



**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

**SKRIPSI - ENERGI LISTRIK**

**ANALISIS PROBABILISTIK PENGARUH  
INTEGRASI 0,5 MW<sub>p</sub> PLTS ITN MALANG  
TERHADAP PROFIL TEGANGAN SISTEM  
DISTRIBUSI SINGOSARI PENYULANG  
KARANGPLOSO**

**Ahmad Iqbal Zajuli  
NIM 1812024**

**Dosen pembimbing  
Awan Uji Krismanto, ST., MT., Ph.D  
Dr. Irrine Budi Sulistiawati, ST., MT**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Nasional Malang  
Juli 2022**

**ANALISIS PROBABILISTIK PENGARUH  
INTEGRASI 0,5 MWp PLTS ITN MALANG  
TERHADAP PROFIL TEGANGAN SISTEM  
DISTRIBUSI SINGOSARI PENYULANG  
KARANGPLOSO**

**SKRIPSI**

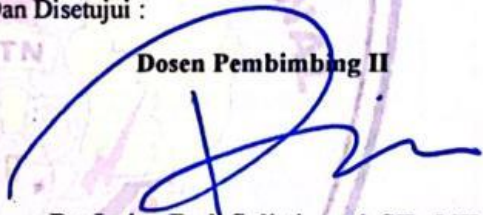
**Ahmad Iqbal Zajuli  
1812024**

Diajukan Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada  
Program Studi Teknik Energi Listrik  
Institut Teknologi Nasional Malang  
Diperiksa Dan Disetujui :

**Dosen Pembimbing I**

**Dosen Pembimbing II**

  
**Awan Uji Krismanto, ST., MT., Ph.D**  
**NIP. 19800301 200501 1 002**

  
**Dr. Irrine Budi Sulistiawati, ST., MT**  
**NIP. 19770615 200501 2 002**

Mengetahui

**Kelua Program Studi Teknik Elektro S-1**



  
**Dr. Eng. I Komang Somawirata, ST., MT**  
**NIP. P. 1030100361**

**MALANG  
Juli, 2022**



PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

PT. BNI (PERSERO) MALANG  
BANK NIAGA MALANG

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting) Fax. (0341) 553015 Malang 65145  
Kampus II : Jl. Raya Karanglo Km. 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

**LEMBAR PERSETUJUAN PERBAIKAN SKRIPSI**

Nama Mahasiswa : Ahmad Iqbal Zajuli  
NIM : 1812024  
Program Studi : Teknik Elektro S-1  
Peminatan : Teknik Energi Listrik  
Masa Bimbingan : Semester Genap 2021/2022  
Judul Skripsi : Analisis Probabilistik Pengaruh Integrasi 0,5 MWp PLTS ITN Malang Terhadap Profil Tegangan Sistem Distribusi Singosari Penyulang Karangploso

Tanggal	Materi Perbaikan	Paraf
28 Juli 2022	Perbandingan profil tegangan saat base case dengan profil tegangan saat injeksi PLTS 0,5 MWp	
	Besar daya pada penyulang Karangploso sebelum dan sesudah diinjeksi harus diperlihatkan agar diperoleh profil tegangan pada setiap bus pada penyulang Karangploso	
	Sample iradiasi dinaikkan	

Disetujui

Dosen Penguji I

**Prof. Dr. Eng. Ir. Abraham Lomi, MSEE**

NIP. Y. 1018500108

Mengetahui

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

**Awan Uji Krismanto, ST., MT., Ph.D**  
NIP. 19800301 200501 1 002

**Dr. Iryne Budi Sulistiawati, ST., MT**  
NIP. 19770615 200501 2 002





PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

PT. BNI (PERSERO) MALANG  
BANK NIAGA MALANG

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting) Fax. (0341) 553015 Malang 65145  
Kampus II : Jl. Raya Karanglo Km. 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

**LEMBAR PERSETUJUAN PERBAIKAN SKRIPSI**

Nama Mahasiswa : Ahmad Iqbal Zajuli  
NIM : 1812024  
Program Studi : Teknik Elektro S-1  
Peminatan : Teknik Energi Listrik  
Masa Bimbingan : Semester Genap 2021/2022  
Judul Skripsi : Analisis Probabilistik Pengaruh Integrasi 0,5 MWp PLTS ITN Malang Terhadap Profil Tegangan Sistem Distribusi Singosari Penyulang Karangploso

Tanggal	Materi Perbaikan	Paraf
26 Juli 2022	Rumusan masalah	
	Tujuan diperjelas	
	Lengkapi data dan tabel	

Disetujui

Dosen Penguji II

Ir. Ni Putu Agustini

NIP. Y. 1030100371

Mengetahui

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Awan Uji Krisnanto, ST., MT., Ph.D

NIP. 19800301 200501 1 002

Dr. Irrine Badi Sulistiawati, ST., MT

NIP. 19770615 200501 2 002

## ABSTRAK

# ANALISIS PROBABILISTIK PENGARUH INTEGRASI 0,5 MW<sub>p</sub> PLTS ITN MALANG TERHADAP PROFIL TEGANGAN SISTEM DISTRIBUSI SINGOSARI PENYULANG KARANGPLOSO

AHMAD IQBAL ZAJULI, NIM : 1812024

Dosen Pembimbing I : Awan Uji Krismanto, ST., MT., Ph.D

Dosen Pembimbing II : Dr. Irrine Budi Sulistiawati, ST., MT

Perencanaan dan perancangan sistem tenaga listrik telah berkembang di Indonesia. Para peneliti telah mengembangkan penggunaan energi terbarukan, salah satu contohnya adalah Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis profil tegangan karena adanya integrasi PLTS terhadap sistem distribusi Singosari, terutama akibat radiasi matahari yang bervariasi setiap waktu dan dapat menyebabkan fluktuasi tegangan. Dengan melakukan simulasi sistem kelistrikan Singosari dan memberikan *random* injeksi daya dari PLTS terhadap sistem kelistrikan Singosari menggunakan probabilitas aliran daya dengan metode *Monte Carlo Simulation* (MCS), maka pengaruh dari injeksi daya dari PLTS terhadap profil tegangan dapat dilihat. Dari hasil simulasi yang dilakukan, menunjukkan bahwa ketika PLTS di integrasi dengan sistem, profil tegangan akan mengalami perbaikan, seperti pada bus 74 yang mengalami keadaan *undervoltage* mengalami kenaikan sebesar 0,0178 – 0,0215 p.u. dari yang sebelumnya profil tegangan bus 74 bernilai 0,9483 p.u menjadi 0,9661 – 0,9698 p.u saat menginjeksi daya PLTS ke sistem secara *random* yang menunjukkan bahwa ketika sistem distribusi Singosari di integrasikan dengan PLTS ITN Malang, profil tegangan dapat diperbaiki.

**Kata kunci** : Profil Tegangan, Integrasi PLTS, Fluktuasi Tegangan, Probabilistik.

## **ABSTRACT**

# **PROBABILISTIC ANALYSIS OF THE EFFECT OF INTEGRATION 0,5 MW<sub>p</sub> PHOTOVOLTAIC DISTRIBUTED GENERATION ITN MALANG ON VOLTAGE PROFILE SINGOSARI DISTRIBUTION SYSTEM OF KARANGPLOSO FEEDER**

**AHMAD IQBAL ZAJULI, NIM : 1812024**

**Supervisor I : Awan Uji Krismanto, ST., MT., Ph.D**

**Supervisor II : Dr. Irrine Budi Sulistiawati, ST., MT**

Planning and designing of electric power systems has developed in Indonesia. Researchers have developed the use of renewable energy, one example of which is Photovoltaic Distributed Generation (PVDG). This research aimed to analyze the voltage profile due to the integration of PVDG into the Singosari distribution system, especially due to solar radiation that varies every time and can cause voltage fluctuations. By simulating the Singosari electrical system and providing random injection of power from the solar power plant to the Singosari electrical system using probabilistic power flow using the Monte Carlo Simulation (MCS) method, the effect of power injection from the PVDG on the voltage profile could be seen. From the results of the simulation carried out, it showed that when the PV was integrated with the system, the voltage profile would experience improvements, such as in bus 74 which experienced an undervoltage state, it increased by 0.0178 – 0.0215 p.u. from the previous bus voltage profile 74 worth 0.9483 p.u to 0.9661 – 0.9698 p.u when injecting PV into the system randomly which showed that when the Singosari distribution system was integrated with PVDG ITN Malang, voltage profiles could be fixed.

**Keywords :** Voltage Profile, PVDG, Voltage Fluctuation, Probabilistic.



## PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Ahmad Iqbal Zajuli  
NIM : 1812024  
Jurusan/Peminatan : Teknik Elektro S-1/Teknik Energi Listrik  
ID KTP/Paspor : 3514111802000001  
Alamat : Dusun Sendi RT 04 RW 23, Desa Sumbergedang, Kecamatan Pandaan, Kabupaten Pasuruan, Jawa Timur  
Judul Skripsi : Analisis Probabilistik Pengaruh Integrasi 0,5 MWp PLTS ITN Malang Terhadap Profil Tegangan Sistem distribusi Singosari Penyulang Karangploso

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang saya buat merupakan hasil karya sendiri bukan hasil plagiarisme dari orang lain. Dalam skripsi ini tidak memuat karya orang lain kecuali sumber yang digunakan sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Apabila ternyata di dalam skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur plagiarisme, maka saya bersedia skripsi ini digugurkan dan gelar akademik yang telah saya peroleh (S-1) dibatalkan, serta diproses sesuai dengan Undang-Undang yang berlaku.

Malang, 10 September 2022  
Yang membuat pernyataan



Ahmad Iqbal Zajuli)





## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT karena atas karunia kuasanya, penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik Industri, Institut Teknologi Nasional Malang . Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini masih memiliki kekurangan. Karenanya, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dalam rangka pembelajaran terus-menerus. Banyak pihak yang telah membantu dalam penulisan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Awan Uji Krismanto ST., MT., Ph.D., dan Ibu Dr. Irrine Budi Sulistiawati ST., MT., selaku Dosen Pembimbing yang selalu membimbing dengan penuh kesabaran.
2. Bapak Dr. Eng. I Komang Somawirata, ST, MT selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro S-1 ITN Malang
3. Bapak dan Ibu Dosen Elektro S-1 yang senantiasa membantu setiap kesulitan yang penulis temui.
4. Bapak dan Ibu pegawai PLN UP3 Malang dan PLN ULP Singosari yang sudah bersedia membantu dalam pengambilan data yang penulis butuhkan.
5. Kedua orang tua dan keluarga penulis atas dukungan yang telah diberikan kepada penulis.
6. Teman-teman Elektro ITN Malang angkatan 2018 yang selalu mendukung satu sama lain.
7. Seluruh asisten laboratorium SSTE dan TDDE atas penyediaan tempat untuk mengerjakan skripsi.

Dan semua pihak yang telah membantu dalam penulisan skripsi ini, namun tidak dapat disebutkan satu persatu. Akhir kata, penulis berharap skripsi ini dapat memberikan manfaat yang seluas-luasnya bagi perkembangan ilmu pengetahuan.

Malang,

2022

Penulis

## DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR .....	i
DAFTAR ISI .....	ii
DAFTAR GAMBAR .....	iv
DAFTAR TABEL.....	v
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian .....	3
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Sistematika Penulisan .....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	7
2.1 Studi Aliran Daya.....	7
2.2 Aliran Daya <i>Newton-Raphson</i> .....	9
2.3 Profil Tegangan .....	11
2.4 Sistem PLTS Terdistribusi.....	12
2.5 Probabilistik Aliran Daya .....	14
2.6 <i>Monte Carlo Simulation</i> .....	16
2.7 Pemodelan Fungsi Distribusi Pembangkitan Daya Pada PV	17
2.8 Iradiasi Dan Radiasi Matahari.....	18
BAB III SISTEM DISTRIBUSI SINGOSARI PENYULANG KARANGPLOSO DAN PLTS 0,5 MWp ITN MALANG.....	21
3.1 Sistem Distribusi Singosari Penyulang Karangploso .....	21
3.1.1 Data Pembangkitan.....	21
3.1.2 Data Transformator.....	22
3.1.3 Data Saluran .....	23
3.1.4 Data Beban .....	24

3.1.5	<i>Single Line Diagram</i> Penyulang Karangploso .....	26
3.2	PLTS ITN Malang 0,5 MWp .....	28
3.3	Diagram Alir .....	29
3.4	<i>DigSILENT PowerFactory</i> .....	31
3.5	<i>Matrix Laboratory</i> .....	33
<b>BAB IV</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	<b>35</b>
4.1	Analisis Aliran Daya Sistem Distribusi Singosari Penyulang Karangploso .....	35
4.2	Analisis Aliran Daya Ketika Sistem Mendapat Injeksi Daya PLTS 0,5 MWp .....	36
4.3	Data Sistem PLTS ITN Malang .....	39
4.3.1	Pengambilan Sampel Menggunakan GMM .....	39
4.3.2	Mengubah Nilai Iradiasi Menjadi Daya.....	41
4.3.3	Pengisian Data PLTS Menggunakan Aplikasi <i>DigSILENT PowerFactory</i> .....	42
4.4	Analisis Probabilistik Integrasi PLTS dengan Sistem Distribusi.....	44
4.4.1	Analisis Probabilistik Bus 74 .....	46
4.4.2	Analisis Probabilistik Bus 80 .....	49
4.4.3	Analisis Probabilistik Bus 177 .....	51
4.4.4	Analisis Probabilistik Bus 155 .....	54
4.4.5	Analisis Probabilistik Bus 169 .....	57
<b>BAB V</b>	<b>PENUTUP</b> .....	<b>61</b>
5.1	Kesimpulan .....	61
5.2	Saran .....	61
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>		
<b>LAMPIRAN</b>		

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> Integrasi PLTS dengan Sistem Distribusi Penyulang Karangploso.....	13
<b>Gambar 2.2</b> Model Keluaran Daya dari <i>Solar Cell Generators</i> (SCG) 17	
<b>Gambar 2.3</b> Arah Sinar Datang Membentuk Sudut Terhadap Panel ...	19
<b>Gambar 3.1</b> Data Pembangkitan.....	21
<b>Gambar 3.2</b> Data Transformator .....	23
<b>Gambar 3.3</b> Data Saluran.....	24
<b>Gambar 3.4</b> Data Beban.....	26
<b>Gambar 3.5</b> SLD Penyulang Karangploso.....	27
<b>Gambar 3.6</b> PLTS ITN Malang 0,5 MWp.....	28
<b>Gambar 3.7</b> Trafo Yang Terhubung Dengan PLTS .....	29
<b>Gambar 3.8</b> Diagram Alir Simulasi Probabilistik Aliran Daya .....	30
<b>Gambar 3.9</b> SLD Pada <i>DigSILENT PowerFactory</i> .....	32
<b>Gambar 4.1</b> Profil Tegangan Saat <i>Base Case</i> .....	36
<b>Gambar 4.2</b> Profil Tegangan Setelah Injeksi Daya 0,5 MWp .....	38
<b>Gambar 4.3</b> <i>Gaussian Mixture Models</i> iradiasi matahari .....	40
<b>Gambar 4.4</b> <i>Input</i> Data PLTS Secara Acak .....	43
<b>Gambar 4.5</b> Profil Tegangan Acak Menggunakan MCS.....	43
<b>Gambar 4.6</b> Injeksi Daya Acak Menggunakan PDF .....	44
<b>Gambar 4.7</b> PDF Bus 74.....	46
<b>Gambar 4.8</b> CDF Bus 74 .....	47
<b>Gambar 4.9</b> PDF Bus 80.....	49
<b>Gambar 4.10</b> CDF Bus 80.....	50
<b>Gambar 4.11</b> PDF Bus 177 .....	52
<b>Gambar 4.12</b> CDF Bus 177.....	53
<b>Gambar 4.13</b> PDF Bus 155 .....	55
<b>Gambar 4.14</b> CDF Bus 155.....	56
<b>Gambar 4.15</b> PDF Bus 169 .....	58
<b>Gambar 4.16</b> CDF Bus 169.....	59

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Variabel Setiap Bus .....	8
<b>Tabel 3.2</b> Data Transformator Penyulang Karangploso .....	22
<b>Tabel 3.3</b> Data Saluran .....	23
<b>Tabel 3.4</b> Data Beban .....	25
<b>Tabel 4.1</b> Hasil Profil Tegangan Saat <i>Base Case</i> .....	35
<b>Tabel 4.2</b> Hasil Profil Tegangan Setelah Mendapat Injeksi Daya 0,5 MWp .....	37
<b>Tabel 4.3</b> Persentase Probabilitas Daya PLTS.....	45
<b>Tabel 4.4</b> Hasil Probabilistik Bus 74.....	48
<b>Tabel 4.5</b> Hasil Probabilistik Bus 80.....	50
<b>Tabel 4.6</b> Hasil Probabilistik Bus 177.....	53
<b>Tabel 4.7</b> Hasil Probabilistik Bus 155.....	56
<b>Tabel 4.8</b> Hasil Probabilistik Bus 169.....	59



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Perencanaan dan perancangan sistem tenaga listrik telah berkembang di Indonesia, salah satunya adalah di Malang. Para peneliti telah mengembangkan penggunaan energi terbarukan. Contohnya, Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB), Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), dan lain sebagainya.

