IEEE Student Conf. Res. Dev. SCORED 2015*, pp. 11–15, 2015.

[3] M. M. Begovic, I. Kim, D. Novosel, J. R. Agüero, and A. Rohatgi, "Integration of photovoltaic distributed generation in the power distribution grid," *Proc. Annu. Hawaii Int. Conf. Syst. Sci.*, pp. 1977–1986, 2012.

[4] A. F. A. Kadir, T. Khatib, and W. Elmenreich,

- “Integrating photovoltaic systems in power system: Power quality impacts and optimal planning challenges,” *Int. J. Photoenergy*, vol. 2014, no. October 2015, 2014.
- [5] and P. Z. J. Su, H. Liu, H. Bai, S. Miao, “Research on penetration level of distributed generation in distribution network,” *Int. Conf. Inf. Sci. Machinery*, no. Mater. Energy, Icismme, pp. 1526–1531, 2015.
- [6] V. Vita, T. Alimardan, and L. Ekonomou, “The impact of distributed generation in the distribution networks’ voltage profile and energy losses,” *Proc. - EMS 2015 UKSim-AMSS 9th IEEE Eur. Model. Symp. Comput. Model. Simul.*, pp. 260–265, 2016.
- [7] M. Sukmawidjaja, “Perhitungan Profil Tegangan Pada Sistem Distribusi Menggunakan Matrix Admitansi Dan Matrix Impedansi Bus,” vol. 7, pp. 21–40, 2008.
- [8] J. J. W. S. G. W. C. Grainger, “Power-Flow Solutions,” in *Power System Analysis*, McGraw-Hill Companies, 1994, pp. 342–356.
- [9] J. J. W. S. G. W. C. Grainger, “Power-Flow Solutios,” in *Power System Analysis*, McGraw-Hill Companies, 1994, pp. 332–333.
- [10] I. N. C. Artawa, I. W. Sukerayasa, and I. A. Dwi Giriantari, “Analisa Pengaruh Pemasangan Distributed Generation Terhadap Profil Tegangan Pada Penyulang Abang Karangasem,” *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, vol. 16, no. 3, p. 79, 2017.
- [11] . S., S. Yunus, and . A., “Analisa Pengaruh Integrasi Pembangkit Tersebar dalam Sistem Komposit,” *J. Nas. Tek. Elektro*, vol. 3, no. 1, p. 95, 2014.
- [12] W. Sunanda, F. Teknik, J. Teknik, E. Universitas, and B. Belitung, “Perbaikan keandalan sistem melalui pemasangan,” vol. 3, no. 2, 2013.
- [13] T. For, T. H. E. Degree, O. F. Licentiate, and F. A. Viawan, “Steady State Operation and Control of Power Distribution Systems in the Presence of Distributed Generation,” *Psychother. Res.*, vol. 16, no. 2, pp. 250–258, 2006.
- [14] H. Suyono and M. Zainuddin, “Injection Impact of Photovoltaic Distributed Generations (PVDG) on Power Distribution System Stability,” *Appl. Mech. Mater.*, vol. 785, no. August, pp. 403–408, 2015.
- [15] B. Tamimi, C. Canizares, and K. Bhattacharya, “Modeling and performance analysis of large solar photo-voltaic generation on voltage stability and inter-area oscillations,” *IEEE Power Energy Soc. Gen. Meet.*, pp. 1–6, 2011.