A. F. Gusnanda, Sarjiya, dan L. M. Putranto menjelaskan bahwa penggunaan energi terbarukan di Indonesia pada tahun 2025 sebesar 23% dimana 35.000 MW dari 23% adalah panel surya. Salah satu bentuk pemanfaatan dari energi terbarukan ini adalah integrasi PLTS terhadap sistem distribusi [1]. Pembangkit Listrik Tenaga Surya merupakan pembangkit energi listrik yang mengubah energi matahari menjadi energi listrik dengan menggunakan media fotovoltaik atau panel surya.

Integrasi PLTS terhadap sistem distribusi memberi dampak yang positif terhadap sistem distribusi, seperti meminimalkan rugi-rugi daya, meningkatkan keandalan, stabilitas dan efisiensi sistem, dan juga mampu membuat tegangan menjadi lebih baik [2][3]. Tegangan dikatakan baik apabila nilai tegangan sudah termasuk dalam ketentuan yang ada yaitu  $\pm 5\%$ , tegangan yang berada dalam kondisi buruk dapat berpengaruh terhadap profil tegangan [4]. Profil tegangan merupakan kondisi suatu tegangan yang berada dalam kondisi tegangan nominalnya dalam sistem saat terjadi perubahan kondisi beban maupun rugi-rugi tegangan.

Ketika mengintegrasikan sistem distribusi dengan PLTS, maka akan ada tantangan dari sistem integrasi ini, yaitu terjadinya fluktuasi tegangan, injeksi daya yang tidak bisa diprediksi, dan bersifat *intermittent* yang artinya tidak selalu ada ketika dibutuhkan [5]. Oleh karena itu diperlukan analisis probabilistik aliran daya untuk melihat kondisi nyata dari sistem distribusi yang terintegrasi dengan PLTS, fungsinya adalah memperkirakan kondisi ke depan, baik itu satu minggu, satu bulan, ataupun satu tahun dari sumber dan juga beban dari sistem distribusi yang terintegrasi dengan PLTS. Ada dua metode yang digunakan untuk analisis sistem tenaga, yaitu analisis



deterministik aliran daya dan analisis *Probabilistic Power Flow* (PPF). Keuntungan dari analisis probabilistik ini adalah dapat memperhitungkan kondisi variasi sumber dan beban untuk ke depannya, sedangkan metode deterministik tidak dapat memperhitungkan hal tersebut. Analisis probabilistik aliran daya dibagi menjadi 3 kategori, yaitu metode perkiraan, metode analitik, dan metode numerik [6].

Menurut Dinh Duong Le, dari ketiga analisis probabilistik aliran daya, yang pertama ada metode perkiraan dengan menggunakan teknik aproksimasi, dimana variabel *input* didekomposisi menjadi serangkaian pasangan nilai dan bobot dan kemudian momen variabel *output* dihitung sebagai fungsi dari input, kekurangan dari metode ini adalah metode ini hanya melakukan pendekatan terhadap suatu masalah. Kedua, ada metode analitik dengan menerapkan algoritma aritmatika (misalnya menggunakan teknik konvolusi atau metode kumulatif) dengan *Probability Density Function* (PDF) atau *Cummulative Distribution Function* (CDF) variabel acak input sehingga dapat diperoleh PDF dan CDF variabel acak output, kelemahan dari metode ini adalah tidak mudah untuk mendapatkan solusi. Ketiga, ada metode numerik dengan menggunakan *Monte Carlo Simulation* (MCS) yang mengevaluasi respon sistem secara berulang menggunakan satu set nilai tertentu dari variabel acak, kelemahan dari metode ini adalah membutuhkan proses komputasi yang besar dan waktu yang lama [7][8].

Probabilistik aliran daya merupakan alat yang cocok untuk menghitung probabilitas sistem tenaga dengan adanya ketidakpastian sumber ataupun beban. Penelitian ini menggunakan dua metode, yaitu metode numerik dengan teknik MCS dan metode analitik. MCS merupakan metode numerik yang menghasilkan banyak kemungkinan dengan cara deterministik dan menghitung probabilitas dengan statistik [9]. Metode analitik bertujuan untuk secara langsung menghitung PDF dan CDF dari variabel acak yang diinginkan. Metode analitik jauh lebih cepat daripada MCS, sehingga PPF dirumuskan sebagai masalah untuk mendapatkan PDF/CDF dari penjumlahan linier variabel acak *non-Gaussian* yang berkorelasi. Kemudian, *Gaussian Mixture Model* (GMM) digunakan untuk mewakili berbagai jenis injeksi daya acak. Selanjutnya, PDF daya aktif pada sistem tenaga dinyatakan secara analitik, sehingga

algoritma cepat tanpa operasi integral diadopsi untuk menghitung CDF yang sesuai secara efisien [10][11].

PLTS baru di ITN Malang dengan kapasitas 0,5 MWp yang diawali dengan *groundbreaking* pada tanggal 5 bulan Maret 2021 yang terhubung dengan sistem distribusi Singosari belum ada kajian ilmiah yang memperhitungkan dan menganalisis integrasi PLTS dengan sistem distribusi Singosari. Lokasi PLTS berada di kampus ITN Malang, tepatnya berada di Jl. Raya Karanglo KM. 2, Tasikmadu, Kec. Lowokwaru, Kota Malang, Jawa Timur. Sedangkan, lokasi pengambilan data sistem distribusi berada di PT PLN (Persero) ULP Singosari, tepatnya berada di Jl. Kertanegara, Candirenggo, Kec. Singosari, Malang, Jawa Timur. Jadi, selain penelitian juga dilakukan analisis terhadap integrasi dari kedua sistem ini, analisis yang dilakukan adalah analisis probabilistik sistem distribusi Singosari yang terintegrasi dengan sistem PLTS ITN Malang dengan tujuan untuk melihat kondisi riil dari sistem yang ada.

## 1.2 Rumusan Masalah

Dengan adanya integrasi antara sistem distribusi Singosari penyulang Karangploso dengan sistem PLTS baru, maka sistem distribusi akan mendapatkan suplai daya yang bervariasi dan dapat menyebabkan terjadinya variasi tegangan akibat integrasi dari PLTS ke sistem distribusi, oleh karena itu rumusan masalah untuk penelitian ini adalah

1. Analisis profil tegangan sistem distribusi Singosari penyulang Karangploso saat *base case*.
2. Analisis probabilistik ketika PLTS 0,5 MWp ITN Malang terintegrasi dengan sistem distribusi Singosari penyulang Karangploso terhadap profil tegangan menggunakan teknik *Monte Carlo Simulation*.

## 1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah melihat pengaruh dari integrasi sistem distribusi Singosari penyulang Karangploso dengan sistem PLTS terhadap perubahan profil tegangan (dalam standar atau tidak) dan juga untuk menganalisis dampak sebelum terintegrasi dan analisis probabilistik sesudah terintegrasi terhadap profil tegangan.

Manfaat dari penelitian ini adalah dapat memperhitungkan kondisi riil dari integrasi sistem distribusi dengan PLTS yang bisa menyebabkan terjadinya variasi tegangan di semua bus dalam sistem distribusi, memperkirakan kondisi ke depan, baik itu satu minggu, satu bulan ataupun satu tahun dari sumber dan juga beban dari sistem distribusi yang terintegrasi dengan PLTS menggunakan analisis probabilistik aliran daya.

#### **1.4 Batasan Masalah**

1. Simulasi menggunakan *software DIGSilent Power Factory* dan *software MATLAB R2020a*.
2. Data yang digunakan merupakan data dari PLTS ITN Malang dan PT. PLN (Persero) ULP Singosari penyulang Karangploso pada bulan September tahun 2021.
3. Analisis yang dilakukan merupakan analisis probabilistik aliran daya.

#### **1.5 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan penelitian ini disusun menjadi beberapa bab dan diuraikan dengan pembahasan sesuai daftar isi. Sistematika penulisan adalah sebagai berikut :

### **BAB I : PENDAHULUAN**

Berisikan tentang latar belakang mengenai analisis probabilistik pengaruh integrasi 0,5 MWp PLTS ITN Malang terhadap profil tegangan sistem distribusi penyulang Karangploso, rumusan masalah mengenai integrasi PLTS ITN Malang dengan sistem distribusi penyulang Karangploso, tujuan dan manfaat analisis probabilistik aliran daya, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

### **BAB II : LANDASAN TEORI**

Menguraikan tentang konsep profil tegangan, sistem integrasi PLTS terdistribusi, metode probabilistik aliran daya menggunakan metode *Monte Carlo Simulation (MCS)*, radiasi harian matahari dan *software DigSILENT Power Factory*.

### **BAB III : METODOLOGI**

Membahas tentang perencanaan dan pembuatan penelitian yang terkait pengolahan data PT. PLN (Persero) ULP Singosari dan simulasi pemasangan PLTS ITN Malang. Analisis menggunakan *software DIGSilent Power Factory* serta metode probabilistik untuk melihat pengaruh injeksi daya dari PLTS ke sistem distribusi terhadap profil tegangan pada setiap bus saluran distribusi. Variabel acak radiasi matahari juga dibahas dan membandingkannya sebelum dan sesudah terintegrasinya PLTS ke dalam sistem.

### **BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN**

Berisi tentang analisis sistem saat base case dan terintegrasinya sistem distribusi dengan PLTS. Pembahasan kondisi lengkap sistem dan analisisnya diuraikan pada bagian ini.

### **BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN**

Berisi mengenai kesimpulan dari keseluruhan analisis sistem dengan injeksi yang dilakukan, serta saran-saran guna menyempurnakan dan mengembangkan sistem lebih lanjut.

### **DAFTAR PUSTAKA**

**[Halaman Sengaja di Kosongkan]**

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Studi Aliran Daya**

Studi aliran daya adalah studi untuk menghitung tegangan, arus, daya aktif, atau daya reaktif yang terdapat pada berbagai titik dalam jaringan listrik pada kondisi operasi normal, baik pada operasi saat ini maupun yang akan datang. Dengan studi aliran daya, kita dapat menentukan tegangan pada setiap bus dalam sistem, baik besaran maupun sudut fasa tegangan, daya aktif dan reaktif yang mengalir di setiap saluran sistem, kondisi dari seluruh sistem, apakah sudah memenuhi batas atau standar yang ditentukan untuk memberikan energi listrik yang diinginkan [12].

Studi ini digunakan untuk mengevaluasi kemampuan sistem untuk memberi daya pada beban tetap dalam rentang tegangan dan arus yang benar. Laporan studi aliran daya sendiri digunakan untuk menentukan tegangan dan faktor daya untuk semua bus pada penyulang yang ada.

Tujuan dari studi aliran daya antara lain :

- a. Untuk mengetahui tegangan pada masing-masing bus dalam sistem, baik besaran maupun sudut fasa tegangan.
- b. Mengetahui daya aktif dan daya reaktif yang mengalir pada setiap saluran sistem.
- c. Untuk mengetahui status semua perangkat, apakah memenuhi batas yang ditentukan untuk menghasilkan energi listrik yang diinginkan
- d. Untuk memperoleh kondisi awal pada perencanaan sistem yang baru.
- e. Untuk mendapatkan kondisi awal untuk studi lebih lanjut, misalnya studi mengenai gangguan hubung singkat, stabilitas dan studi pembebanan ekonomis.

Metode yang digunakan untuk menghitung dan mengolah data jaringan adalah metode *Gauss-Seidel*, *Newton-Raphson* dan *Fast Decoupled*. Secara umum digunakan 2 cara dengan metode ini untuk menganalisa aliran daya, yaitu kemungkinan analisis matematis dan

kemungkinan analisis perangkat lunak (*software*) dan metode yang paling sering digunakan untuk perhitungan aliran daya adalah metode *Newton-Raphson* [13]. Untuk setiap node yang memiliki 4 parameter daya aktif (P), daya reaktif (Q), besaran tegangan (V) dan sudut fasa tegangan. Untuk aliran daya yang mendefinisikan node dalam perangkat lunak, umumnya dipertimbangkan 3 jenis, yaitu :

a. Bus referensi (*Swing* atau *Slack Bus*)

Bus ini berfungsi untuk menyuplai kekurangan daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) pada sistem. Parameter atau besaran yang ditentukan adalah tegangan (V) dan sudut fasa ( $\delta$ ). Setiap sistem tenaga listrik hanya memiliki 1 bus referensi, yaitu bus yang di dalamnya terdapat generator yang memiliki kapasitas paling besar di antara generator lainnya dalam sistem tersebut.

b. Bus Generator (*Voltage Control Bus*)

Bus ini merupakan bus yang tegangannya dapat diatur dengan pengaturan daya reaktif sehingga tegangan tetap konstan. Parameter atau ukuran yang diketahui adalah daya aktif (p) dan tegangan (v). Bus ini disebut bus PV.

c. Bus Beban (*Load Bus*)

Bus ini adalah bus yang terhubung ke beban sistem. Parameter atau variabel yang ditentukan adalah daya aktif (P) dan daya reaktif (Q), itulah sebabnya bus ini juga disebut sebagai bus PQ.

Untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada tabel 2.1

**Tabel 2.1** Variabel Setiap Bus

<b>Jenis Bus</b>	<b>Variabel yang diketahui</b>	<b>Variabel tidak diketahui</b>
Generator	Daya Aktif (P)	Sudut Tegangan ( $\theta$ )
	Tegangan (V)	Daya Reaktif (Q)
Beban	Daya Aktif (P)	Sudut Tegangan ( $\theta$ )
	Daya Reaktif (Q)	Tegangan (V)
Slack	Sudut Tegangan ( $\theta$ )	Daya Aktif (P)
	Tegangan (V)	Daya Reaktif (Q)



## 2.2 Aliran Daya *Newton-Raphson*

Metode *Newton-Raphson* digunakan untuk mendapatkan rekonfigurasi jaringan yang optimal. Pada jaringan distribusi biasanya terjadi ketidakseimbangan pada setiap fasa (jaringan distribusi merupakan sistem tiga fasa) atau terjadi kelebihan beban akibat penggunaan peralatan elektronik konsumen tenaga listrik. Jika situasi ini dibiarkan berlanjut, hal itu akan mengakibatkan penurunan keandalan sistem tenaga dan kualitas daya listrik yang disalurkan, dan kerusakan pada peralatan yang terlibat. Untuk itu memerlukan tindakan yang mengurangi ketidakseimbangan (*unbalance*) pada fasa dan beban lebih (*overload*) pada jaringan distribusi listrik. Selain itu, sistem distribusi radial juga memiliki rugi-rugi daya yang cukup besar, yang menyebabkan keandalan sistem berkurang.

Dalam kondisi operasi normal, konfigurasi ulang jaringan dilakukan karena dua alasan :

1. Pengurangan rugi daya dalam sistem (*loss reduction*).
2. *Load balancing* untuk mencegah terjadinya pembebanan berlebih (*overload*).

Dasar metode *Newton-Raphson* untuk menyelesaikan aliran daya adalah deret Taylor untuk fungsi dengan lebih dari dua variabel. Metode *Newton-Raphson* menyelesaikan masalah aliran daya dengan menggunakan persamaan non-linier untuk menghitung besar tegangan dan sudut fasa tegangan masing-masing bus.

Pada analisis aliran daya, setiap bus memiliki dua besaran yang telah ditentukan kemudian dua besaran lainnya akan dihitung. Apabila nilai  $V$  dan  $\delta$  ditentukan, maka Langkah selanjutnya iterasi awal untuk mencari nilai  $PV$  dan  $PQ$  menggunakan persamaan berikut

Untuk persamaan daya aktif pada bus  $i$ , yaitu

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

Untuk 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 konvergen pada iterasi awal, maka dilanjutkan dengan membentuk elemen-elemen matriks *Jacobian* dengan menggunakan contoh perhitungan pada 3 bus, daya bus dinyatakan sebagai fungsi non-linier dari tegangan bus [14].

$$\begin{aligned} P_1 &= V_1(Y_{11}V_1 + Y_{12}V_2 + Y_{13}V_3) \\ P_2 &= V_2(Y_{21}V_1 + Y_{22}V_2 + Y_{23}V_3) \\ P_3 &= V_3(Y_{31}V_1 + Y_{32}V_2 + Y_{33}V_3) \end{aligned} \quad (3)$$

Perubahan kecil pada tegangan bus ( $\Delta V$ ) akan menyebabkan perubahan kecil yang sesuai dalam daya bus ( $\Delta P$ ), pendekatan linier terhadap perubahan daya sebagai fungsi dari perubahan tegangan dapat diperoleh sebagai berikut

$$\begin{bmatrix} \Delta P_1 \\ \Delta P_2 \\ \Delta P_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_1}{\partial V_1} & \frac{\partial P_1}{\partial V_2} & \frac{\partial P_1}{\partial V_3} \\ \frac{\partial P_2}{\partial V_1} & \frac{\partial P_2}{\partial V_2} & \frac{\partial P_2}{\partial V_3} \\ \frac{\partial P_3}{\partial V_1} & \frac{\partial P_3}{\partial V_2} & \frac{\partial P_3}{\partial V_3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta V_1 \\ \Delta V_2 \\ \Delta V_3 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Atau disederhanakan sebagai berikut

$$[\Delta P_1] = [J][\Delta V] \quad (5)$$

Dimana  $[J]$ , merupakan *Jacobian matrix* yang berisi turunan parsial daya sehubungan dengan tegangan untuk satu set tegangan tertentu  $V_1, V_2$ , dan  $V_3$  yaitu, turunan parsial dari persamaan (1).

Dalam masalah aliran daya,  $V_1$  ditentukan, yaitu  $V_1 = 0$ . Juga, karena  $P_1$  tidak memasukkan perhitungan secara eksplisit,, persamaan 2 dapat dikurangi menjadi

$$\begin{bmatrix} \Delta P_2 \\ \Delta P_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_2}{\partial V_2} & \frac{\partial P_2}{\partial V_3} \\ \frac{\partial P_3}{\partial V_2} & \frac{\partial P_3}{\partial V_3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta V_2 \\ \Delta V_3 \end{bmatrix} \quad (6)$$

Perubahan dalam  $V_2$  dan  $V_3$  karena perubahan  $P_2$  dan  $P_3$  diperoleh dengan membalik  $[J]$  untuk memperoleh

$$[\Delta V] = [J]^{-1}[\Delta P] \quad (7)$$

Dengan menggunakan persamaan (5), maka nilai tegangan dapat ditentukan.

### 2.3 Profil Tegangan

Profil tegangan merupakan kondisi suatu tegangan yang berada dalam kondisi tegangan nominalnya ketika sistem tenaga terjadi perubahan kondisi beban ataupun pada saat terjadi rugi-rugi tegangan. Stabilitas tegangan dalam sistem tenaga didefinisikan sebagai kemampuan sistem tenaga untuk mempertahankan tegangan pada setiap bus dalam sistem dibawah normal dan setelah mengalami gangguan. Dalam kondisi normal tegangan dari sistem tenaga stabil, tetapi ketika terjadi gangguan dalam sistem, maka tegangan menjadi tidak stabil sehingga menyebabkan berbagai kondisi tegangan (fluktuasi), kondisi ini juga didefinisikan sebagai perubahan tegangan secara acak 0.95 sampai dengan 1.05 p.u [15].

Batas stabilitas tegangan dapat didefinisikan sebagai tahap pembatas dalam sistem tenaga. Besar deviasi tegangan yang merupakan deviasi maksimum dari semua bus yang berbeda dalam suatu sistem tenaga berada di kisaran ( $0.95 \leq n \leq 1.05 p.u$ ) dari tegangan nominal bus. Jika nilai tegangan dalam sistem berada di

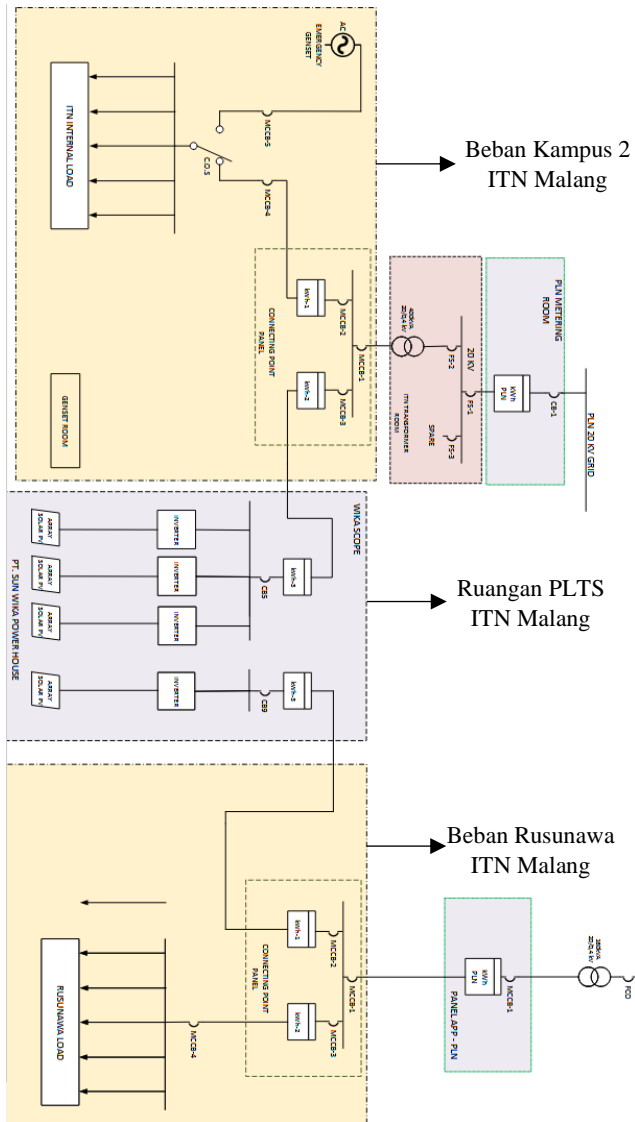
bawah 0.95 p.u maka tegangan sistem mengalami *undervoltage* dan jika nilai tegangan dalam sistem berada diatas 1.05 p.u maka tegangan sistem mengalami *overvoltage* [16].

## 2.4 Sistem PLTS Terdistribusi

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) ITN Malang dengan kapasitas 0,5 MWp yang terhubung dengan sistem distribusi Singosari penyulang Karangploso bekerja secara *on-grid* atau terintegrasi yang artinya sistem PLTS terhubung langsung dengan sistem distribusi. Teknologi ini tidak menggunakan penyimpanan atau baterai sehingga listrik yang dihasilkan dapat digunakan langsung untuk berbagai keperluan sehari-hari.

Melalui peraturan Menteri ESDM tentang Energi Terbarukan dan Konservasi Energi (EBTKE), jika dalam suatu sistem jaringan listrik, Perusahaan Listrik Negara (PLN) berperan sebagai penyalur atau penghubung arus listrik yang berasal dari panel surya yang dialiri beban. Pembangkit Listrik Tenaga Surya dapat bekerja secara dua arah, dimana pada siang hari penggunaan listrik dapat memanfaatkan listrik dari panel surya. Sedangkan, pada malam harinya tidak bisa karena 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 pada malam hari.

Sehingga, PLTS tidak dapat di kontrol untuk menghasilkan daya sesuai dengan permintaan konsumen diakrenakan kondisi cuaca yang tidak menentu. Bahkan, ketika awan berada diatas modul panel surya, hal ini dapat menyebabkan terjadinya fluktuasi tegangan atau penurunan tegangan secara tiba-tiba jika terjadi peningkatan beban yang besar dan modul panel surya terhalang oleh awan atau cuaca yang tidak mendukung. Tegangan akan turun dibawah batas stabilitas tegangan yang di perbolehkan sesuai standar sehingga nilai tegangan tidak dapat dipertahankan sesuai standar [17].



**Gambar 2.1** Integrasi PLTS dengan Sistem Distribusi Penyulang Karangploso

## 2.5 Probabilistik Aliran Daya

*Probabilistic Power Flow* (PPF) berdasarkan metode numerik (seperti simulasi *Monte Carlo*) atau metode analitik (seperti teknik konvolusi) dikembangkan pada 1970-an untuk menangani ketidakpastian dalam sistem tenaga karena variasi dalam variabel jaringan listrik [18].

Tujuan dari probabilistik aliran daya ini adalah untuk mendapatkan nilai *Probability Density Function* (PDF) dan *Cummulative Distribution Function* (CDF) dari penjumlahan linier variabel acak. PDF diperkirakan dari data iradiasi matahari yang dikumpulkan menggunakan fungsi distribusi *Gaussian Mixture* [19]. *Gaussian Mixture Model* berguna untuk memodelkan data yang berasal dari salah satu kelompok-kelompok yang mungkin berbeda satu sama lain, tetapi titik data dalam kelompok yang sama dapat dimodelkan dengan baik oleh distribusi *Gaussian*. Untuk menentukan nilai *Gaussian* dapat menggunakan persamaan berikut

$$PX^{(x)} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (8)$$

Dimana variabel  $x$  menyatakan nilai dari variabel acak, untuk variabel  $\mu$  menyatakan *mean* (rata-rata) dan untuk variabel  $\sigma^2$  atau  $\sigma$  menyatakan standar deviasi. Dengan menggunakan persamaan yang lebih sederhana, dapat menggunakan persamaan berikut

$$PX^{(x)} = N(x; \mu, \sigma^2) \quad (9)$$

Dimana  $N$  adalah nilai normal [20].

Setelah model statistik didefinisikan dengan menggunakan distribusi *Gaussian*. Maka, simulasi *Monte Carlo* dilakukan dengan melibatkan pengulangan proses simulasi menggunakan satu set nilai tertentu dari variabel acak (produksi pembangkitan fotovoltaik pada setiap bus jaringan distribusi).

Probabilistik aliran daya dirumuskan sebagai masalah untuk mendapatkan PDF/CDF dari penjumlahan linier variabel acak *non-Gaussian* yang berkolerasi. Kemudian, *Gaussian Mixture Model* (GMM) digunakan untuk mewakili berbagai jenis injeksi daya acak

dengan menggunakan persamaan 1. Selanjutnya, PDF daya aktif pada sistem tenaga dinyatakan secara analitik, sehingga algoritma cepat tanpa operasi integral diadopsi untuk menghitung CDF yang sesuai secara efisien [10].

### 2.2.1 Fungsi Kepadatan Probabilitas

*Probability Density Function* (PDF) merupakan fungsi yang menyatakan nilai probabilitas dari setiap variabel acak dengan *range* tertentu yang akan tersebar dengan model sebaran tertentu. PDF dapat dinotasikan

$$f(x) = P(X = x) \quad (10)$$

Dimana  $X$  merupakan variabel acak dan  $x$  merupakan nilai dari variabel acak.

Jika  $X = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$  menyatakan semua kejadian yang mungkin, maka nilai probabilitas untuk semua kejadian dapat dituliskan

$$\sum_n p(X = x_n) = 1 \quad (11)$$

### 2.2.2 Fungsi Distribusi Kumulatif

*Cumulative Distribution Function* (CDF) merupakan fungsi yang menjumlahkan nilai probabilitas dari setiap nilai dalam variabel acak dengan nilai probabilitas yang lebih kecil atau sama dengan suatu nilai yang ditetapkan, nilai dari CDF sendiri dimulai dari 0 sampai 1. CDF dapat dinotasikan

$$F(x) = P(X \leq x) \quad (12)$$

Dimana  $X$  merupakan variabel acak yang mengambil nilai  $x$  atau lebih kecil dari  $x$ .

Jika  $X = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$ , maka fungsi distribusi kumulatif untuk  $X = x_n$  dapat dituliskan



$$P(X \leq x_n) = P(x_1) + P(x_2) + \dots + P(x_n) \quad (13)$$

Atau

$$P(X \leq x_n) = \sum_{i=1}^n P(x_i) \quad (14)$$

## 2.6 Monte Carlo Simulation

Berbagai metode telah diusulkan untuk mempelajari efek ketidakpastian dari sistem tenaga. Salah satunya adalah simulasi *Monte Carlo* yang telah menjadi metode populer karena kemampuannya untuk menangani sejumlah besar sampel dengan akurasi yang tinggi. Keluaran daya dari unit pembangkitan sangat bervariasi karena ketidakpastian dari sistem energi terbarukan yang hasil keluarannya mengikuti kondisi alam.

Simulasi *Monte Carlo* merupakan metode berulang yang mengevaluasi respon sistem secara berulang setelah model statistik didefinisikan, MCS melibatkan pengulangan proses simulasi menggunakan satu set nilai tertentu dari variabel acak (beban dan produksi PV pada setiap bus dari jaringan distribusi yang dipertimbangkan, jam demi jam). MCS mengubah variabel acak *input* sistem menjadi peluang hasil distribusi probabilitas. Ini memberikan pendekatan untuk analisa statistik kinerja sistem dengan *input* acak saat simulasi langsung. Namun, hal ini perlu menentukan respon sistem ke sejumlah kondisi awal dan fungsi *input* acak yang dihasilkan sesuai dengan statistik yang ditentukan [21]. Demikian data yang diperlukan untuk MCS adalah model sistem, statistik kondisi awal dan statistik *input* acak. Umumnya, kondisi awal ditentukan oleh *mean* dan *varians* dari respon. Data statistik dari *input* acak menentukan respon setelah kondisi awal. Sehingga, hasil *load flow* berdasarkan MCS dalam hal aliran daya di berbagai bagian sistem dan profil tegangan di semua bus jaringan dapat diperlakukan secara statistik dan metode statistik estimasi maupun inferensi dapat diterapkan [22][23].

Dalam analisis ketidakpastian, hubungan antara variabel dependen dan independen dapat dinyatakan sebagai

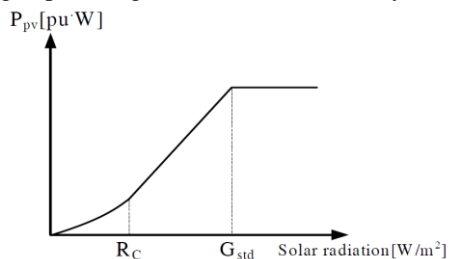
$$v = h(z) \quad (15)$$

Dimana  $h$  mewakili fungsi yang menggambarkan korelasi antara perilaku dinamis dari variabel *output* dan nilai-nilai variabel *input* yang tidak pasti. Variabel vektor *input* dan *output* dapat direpresentasikan sebagai  $v = [v_1, v_2, \dots]^t$  dan  $z = [z_1, z_2, \dots]^t$  dari masing-masing nilai.

Tujuan dari MCS adalah untuk memperhitungkan ketidakpastian *output* atau variabel dependen yang dihasilkan dari ketidakpastian *input* atau variabel independen melalui fungsi kompleks tertentu. Untuk mendapatkan PDF dari variabel *output*, variabel *input* diambil secara acak melalui metode berulang seperti MCS [19].

## 2.7 Pemodelan Fungsi Distribusi Pembangkitan Daya Pada PV

Untuk pemodelan pembangkitan daya pada PV, ada beberapa masalah sistem yang tidak perlu dipertimbangkan, seperti tidak mempertimbangkan konfigurasi sistem dan nilai impedansi saluran. Tujuan dilakukan pemodelan fungsi distribusi pembangkitan daya pada PV adalah untuk penjadwalan pembangkit dengan mempertimbangkan sistem energi matahari dengan menentukan jumlah daya pembangkit yang optimal untuk unit sistem energi matahari selama periode penelitian. Sehingga, total biaya bisa diminimalkan dengan persamaan keseimbangan daya, persyaratan untuk cadangan pembangkit dan keandalan lainnya [24].



**Gambar 2.2** Model Keluaran Daya dari *Solar Cell Generators* (SCG)

Perhitungan perubahan lamanya iradiasi dapat di rubah ke daya dengan menggunakan persamaan berikut

$$P_{PV}(G_t) = \left\{ \begin{array}{l} P_{sn} \frac{(G_t)^2}{G_{std} R_c} \\ P_{sn} \frac{(G_t)}{G_{std}} \end{array} \right\} \quad (16)$$

Dimana

$P_{sn}$  = Rata-rata *output* daya PV

$G_t$  = Meramalkan radiasi

$G_{std}$  = Radiasi matahari yang ditetapkan dengan nilai  $1000 \text{ W/m}^2$

$R_c$  = Titik radiasi yang ditetapkan dengan nilai  $150 \text{ W/m}^2$

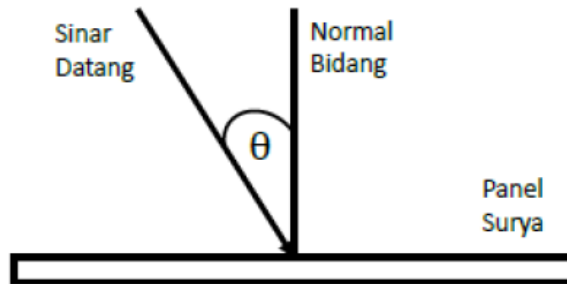
Nilai-nilai ini hanya dapat diketahui melalui jangka pendek peramalan. Karena permintaan beban sistem dan radiasi matahari tergantung pada variabel pelanggan dan cuaca [24].

## 2.8 Iradiasi Dan Radiasi Matahari

Iradiasi merupakan suatu proses dimana suatu objek untuk terkena radiasi. Lebih umum, istilah ini digunakan untuk mengungkapkan paparan radiasi yang disengaja. Sedangkan, radiasi merupakan emisi energi oleh materi atau ruang dalam bentuk panas, partikel, atau gelombang atau cahaya elektromagnetik (foton) dari sumber radiasi. Radiasi menjelaskan berbagai proses perpindahan energi.

Konstanta radiasi matahari sebesar  $1353 \text{ W/m}^2$  berkurang intensitasnya dengan penyerapan dan refleksi dari atmosfer sebelum mencapai permukaan bumi. Ozon di atmosfer menyerap radiasi dengan panjang gelombang pendek (ultraviolet). Sedangkan, karbon dioksida dan uap air menyerap radiasi dengan panjang gelombang yang lebih panjang (inframerah). Selain mengurangi radiasi langsung atau terestrial dengan penyerapan tersebut, ada radiasi yang disebarkan oleh molekul gas, debu dan uap air di atmosfer sebelum mencapai Bumi, yang dikenal sebagai sebaran radiasi.

Besarnya radiasi yang diterima panel sel surya dipengaruhi oleh sudut datang, yaitu sudut antara arah datangnya cahaya dengan komponen tegak lurus bidang panel.



**Gambar 2.3** Arah Sinar Datang Membentuk Sudut Terhadap Panel

Panel menerima radiasi matahari maksimum ketika matahari tegak lurus terhadap bidang panel. Jika arah matahari tidak tegak lurus terhadap bidang panel atau membentuk sudut  $\theta$ , panel akan menerima lebih sedikit radiasi [25].

**[Halaman Sengaja di Kosongkan]**

# BAB III

## SISTEM DISTRIBUSI SINGOSARI PENYULANG KARANGPLOSO DAN PLTS 0,5 MW<sub>p</sub> ITN MALANG

### 3.1 Sistem Distribusi Singosari Penyulang Karangploso

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data *Single Line Diagram*, data saluran sistem distribusi Singosari Penyulang Karangploso 20 kV yang terdiri dari 90 bus dan 90 saluran, data yang didapatkan berupa data trafo, data saluran dan data beban yang pengambilannya dilakukan dalam setahun sekali, data yang didapat merupakan data terakhir pengukuran yaitu pada bulan September tahun 2021.

#### 3.1.1 Data Pembangkitan

Untuk data pembangkitan, sistem distrsribusi Singosari penyulang Karangploso hanya mendapatkan suplai dari Gardu Induk (GI) Sengkaling, berikut ini merupakan data GI yang dimasukkan pada aplikasi *DigSILENT PowerFactory*.

External Grid - Grid\GI SENGKALING.ElmXnet

Basic Data	Bus Type	SL
<b>Load Flow</b>	Setpoint	local
VDE/IEC Short-Circuit	Operation Point	
Complete Short-Circuit	Angle	0. deg
ANSI Short-Circuit	Voltage Setpoint	1. p.u.
IEC 61363	Reference Busbar	...
DC Short-Circuit	Reactive Power Operational Limits	
RMS-Simulation	Capability Curve	...
EMT-Simulation	Min.	-9999. Mvar    Scaling Factor (min.) 100. %
Hamonics/Power Quality	Max.	9999. Mvar    Scaling Factor (max.) 100. %
Optimal Power Flow		
Reliability		
Generation Adequacy		
Description		

Gambar 3.1 Data Pembangkitan

### 3.1.2 Data Transformator

Data transformator yang didapatkan merupakan data kapasitas setiap trafo yang ada pada sistem distribusi penyulang Karangploso. Data transformator berjumlah 90, bisa dilihat pada tabel 3.1, untuk data transformator yang lain berada pada lampiran.

**Tabel 3.1** Data Transformator Penyulang Karangploso

<b>NO</b>	<b>KODE GARDU</b>	<b>Daya (kVA)</b>	<b>NO</b>	<b>KODE GARDU</b>	<b>Daya (kVA)</b>
1	E0024	250	23	E0390	160
2	E0140	250	24	E0366	1250
3	E0209	200	25	E0348	100
4	E0242	160	26	E0423	200
5	E0270	100	27	E0144	200
6	E0327	160	28	E0280	250
7	E0347	160	29	E0281	250
8	E0336	100	30	E0369	160
9	E0160	160	31	E0500	200
10	E0392	100	32	E0499	160
11	E0469	2000	33	E0100	100
12	E0244	1250	34	E0079	200
13	E0245	200	35	E0054	100
14	E0088	200	36	E0214	160
15	E0033	250	37	E0319	100
16	E0116	100	38	E0406	200
17	E0349	250	39	E0425	200
18	E0400	160	40	E0231	400
19	E0439	630	41	E0354	100
20	E0032	250	42	E0131	250
21	E0387	160	43	E0483	200
22	E0235	630	44	E0233	400



Untuk pengisian data trafo dapat dilihat pada gambar 3.2 yang merupakan salah satu contoh dari pengisian data transformator penyulang Karangploso pada aplikasi *DigSILENT PowerFactory* yang merupakan transformator beban E0024 dengan kapasitas transformator sebesar 250 kVA.

2-Winding Transformer Type - Equipment Type Library\250 kVA.TypeTr2

The image shows a software configuration window for a transformer. The 'Basic Data' section is highlighted in blue. The 'Name' field contains '250 kVA'. The 'Technology' dropdown is set to 'Three Phase Transformer'. The 'Rated Power' is '0.25 MVA' and the 'Nominal Frequency' is '50 Hz'. Under 'Rated Voltage', 'HV-Side' is '20 kV' and 'LV-Side' is '0.4 kV'. The 'Positive Sequence Impedance' section shows 'Short-Circuit Voltage uk' as '3%' and 'Copper Losses' as '0 kW'. The 'Zero Sequence Impedance' section shows 'Short-Circuit Voltage uk0' as '3%' and 'SHC-Voltage (Re(uk0)) uk0r' as '0%'. The 'Vector Group' section shows 'HV-Side' as 'YN' and 'LV-Side' as 'YN'. There is an unchecked checkbox for 'Internal Delta Winding', a 'Phase Shift' of '0', and a 'Name' field containing 'YNyn0'.

**Gambar 3.2** Data Transformator

### 3.1.3 Data Saluran

Data saluran yang didapatkan merupakan data panjang saluran dan jenis saluran yang digunakan, jenis saluran yang digunakan pada penelitian ini disesuaikan dengan jenis saluran yang ada dalam sistem distribusi penyulang Karangploso. Data saluran berjumlah 90, bisa dilihat pada tabel 3.2, untuk data saluran yang lain berada pada lampiran.

**Tabel 3.2** Data Saluran

No	Kode Gardu		Line	Panjang (M)	Jenis Saluran	Diameter (mm)
	Dari	Ke				
1	GI	E0024	GI	654	A3C	3×150
2	E0024	E0140	Line	385	A3C	3×150
3	E0140	E0209	L1	1471	A3CS	3×150
4	E0209	E0242	2	149	A3C	3×150

Data saluran yang dimasukkan merupakan data dari jenis saluran yang digunakan, pada penelitian ini untuk jenis saluran pada *Single Line Diagram* aplikasi *DigSILENT PowerFactory* merupakan data yang didapatkan dari katalog yang sesuai dengan standar pada sistem distribusi berupa data resistansi, reaktansi dan nilai arus pada saluran, pada gambar 4.3 menunjukkan data yang ada pada saluran distribusi pada aplikasi *DigSILENT PowerFactory*.

Line - Grid\Line.ElmLine

Basic Data	
Load Flow	Name: Line
VDE/IEC Short-Circuit	Type: Equipment Type Library\ACCC
Complete Short-Circuit	Terminal i: Grid\Terminal\Cub_3 Terminal
ANSI Short-Circuit	Terminal j: Grid\Terminal(2)\Cub_2 Terminal(2)
IEC 61363	Zone: Terminal i
DC Short-Circuit	Area: Terminal i
RMS-Simulation	<input type="checkbox"/> Out of Service
EMT-Simulation	Number of parallel Lines: 1
Resulting Values	Rated Current (act.): 0.783 kA
Harmonics/Power Quality	Pos. Seq. Impedance, Z1: 0.1150727 Ohm
Optimal Power Flow	Pos. Seq. Impedance, Angle: 0.04715446 deg
Reliability	Pos. Seq. Resistance, R1: 0.1150726 Ohm
Generation Adequacy	Pos. Seq. Resistance, X1: 0.0000947 Ohm
Tie Open Point Opt.	Zero Seq. Resistance, R0: 0. Ohm
	Zero Seq. Reactance, X0: 0. Ohm
	Earth-Fault Current, Ice: 0. A
	Earth Factor, Magnitude: 0.3333333
	Earth Factor, Angle: 180. deg
	Parameters
	Thermal Rating: ...
	Length of Line: 0.385 km
	Derating Factor: 1.

**Gambar 3.3** Data Saluran

### 3.1.4 Data Beban

Data beban yang digunakan pada penelitian ini merupakan data setiap beban yang ada pada sistem distribusi penyulang Karangploso, data yang didapatkan merupakan data daya beban. Data beban berjumlah 90. Bisa dilihat pada tabel 3.3, untuk data beban yang lain berada pada lampiran.

**Tabel 3.3** Data Beban

<b>No</b>	<b>Kode Gardu</b>	<b>Busbar</b>	<b>Alamat</b>	<b>Beban (kVA)</b>
1	E0024	1	Raya Pendem	175,488
2	E0140	3	Raya Pendem	147,167
3	E0209	5	Perum Pesanggrahan Pratama	38,157
4	E0242	7	UD.Rimba Mandiri KarangPloso	5,761
5	E0270	9	Jl. PB Soedirman Karangploso	67,863
6	E0327	11	Rimba Mahoni Jl. PB Soedirman Karangploso	0,688
7	E0347	13	Kartika Beton Jl. PB Soedirman Karlos	12,442
8	E0336	15	PT.Cipta Kretek Nusantara Raya	0,707
9	E0160	17	H.Mahfudz Jl. Raya Karangploso	4,026
10	E0392	19	Raya Karangploso	40,392
11	E0245	22	PT. Arthawena Karangploso	89,761
12	E0244	24	PT. Arthawena Karangploso	651,523
13	E0469	26	-	16,592
14	E0088	28	Raya Kendal Sari Ngijo	122,874
15	E0033	30	Raya Ngijo	107,904
16	E0116	32	Global Agrotek DS, Ngepeh Ngijo	5,302

Data beban yang dimasukkan pada aplikasi *DigSILENT PowerFactory* merupakan data setiap beban yang digunakan pada penyulang Karangploso, pada gambar 4.5 menunjukkan pengisian data beban pada aplikasi *DigSILENT PowerFactory*.

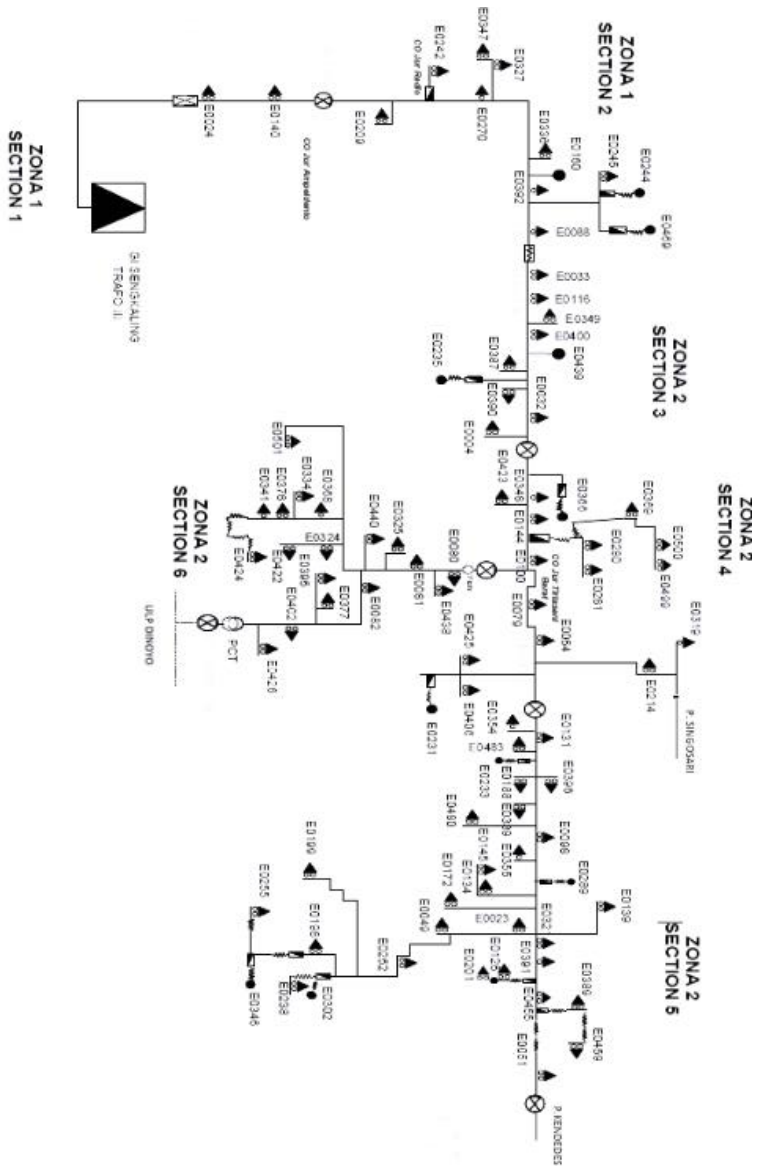
General Load - Grid\E0024.ElmLod

Basic Data	General	Advanced
<b>Load Flow</b>	Input Mode	S. cos(phi)
VDE/IEC Short-Circuit	Balanced/Unbalanced	Balanced
Complete Short-Circuit	Operating Point	Actual Values
ANSI Short-Circuit	Apparent Power	175.48 kVA 175.48 kVA
IEC 61363	Power Factor	0.8 ind. 0.8
DC Short-Circuit	Voltage	1. p.u.
RMS-Simulation	Scaling Factor	1. 1.
EMT-Simulation	<input checked="" type="checkbox"/> Adjusted by Load Scaling	Zone Scaling Factor: 1.

**Gambar 3.4** Data Beban

### 3.1.5 *Single Line Diagram* Penyulang Karangploso

Sistem kelistrikan yang digunakan untuk penelitian ini merupakan sistem kelistrikan sistem distribusi Singosari penyulang Karangploso 20 kV yang terdiri dari 1 Gardu Induk, serta terdiri dari 90 bus dan 90 saluran yang terhubung ke pusat-pusat beban dengan total kapasitas beban sebesar 5,667 MW.



Gambar 3.5 SLD Penyulang Karangploso

### 3.2 PLTS ITN Malang 0,5 MWp

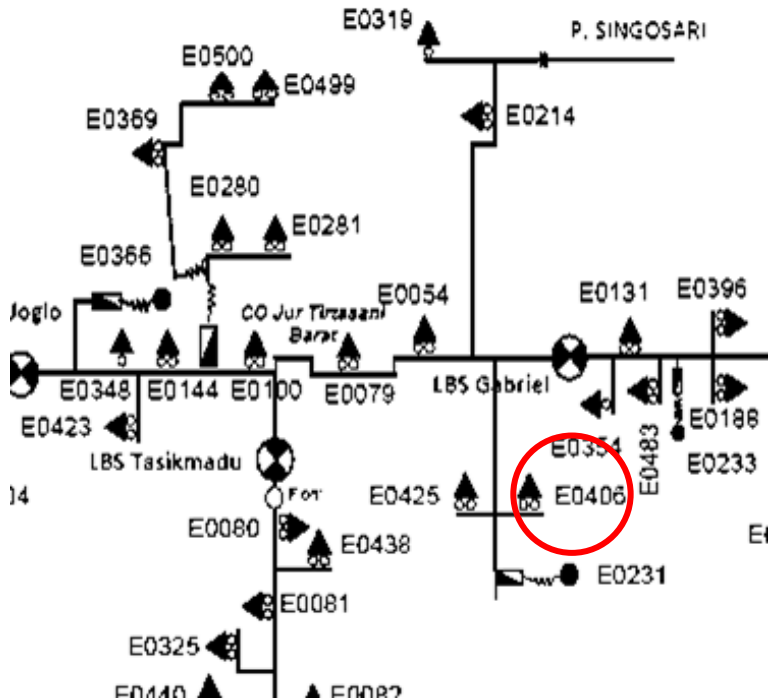
Pembangkit Listrik Tenaga Surya ITN Malang merupakan sistem pembangkit baru dengan kapasitas 0,5 MWp yang menggunakan tenaga surya sebagai penghasil energi listrik. PLTS ITN Malang berada di kampus II Institut Teknologi Nasional Malang yang terhubung dengan sistem distribusi Singosari penyulang Karangploso.



**Gambar 3.6** PLTS ITN Malang 0,5 MWp

Data yang didapatkan pada penelitian ini merupakan data iradiasi matahari selama satu bulan, data yang diambil merupakan data iradiasi pada bulan Oktober dengan waktu pengukuran 24 jam setiap lima menit. kode gardu trafo PT. PLN (persero) ULP Singosari yang terhubung dengan PLTS ITN Malang adalah E0406, bisa dilihat pada gambar 3.2.

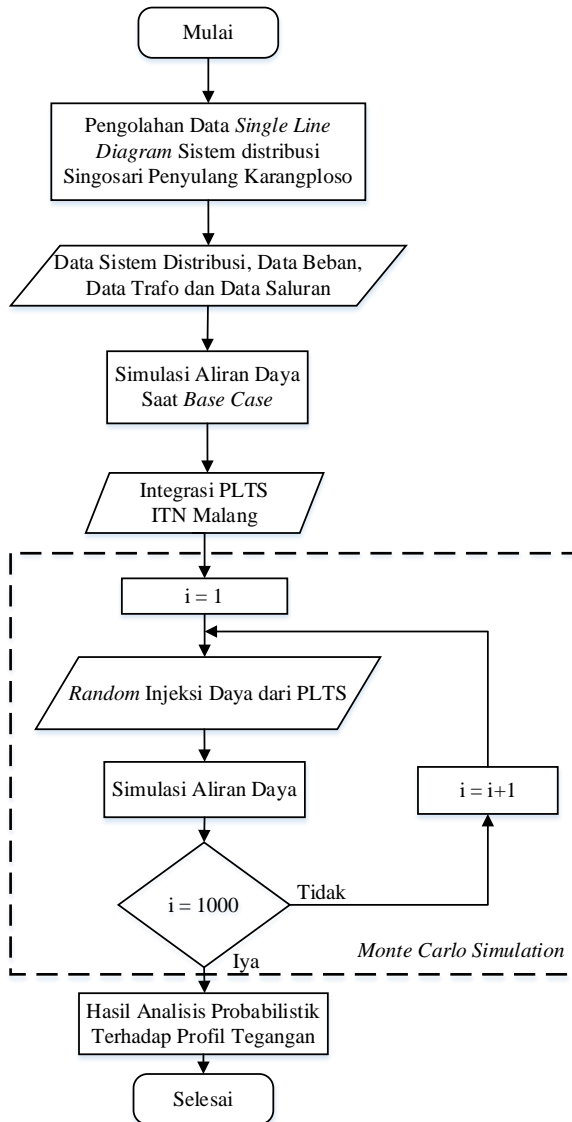
## ZONA 2 SECTION 4



Gambar 3.7 Trafo Yang Terhubung Dengan PLTS

### 3.3 Diagram Alir

Pada gambar 3.8 menjelaskan tentang alur simulasi analisis probabilistik aliran daya dengan menggunakan sistem integrasi distribusi Singosari penyulang Karangploso dengan PLTS 0,5 MWp ITN Malang.



**Gambar 3.8** Diagram Alir Simulasi Probabilistik Aliran Daya

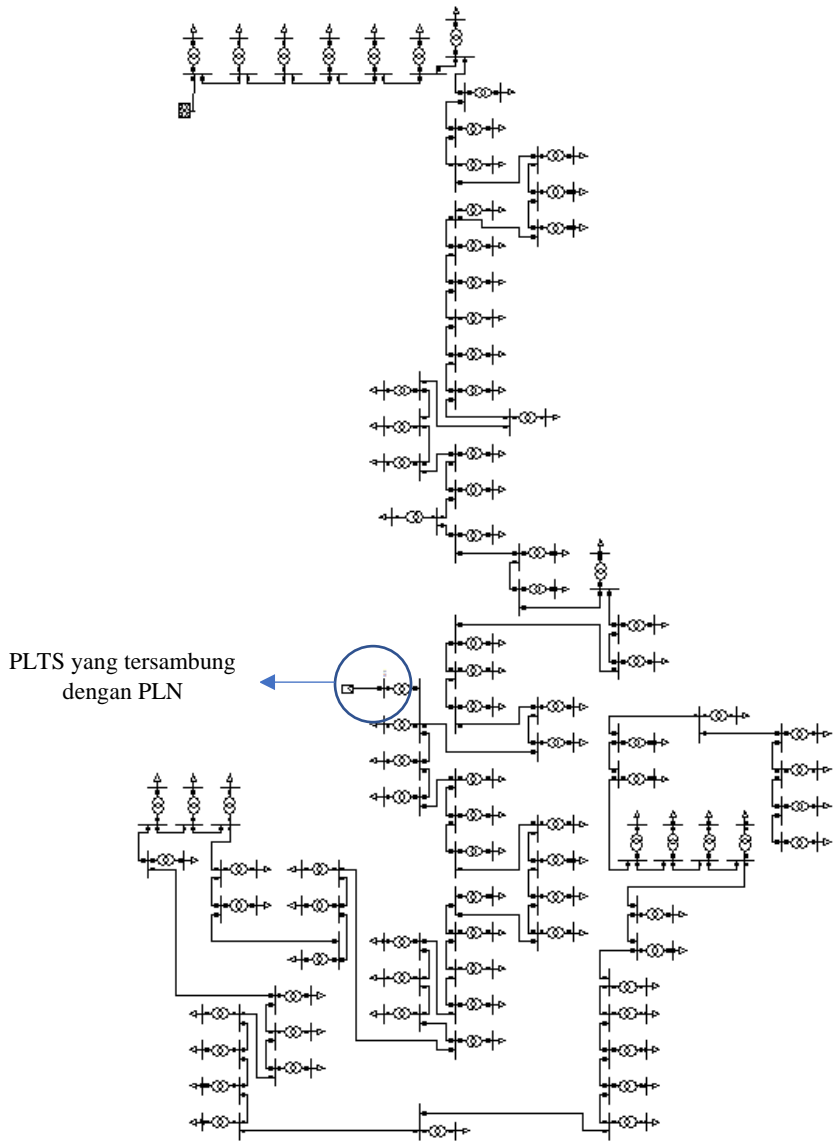


Algoritma dari diagram alir simulasi probabilistik aliran daya adalah sebagai berikut

1. Mulai
2. Memodelkan *Single Line Diagram* sistem distribusi Singosari penyulang Karangploso menggunakan aplikasi *DigSILENT Powerfactory*.
3. Memasukkan data sistem distribusi berupa data beban, data trafo dan data saluran sistem distribusi Singosari penyulang Karangploso.
4. Simulasi *load flow* saat *base case* sistem distribusi untuk menganalisis hasil profil tegangan pada sistem.
5. Mengintegrasikan sistem distribusi Singosari penyulang Karangploso dengan PLTS 0,5 MWp ITN Malang dan memasukkan data dari PLTS.
6. Melakukan *random* injeksi daya dari PLTS ke sistem distribusi Singosari penyulang Karangploso .
7. Simulasi *load flow* secara probabilistik dengan menggunakan simulasi *Monte Carlo* untuk mendapatkan hasil profil tegangan dari injeksi daya PLTS sebanyak 1000 sampel secara acak.
8. Jika data yang dihasilkan dari simulasi kurang dari 1000, maka akan ditambahkan data dan dilakukan simulasi *load flow* ulang secara probabilistik.
9. Jika data yang dihasilkan sudah sesuai, maka akan dilakukan analisis probabilistik pengaruh integrasi PLTS terhadap profil tegangan sistem distribusi Singosari penyulang Karangploso.
10. Selesai.

### **3.4 DigSILENT PowerFactory**

DigSILENT PowerFactory merupakan aplikasi yang digunakan untuk simulasi sistem tenaga, penelitian ini menggunakan aplikasi ini karena bisa digunakan untuk melakukan simulasi *Monte Carlo* yang sesuai dengan tujuan dari penelitian ini. Pada penelitian ini akan dilakukan pemodelan *Single Line Diagram* sistem distribusi Singosari penyulang Karangploso beserta seluruh data yang telah didapatkan.



**Gambar 3.9** SLD Pada *DigSILENT PowerFactory*

### 3.5 *Matrix Laboratory*

*Matrix Laboratory* (MATLAB) pada penelitian ini digunakan untuk melakukan simulasi *Gaussian Mixture Models* (GMM), *Probability Density Function* (PDF) dan *Cummulative Distribution Function* (CDF) menggunakan program pada aplikasi MATLAB yang nantinya akan ditampilkan dalam bentuk grafik dua dimensi dengan fungsi yang berbeda-beda. Untuk GMM sendiri nantinya digunakan untuk mengambil 1000 sampel data dari iradiasi PLTS ITN Malang yang sudah didapatkan, sedangkan untuk PDF dan CDF akan digunakan untuk melihat probabilitas dan kumulasi dari profil tegangan akibat injeksi daya acak dari PLTS.

**[Halaman Sengaja di Kosongkan]**

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

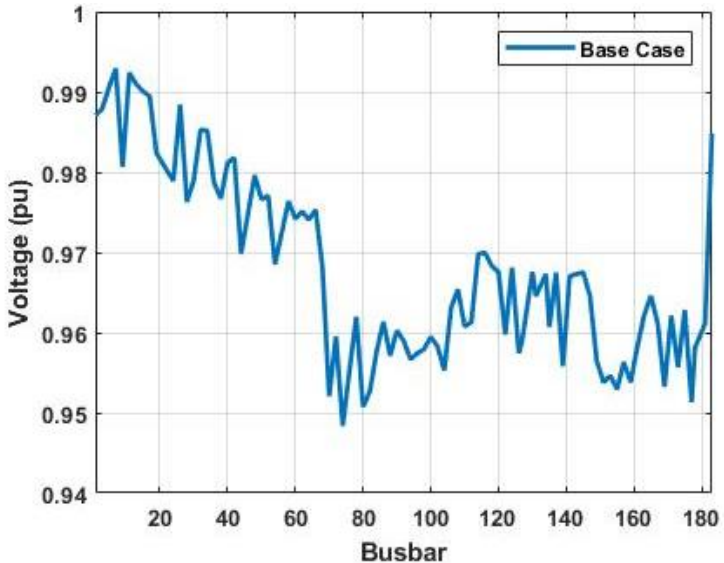
### 4.1 Analisis Aliran Daya Sistem Distribusi Singosari Penyulang Karangploso

Analisis aliran daya dilakukan untuk menganalisis kondisi profil tegangan sistem distribusi penyulang Karangploso pada saat *base case*. Sehingga, bisa diketahui kondisi sistem distribusi pada saat kondisi normal apakah profil tegangannya masih berada dalam standar atau tidak. Setelah dilakukan simulasi aliran daya, didapatkan hasil yang ditampilkan pada tabel 4.1. Data hasil profil tegangan saat *base case* berjumlah 90, untuk data yang lain berada pada lampiran.

**Tabel 4.1** Hasil Profil Tegangan Saat *Base Case*

No	Kode Gardu	Busbar	Tegangan (p.u)
1	E0024	1	0.9871
2	E0033	3	0.9879
3	E0423	5	0.9906
4	E0325	7	0.9929
5	E0341	9	0.9807
6	E0054	11	0.9924
7	E0339	13	0.991
8	E0049	15	0.9901
9	E0125	17	0.9895
10	E0140	19	0.9824
11	E0245	22	0.9803
12	E0244	24	0.9789
13	E0469	26	0.9884
14	E0088	28	0.9763
15	E0116	30	0.9789

Dari simulasi yang telah dilakukan, didapatkan data sesuai dengan tabel 4.1 Untuk lebih jelasnya lagi, bisa dilihat pada gambar 4.1.



**Gambar 4.1** Profil Tegangan Saat *Base Case*

Dari gambar 4.1 menunjukkan bahwa profil tegangan semua bus berada pada *range* standar yaitu ( $0.95 \leq n \leq 1.05 p.u.$ ). Tetapi, terdapat satu bus yang mengalami keadaan *undervoltage*, yaitu pada bus 74 dengan beban Desa Tasikmadu nilai profil tegangannya yaitu 0,9483 p.u, hal ini terjadi karena dari data yang didapatkan terjadi besarnya kapasitas beban (*overload*) pada beban Desa Tasikmadu, sehingga menyebabkan susut daya pada saluran dan menyebabkan nilai tegangan menjadi turun.

## 4.2 Analisis Aliran Daya Ketika Sistem Mendapat Injeksi Daya PLTS 0,5 MWp

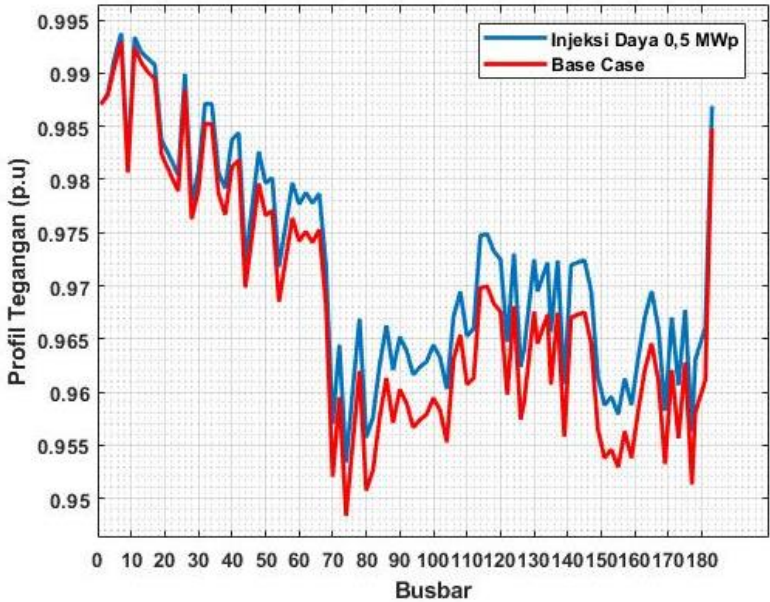
Analisis ini dilakukan untuk mengetahui kondisi sistem apabila mendapat injeksi daya sebesar 0,5 MWp, apakah profil tegangan dari sistem masih berada dalam standar atau tidak. Setelah dilakukan simulasi aliran daya dengan melakukan injeksi daya dari PLTS

sebesar 0,5 MWp didapatkan hasil pada tabel 4.2. Data hasil profil tegangan setelah mendapat injeksi daya 0,5 MWp berjumlah 90, untuk data yang lain berada pada lampiran.

**Tabel 4.2** Hasil Profil Tegangan Setelah Mendapat Injeksi Daya 0,5 MWp

<b>N o</b>	<b>Kode Gardu</b>	<b>Busbar</b>	<b>Tegangan Base Case (p.u)</b>	<b>Tegangan Setelah Injeksi Daya 0,5 MWp</b>
1	E0024	1	0,9871	0,9871
2	E0033	3	0,9879	0,9881
3	E0423	5	0,9906	0,9913
4	E0325	7	0,9929	0,9938
5	E0341	9	0,9807	0,9815
6	E0054	11	0,9924	0,9934
7	E0339	13	0,9910	0,9920
8	E0049	15	0,9901	0,9914
9	E0125	17	0,9895	0,9908
10	E0140	19	0,9824	0,9837
11	E0245	22	0,9803	0,9818
12	E0244	24	0,9789	0,9804
13	E0469	26	0,9884	0,9899
14	E0088	28	0,9763	0,9779
15	E0116	30	0,9789	0,9807
16	E0349	32	0,9853	0,9871
17	E0400	34	0,9852	0,9871
18	E0387	36	0,9787	0,9806
19	E0235	38	0,9767	0,9792
20	E0209	40	0,9812	0,9837
21	E0390	42	0,9818	0,9844
22	E0366	44	0,9698	0,9722

Dari simulasi yang telah dilakukan, didapatkan hasil sesuai dengan tabel 4.2 dan perbandingan profil tegangan sistem saat base case dan setelah mendapat injeksi daya dari PLTS sebesar 0,5 MWp dapat dilihat pada gambar 4.2.



**Gambar 4.2** Profil Tegangan Setelah Injeksi Daya 0,5 MWp

Gambar 4.2 menunjukkan bahwa profil tegangan pada semua bus meningkat dengan adanya injeksi daya dari PLTS sebesar 0,5 MWp. Salah satunya pada bus 74 yang mengalami keadaan *undervoltage* dengan nilai 0,9483 p.u mengalami peningkatan menjadi 0,9534 p.u, meskipun semua bus mengalami peningkatan profil tegangan, tidak ada bus yang mengalami keadaan *overvoltage* dan profil tegangan pada semua bus masih berada dalam *range* standar yang ditentukan yaitu ( $0.95 \leq n \leq 1.05$  p.u).

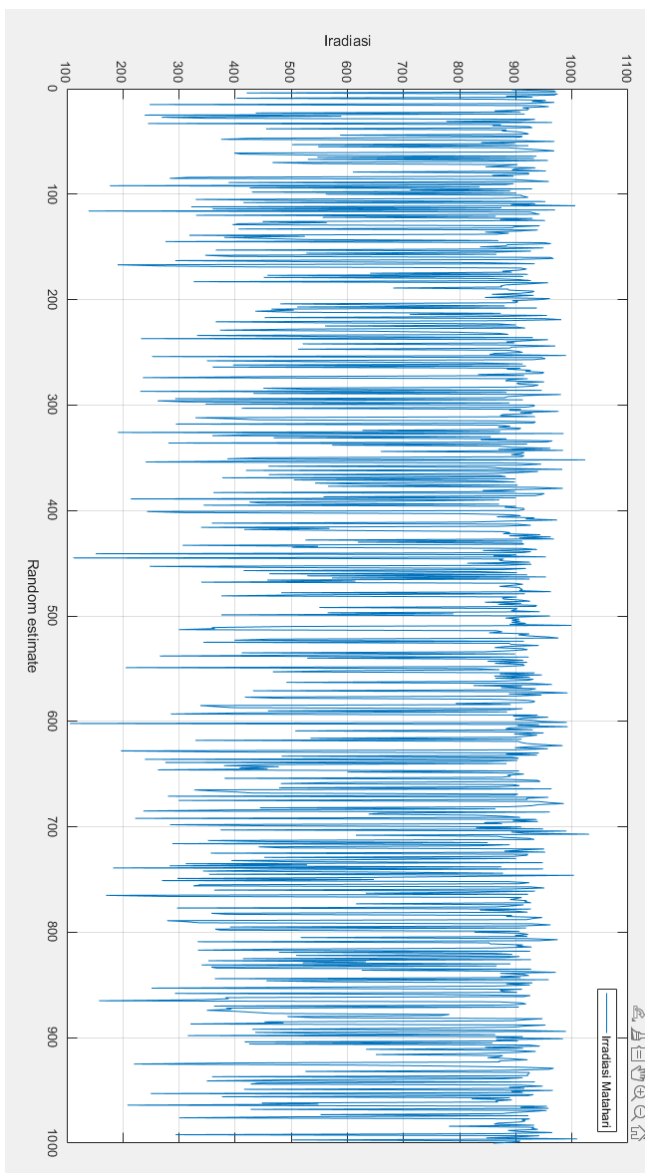


### **4.3 Data Sistem PLTS ITN Malang**

Data sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang didapatkan merupakan data kapasitas PLTS dan data iradiasi dalam satu bulan dengan pengambilan data iradiasi yaitu setiap 5 menit dalam 24 jam. Data iradiasi akan digunakan untuk analisis probabilistik integrasi PLTS dengan sistem distribusi Singosari penyulang Karangploso.

#### **4.3.1 Pengambilan Sampel Menggunakan GMM**

Data iradiasi yang didapatkan totalnya adalah 8929, untuk penelitian ini sampel yang digunakan adalah sebanyak 1000 data yang akan diambil secara acak menggunakan *Gaussian Mixture Model*, 1000 data yang diambil merupakan probabilitas dari data iradiasi yang didapatkan menggunakan program pada aplikasi MATLAB. Pada gambar 4.3 menunjukkan hasil pengambilan 1000 sampel data yang akan digunakan untuk analisis probabilistik integrasi PLTS ITN Malang dengan sistem distribusi Singosari penyulang Karangploso.



**Gambar 4.3** *Gaussian Mixture Models* iradiasi matahari

### 4.3.2 Mengubah Nilai Irradiasi Menjadi Daya

Dari 1000 data yang sudah diambil secara acak menggunakan GMM, data iradiasi akan diubah nilainya menjadi daya dengan menggunakan persamaan berikut

$$P_{PV}(G_t) = \left\{ \begin{array}{l} P_{sn} \frac{(G_t)^2}{G_{std} R_c} \\ P_{sn} \frac{(G_t)}{G_{std}} \end{array} \right\}$$

Dimana

$P_{sn}$  = Rata-rata *output* daya PV

$G_t$  = Meramalkan radiasi

$G_{std}$  = Radiasi matahari yang ditetapkan dengan nilai 1000  $W/m^2$

$R_c$  = Titik radiasi yang ditetapkan dengan nilai 150  $W/m^2$

Untuk rata-rata ouput daya PV adalah 500 kW dan untuk  $G_t$  merupakan nilai iradiasi matahari. Dari data yang didapatkan dilakukan perhitungan untuk mengubah nilai iradiasi menjadi daya seperti berikut ini

1. Nilai iradiasi dibawah 150  $W/m^2$

Untuk perhitungan iradiasi dibawah 150  $W/m^2$  diambil satu contoh dengan nilai iradiasi sebesar 138,464  $W/m^2$

$$\begin{aligned} P_{PV}(G_t) &= P_{sn} \frac{(G_t)^2}{G_{std} R_c} \\ &= 500 \frac{(138,464)^2}{1000 \times 150} \\ &= 500 \frac{19.172,28}{150.000} \\ &= 500 \times 0,1278 \end{aligned}$$

$$P_{PV}(G_t) = 63,9 \text{ kW}$$

$$P_{PV}(G_t) = 0,06 \text{ MW}$$

2. Nilai iradiasi diantara 150 sampai dengan 1000  $W/m^2$   
 Untuk perhitungan iradiasi diantara 150 sampai dengan 1000  $W/m^2$  diambil satu contoh dengan nilai iradiasi sebesar 613,909  $W/m^2$

$$\begin{aligned}
 P_{PV}(G_t) &= P_{sn} \frac{G_t}{G_{std}} \\
 &= 500 \frac{613,909}{1000} \\
 &= 500 \times 0,614
 \end{aligned}$$

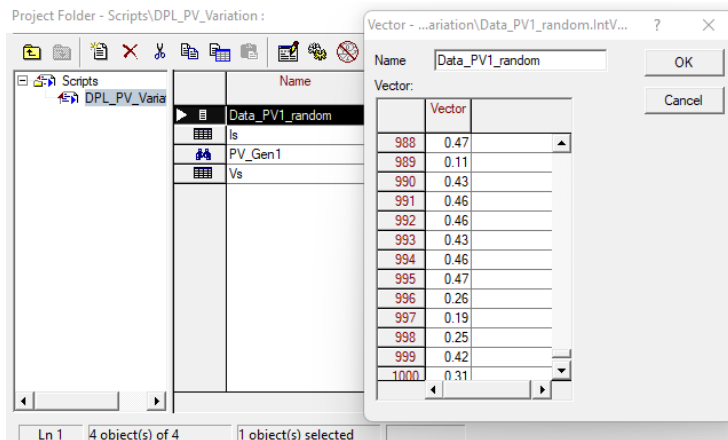
$$P_{PV}(G_t) = 306,95 \text{ kW}$$

$$P_{PV}(G_t) = 0,30 \text{ MW}$$

3. Untuk nilai iradiasi diatas 1000  $W/m^2$  keluaran daya dari PLTS dianggap konstan 0,5 MWp karena kapasitas maksimal PLTS untuk menghasilkan daya adalah sebesar 0,5 MWp

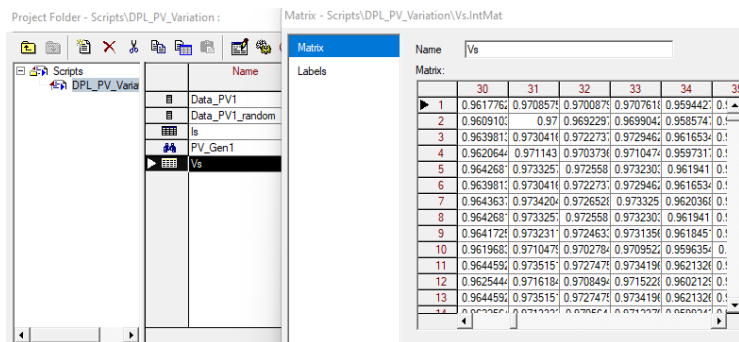
#### 4.3.3 Pengisian Data PLTS Menggunakan Aplikasi *DigSILENT PowerFactory*

Setelah mendapatkan nilai keluaran dari PLTS dalam bentuk daya, maka nilai daya dari PLTS akan dimasukkan ke *Single Line Diagram* sistem distribusi Singosari penyulang Karangploso secara acak menggunakan *Monte Carlo Simulation* pada aplikasi *DigSILENT PowerFactory*. Hasil keluaran yang didapatkan berupa nilai profil tegangan setiap bus secara acak.



**Gambar 4.4** Input Data PLTS Secara Acak

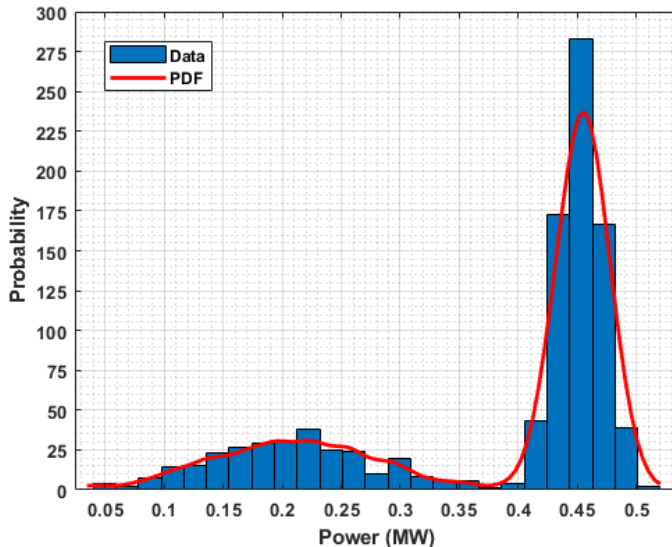
Setelah menginjeksi daya acak ke sistem distribusi Singosari penyulang Karangploso, maka akan didapatkan hasil profil tegangan acak setelah dilakukan simulasi *Monte Carlo* pada aplikasi *DigSILENT PowerFactory*.



**Gambar 4.5** Profil Tegangan Acak Menggunakan MCS

#### 4.4 Analisis Probabilistik Integrasi PLTS dengan Sistem Distribusi

Untuk analisis probabilistik, analisis yang dilakukan adalah analisis probabilistik injeksi daya secara acak dengan menggunakan fungsi *Probability Density Function* (PDF). Setelah itu menganalisis pengaruh dari injeksi daya acak dari PLTS ITN Malang terhadap profil tegangan terhadap profil tegangan sistem distribusi Singosari penyulang Karangploso.



**Gambar 4.6** Injeksi Daya Acak Menggunakan PDF

Dari gambar 4.6 menunjukkan bahwa setelah melakukan fungsi kepadatan probabilitas menggunakan program pada aplikasi MATLAB pada daya yang dihasilkan oleh PLTS, didapatkan bahwa injeksi daya PLTS pada bulan Oktober dengan nilai rata-rata 0.0381 dan standar deviasi 0.01911 diperoleh probabilitas terbesar berada pada kisaran 0.4 sampai 0.5 MWp dengan persentase probabilitasnya sebesar 70.7 persen. Untuk lebih detail hasil persentase probabilitas daya PLTS dapat dilihat pada tabel 4.3.

**Tabel 4.3** Persentase Probabilitas Daya PLTS

No	Daya (MWp)	Probabilitas	Persentase
1	0.05 - 0.09	13	1.3%
2	0.1 - 0.19	108	10.8%
3	0.2 - 0.29	127	12.7%
4	0.3 - 0.39	45	4.5%
5	0.4 - 0.5	707	70.7%

Dari tabel 4.3 diketahui bahwa dengan injeksi daya terkecil, yaitu sebesar 0.05 – 0.09 MWp didapatkan probabilitas injeksi daya sebesar 13 dengan persentase sebesar 1.3% dari total 1000 data yang diambil. Sedangkan dengan injeksi daya terbesar, yaitu sebesar 0.4 – 0.5 MWp didapatkan probabilitas injeksi daya sebesar 707 dengan persentase sebesar 70.7% dari total 1000 data yang diambil.

Untuk perhitungan probabilitasnya, karena sampel yang diambil berjumlah 1000 dan jumlah munculnya probabilitas daya dari 0.05-0.09 MWp adalah 13, maka perhitungannya adalah sebagai berikut

$$P = \frac{13}{1000} \times 100$$

$$P = 1.3\%$$

Dimana, P adalah peluang, jumlah munculnya peluang untuk daya 0.05-0.09 MWp adalah 13, dan 1000 adalah jumlah sampel. Sehingga, didapatkan nilai probabilitas sebesar 1.3%

Lalu, untuk probabilitas dari 0.1-0.19 MWp berjumlah 108, sehingga perhitungannya adalah sebagai berikut

$$P = \frac{108}{1000} \times 100$$

$$P = 10.8\%$$

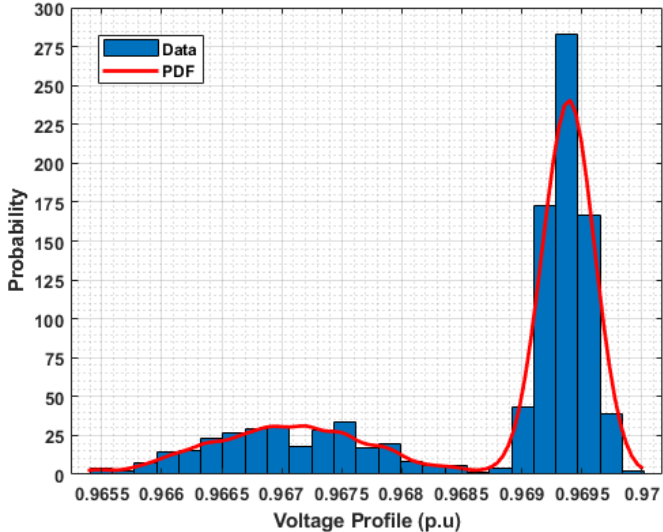
Sehingga didapatkan persentase probabilitas sebesar 10.8% dari probabilitas daya 0.1-0.19 MWp. Untuk data yang lain pada tabel 4.3 perhitungannya sama dengan dua contoh yang ada, sehingga didapatkan persentase probabilitas sesuai dengan tabel 4.3

Setelah probabilitas injeksi daya sudah diketahui. Setelah itu, analisis yang dilakukan adalah analisis terhadap profil tegangan pada bus yang mengalami kondisi kritis baik berupa bus yang tidak berada dalam standar ( $0.95 \leq n \leq 1.05 \text{ p.u}$ ) ataupun bus yang nilainya 0.95 p.u. Analisis yang dilakukan merupakan analisis *Probability Density Function* (PDF) dan analisis *Cummulative Distribution Function* (CDF) menggunakan program pada aplikasi MATLAB. Berikut ini merupakan hasil analisis yang dilakukan pada penelitian ini.

#### 4.4.1 Analisis Probabilistik Bus 74

Untuk analisis pertama adalah analisis pada bus 74 dengan nilai profil tegangan pada saat *base case* adalah 0.9483 p.u.

##### 1. Analisis PDF Bus 74

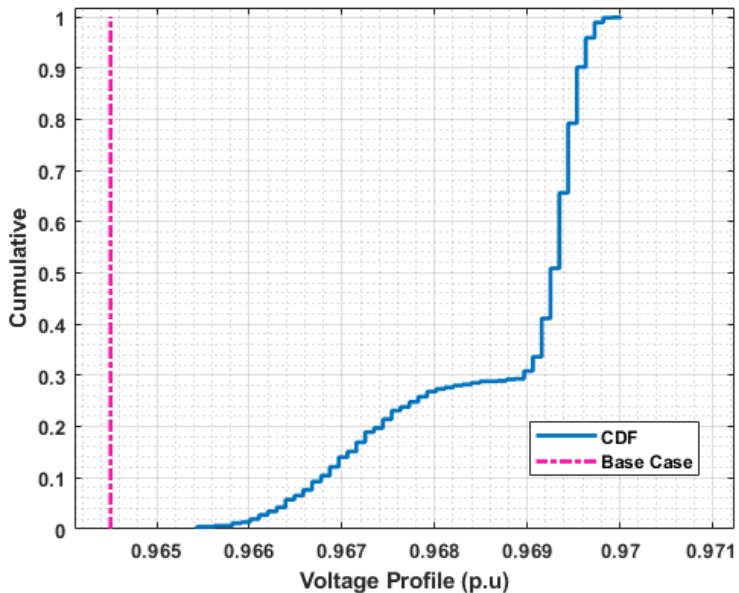


**Gambar 4.7** PDF Bus 74



Gambar 4.7 menunjukkan hasil profil tegangan setelah terintegrasi dengan PLTS bahwa dengan probabilitas injeksi daya sebesar 0.4 – 0.5 MWp per bulan dengan persentase 70.7%, profil tegangan yang didapatkan pada bus 74 adalah 0.969 – 0.97 p.u, dengan nilai rata-rata 0.9687 dan nilai standar deviasi pada bus 74 adalah 0.000001898.

## 2. Analisis CDF Bus 74



**Gambar 4.8** CDF Bus 74

Gambar 4.8 menunjukkan nilai profil tegangan dari *base case* adalah 0.9483 p.u, setelah dilakukan integrasi PLTS terjadi peningkatan profil tegangan, CDF profil tegangan pada bus 74 adalah 70.7% berada di sekitar 0.969 – 0.97 p.u.

Hasil dari analisis probabilistik pada bus 74 dapat dilihat pada tabel 4.4

**Tabel 4.4** Hasil Probabilistik Bus 74

No	Profil Tegangan (p.u) <i>Base Case</i>	Injeksi Daya (MWp)	Profil Tegangan (p.u)
1	0.9483	0.05 - 0.09	0.9655 - 0.9659
2		0.1 - 0.19	0.966 - 0.9668
3		0.2 - 0.29	0.9669 - 0.9679
4		0.3 - 0.39	0.968 - 0.9689
5		0.4 - 0.5	0.969 - 0.97

Dari tabel 4.4 diketahui bahwa profil tegangan saat *base case* adalah sebesar 0.9483 p.u, dengan probabilitas injeksi daya sebesar 0.05 – 0.09 MWp, maka profil tegangan yang didapatkan adalah sebesar 0.9655 – 0.9659 p.u, atau jika dalam bentuk aktualnya, maka

$$\begin{aligned} V_{actual} &= V_{pu} \times V_{base} \\ &= 0.9655 \times 400 \\ &= 386.2 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{actual} &= V_{pu} \times V_{base} \\ &= 0.9659 \times 400 \\ &= 386.36 \text{ V} \end{aligned}$$

Jadi, tegangan aktual yang didapatkan dengan injeksi daya acak sebesar 0.05 – 0.09 MWp adalah 386.2 – 386.36 V. Sedangkan, dengan probabilitas sebesar 0.4 – 0.5 MWp, profil tegangan yang didapatkan sebesar 0.969 – 0.9689 p.u, atau jika dalam bentuk aktualnya, maka

$$\begin{aligned} V_{actual} &= V_{pu} \times V_{base} \\ &= 0.969 \times 400 \\ &= 387.6 \text{ V} \end{aligned}$$

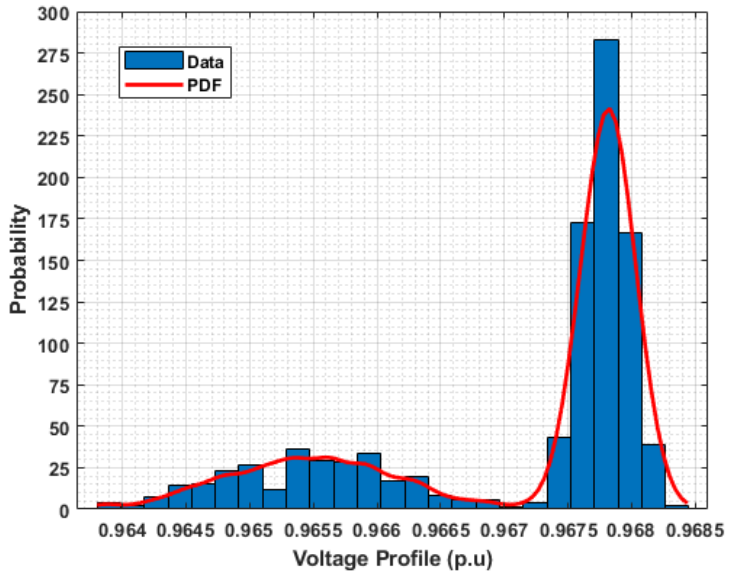
$$\begin{aligned} V_{actual} &= V_{pu} \times V_{base} \\ &= 0.9689 \times 400 \\ &= 388 \text{ V} \end{aligned}$$

Jadi, tegangan aktual yang didapatkan dengan injeksi daya acak sebesar 0.4 – 0.5 MWp adalah 387.6 – 388 V.

#### 4.4.2 Analisis Probabilistik Bus 80

Analisis pada bus 80 dengan nilai profil tegangan pada saat *base case* adalah 0.95 p.u.

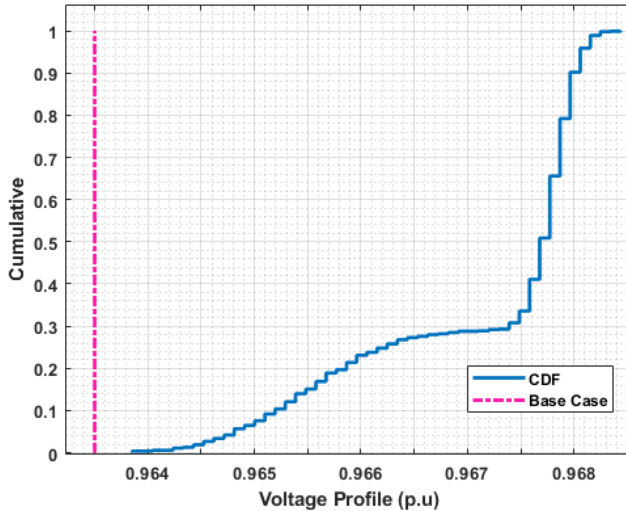
##### 1. Analisis PDF Bus 80



**Gambar 4.9** PDF Bus 80

Gambar 4.9 menunjukkan hasil profil tegangan setelah terintegrasi dengan PLTS bahwa dengan probabilitas injeksi daya sebesar 0.4 – 0.5 MWp dengan persentase 70.7% profil tegangan yang didapatkan pada bus 80 adalah 0.9674 – 0.9684 p.u, dengan nilai rata-rata 0,9671 dan nilai standar deviasi pada bus 80 adalah 0.000001746.

## 2. Analisis CDF Bus 80



**Gambar 4.10** CDF Bus 80

Gambar 4.10 menunjukkan nilai profil tegangan dari *base case* adalah 0.95 p.u, setelah dilakukan integrasi PLTS terjadi peningkatan profil tegangan, CDF profil tegangan pada bus 80 adalah 70.7% berada di sekitar 0.9674 – 0.9684 p.u.

Hasil dari analisis probabilistik pada bus 80 dapat dilihat pada tabel 4.5

**Tabel 4.5** Hasil Probabilistik Bus 80

No	Profil Tegangan (p.u) <i>Base Case</i>	Injeksi Daya (MWp)	Profil Tegangan (p.u)
1	0.95	0.05 - 0.09	0.9639 - 0.9643
2		0.1 - 0.19	0.9644 - 0.9652
3		0.2 - 0.29	0.9653 - 0.9662
4		0.3 - 0.39	0.9663 - 0.9673
5		0.4 - 0.5	0.9674 - 0.9684

Dari tabel 4.5 diketahui bahwa profil tegangan saat *base case* adalah sebesar 0.95 p.u, dengan probabilitas injeksi daya sebesar 0.05 – 0.09 MWp, maka profil tegangan yang didapatkan adalah sebesar 0.9639 – 0.9643 p.u, atau jika dalam bentuk aktualnya, maka

$$\begin{aligned} V_{actual} &= V_{pu} \times V_{base} \\ &= 0.9639 \times 400 \\ &= 385.56 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{actual} &= V_{pu} \times V_{base} \\ &= 0.9643 \times 400 \\ &= 385.72 \text{ V} \end{aligned}$$

Jadi, tegangan aktual yang didapatkan dengan injeksi daya acak sebesar 0.05 – 0.09 MWp adalah 385.56 – 385.72 V. Sedangkan, dengan probabilitas sebesar 0.4 – 0.5 MWp, profil tegangan yang didapatkan sebesar 0.9674 – 0.9684 p.u, atau jika dalam bentuk aktualnya, maka

$$\begin{aligned} V_{actual} &= V_{pu} \times V_{base} \\ &= 0.9674 \times 400 \\ &= 386.96 \text{ V} \end{aligned}$$

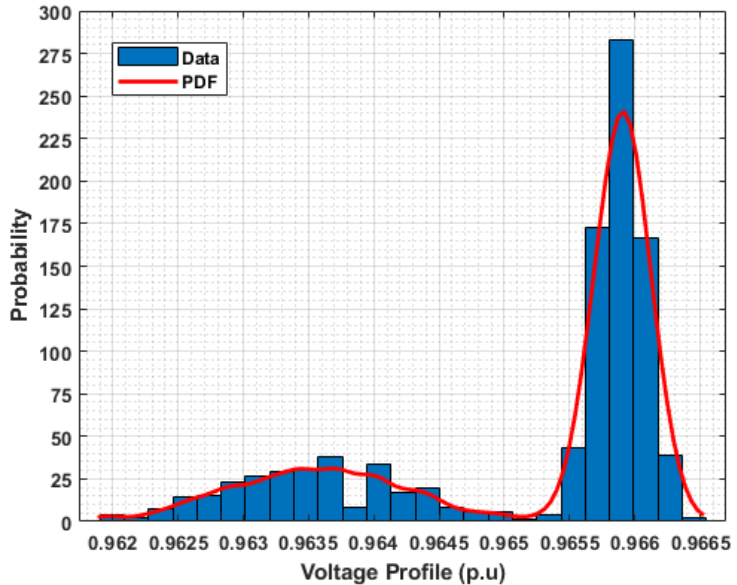
$$\begin{aligned} V_{actual} &= V_{pu} \times V_{base} \\ &= 0.9684 \times 400 \\ &= 387.36 \text{ V} \end{aligned}$$

Jadi, tegangan aktual yang didapatkan dengan injeksi daya acak sebesar 0.4 – 0.5 MWp adalah 386.96 – 387.36 V.

#### 4.4.3 Analisis Probabilistik Bus 177

Analisis pada bus 177 dengan nilai profil tegangan pada saat *base case* adalah 0.9513 p.u.

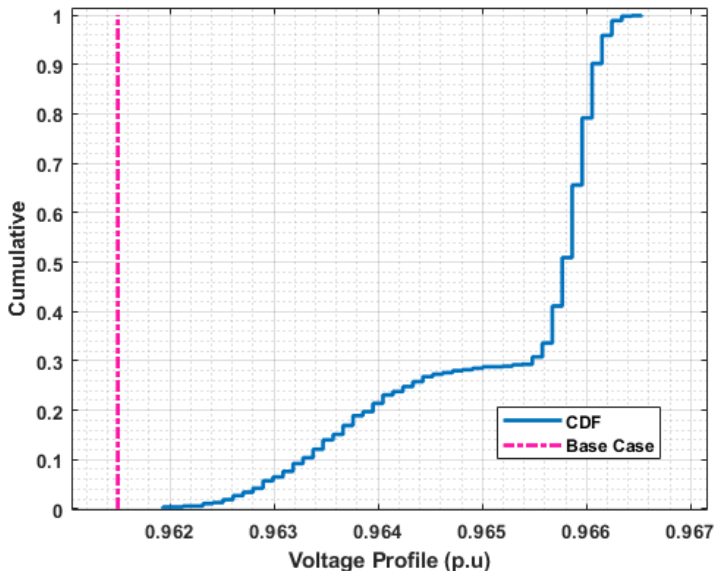
## 1. Analisis PDF Bus 177



**Gambar 4.11** PDF Bus 177

Gambar 4.11 menunjukkan hasil profil tegangan setelah terintegrasi dengan PLTS bahwa dengan probabilitas injeksi daya sebesar 0.4 – 0.5 MWp dengan persentase 70.7%, profil tegangan yang didapatkan pada bus 177 adalah 0.9655 – 0.9665 p.u, dengan nilai rata-rata 0.9652 dan nilai standar deviasi pada bus 177 adalah 0.000001752.

## 2. Analisis CDF Bus 177



**Gambar 4.12** CDF Bus 177

Gambar 4.12 menunjukkan nilai profil tegangan dari *base case* adalah 0.9513 p.u, setelah dilakukan integrasi PLTS terjadi peningkatan profil tegangan, CDF profil tegangan pada bus 177 adalah 70.7% berada di sekitar 0.9655 – 0.9665 p.u.

Hasil dari analisis probabilistik pada bus 177 dapat dilihat pada tabel 4.6

**Tabel 4.6** Hasil Probabilistik Bus 177

No	Profil Tegangan (p.u) <i>Base Case</i>	Injeksi Daya (MWp)	Profil Tegangan (p.u)
1	0.9513	0.05 - 0.09	0.962 - 0.9624
2		0.1 - 0.19	0.9625 - 0.9633
3		0.2 - 0.29	0.9634 - 0.9643
4		0.3 - 0.39	0.9644 - 0.9652
5		0.4 - 0.5	0.9655 - 0.9665

Dari tabel 4.6 diketahui bahwa profil tegangan saat *base case* adalah sebesar 0.9513 p.u, dengan probabilitas injeksi daya sebesar 0.05 – 0.09 MWp, maka profil tegangan yang didapatkan adalah sebesar 0.962 – 0.9624 p.u, atau jika dalam bentuk aktualnya, maka

$$\begin{aligned} V_{actual} &= V_{pu} \times V_{base} \\ &= 0.962 \times 400 \\ &= 384.8 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{actual} &= V_{pu} \times V_{base} \\ &= 0.9624 \times 400 \\ &= 384.96 \text{ V} \end{aligned}$$

Jadi, tegangan aktual yang didapatkan dengan injeksi daya acak sebesar 0.05 – 0.09 MWp adalah 384.8 – 384.96 V. Sedangkan, dengan probabilitas sebesar 0.4 – 0.5 MWp, profil tegangan yang didapatkan sebesar 0.9655 – 0.9665 p.u, atau jika dalam bentuk aktualnya, maka

$$\begin{aligned} V_{actual} &= V_{pu} \times V_{base} \\ &= 0.9655 \times 400 \\ &= 386.2 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{actual} &= V_{pu} \times V_{base} \\ &= 0.9665 \times 400 \\ &= 386.2 \text{ V} \end{aligned}$$

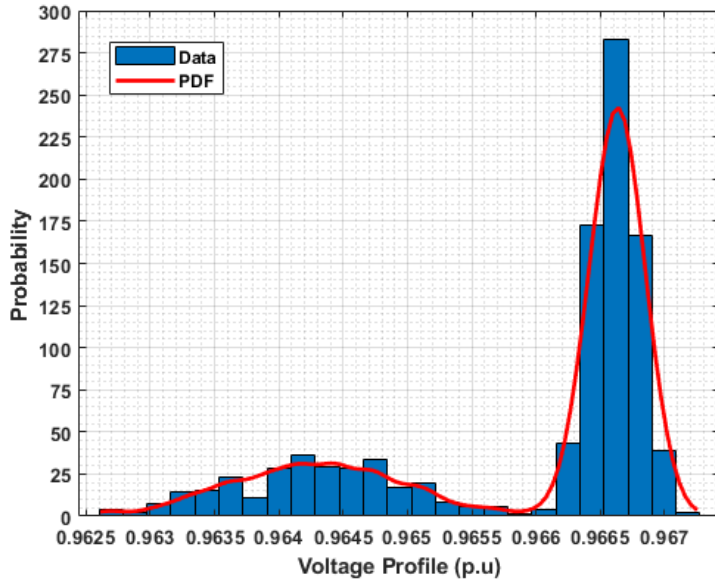
Jadi, tegangan aktual yang didapatkan dengan injeksi daya acak sebesar 0.4 – 0.5 MWp adalah 385.32 – 386.2 V.

#### 4.4.4 Analisis Probabilistik Bus 155

Analisis pada bus 155 dengan nilai profil tegangan pada saat *base case* adalah 0.9529 p.u.

##### 1. Analisis PDF Bus 155

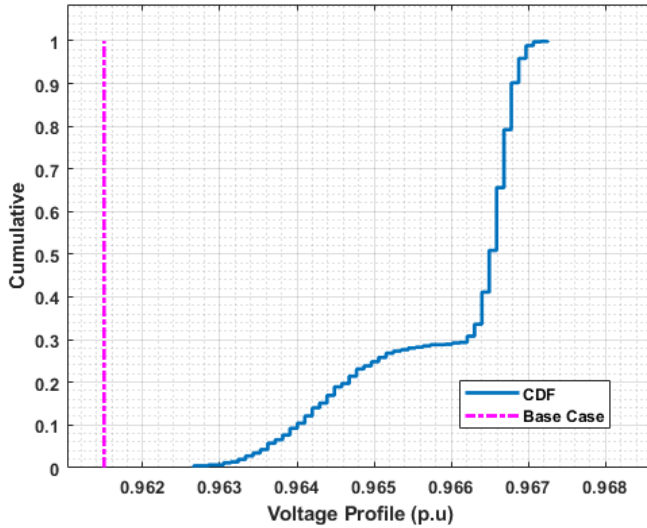




**Gambar 4.13** PDF Bus 155

Gambar 4.13 menunjukkan hasil profil tegangan setelah terintegrasi dengan PLTS bahwa dengan probabilitas injeksi daya sebesar 0.4 – 0.5 MWp dengan persentase 70.7% profil tegangan yang didapatkan pada bus 155 adalah 0.9662 – 0.9672 p.u, dengan nilai rata-rata 0.9659 dan nilai standar deviasi pada bus 155 adalah 0.000001658.

## 2. Analisis CDF Bus 155



**Gambar 4.14** CDF Bus 155

Gambar 4.14 menunjukkan nilai profil tegangan dari *base case* adalah 0.9529 p.u, setelah dilakukan integrasi PLTS terjadi peningkatan profil tegangan, CDF profil tegangan pada bus 169 adalah 70.7% berada di sekitar 0.9662 – 0.9672 p.u.

Hasil dari analisis probabilistik pada bus 155 dapat dilihat pada tabel 4.7

**Tabel 4.7** Hasil Probabilistik Bus 155

No	Profil Tegangan (p.u) <i>Base Case</i>	Injeksi Daya (MWp)	Profil Tegangan (p.u)
1	0.9529	0.05 - 0.09	0.9627 – 0.9631
2		0.1 - 0.19	0.9632 – 0.9640
3		0.2 - 0.29	0.9641 – 0.965
4		0.3 - 0.39	0.9651 – 0.9661
5		0.4 - 0.5	0.9662 – 0.9672

Dari tabel 4.7 diketahui bahwa profil tegangan bus 155 saat *base case* adalah sebesar 0.9529 p.u, dengan probabilitas injeksi daya sebesar 0.05 – 0.09 MWp, maka profil tegangan yang didapatkan adalah sebesar 0.9627 – 0.9631 p.u, atau jika dalam bentuk aktualnya, maka

$$\begin{aligned} V_{actual} &= V_{pu} \times V_{base} \\ &= 0.9627 \times 400 \\ &= 385.08 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{actual} &= V_{pu} \times V_{base} \\ &= 0.9631 \times 400 \\ &= 385.24 \text{ V} \end{aligned}$$

Jadi, tegangan aktual yang didapatkan dengan injeksi daya acak sebesar 0.05 – 0.09 MWp adalah 385.08 – 385.24 V. Sedangkan, dengan probabilitas sebesar 0.4 – 0.5 MWp, profil tegangan yang didapatkan sebesar 0.9662 – 0.9672 p.u, atau jika dalam bentuk aktualnya, maka

$$\begin{aligned} V_{actual} &= V_{pu} \times V_{base} \\ &= 0.9662 \times 400 \\ &= 386.48 \text{ V} \end{aligned}$$

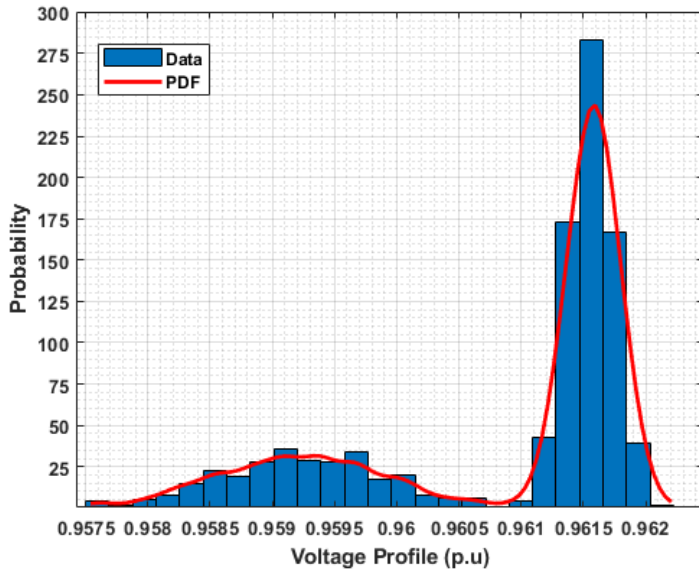
$$\begin{aligned} V_{actual} &= V_{pu} \times V_{base} \\ &= 0.9672 \times 400 \\ &= 386.88 \text{ V} \end{aligned}$$

Jadi, tegangan aktual yang didapatkan dengan injeksi daya acak sebesar 0.4 – 0.5 MWp adalah 386.48 – 386.88 V.

#### 4.4.5 Analisis Probabilistik Bus 169

Analisis pada bus 169 dengan nilai profil tegangan pada saat *base case* adalah 0.9532 p.u.

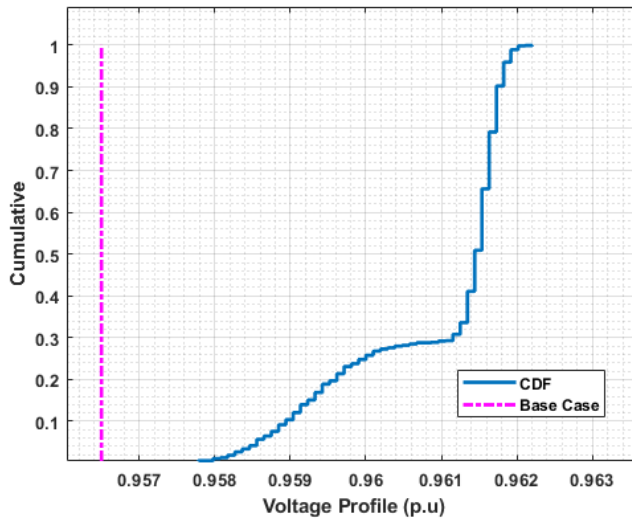
## 1. Analisis PDF Bus 169



**Gambar 4.15** PDF Bus 169

Gambar 4.15 menunjukkan hasil profil tegangan setelah terintegrasi dengan PLTS bahwa dengan probabilitas injeksi daya sebesar 0.4 – 0.5 MWp dengan persentase 70.7% profil tegangan yang didapatkan pada bus 169 adalah 0.9611 – 0.9622 p.u, dengan nilai rata-rata 0.9609 dan nilai standar deviasi pada bus 169 adalah 0.00000178.

## 2. Analisis CDF Bus 169



**Gambar 4.16** CDF Bus 169

Gambar 4.16 menunjukkan nilai profil tegangan dari *base case* adalah 0.9532 p.u, setelah dilakukan integrasi PLTS terjadi peningkatan profil tegangan, CDF profil tegangan pada bus 169 adalah 70.7% berada di sekitar 0.9611 – 0.9622 p.u.

Hasil dari analisis probabilistik pada bus 169 dapat dilihat pada tabel 4.8

**Tabel 4.8** Hasil Probabilistik Bus 169

No	Profil Tegangan (p.u) <i>Base Case</i>	Injeksi Daya (MWp)	Profil Tegangan (p.u)
1	0.9532	0.05 - 0.09	0.9576 – 0.958
2		0.1 - 0.19	0.9581 – 0.959
3		0.2 - 0.29	0.9591 – 0.9599
4		0.3 - 0.39	0.96 – 0.961
5		0.4 - 0.5	0.9611 – 0.9622

Dari tabel 4.8 diketahui bahwa profil tegangan bus 169 saat *base case* adalah sebesar 0.9532 p.u, dengan probabilitas injeksi daya sebesar 0.05 – 0.09 MWp, maka profil tegangan yang didapatkan adalah sebesar 0.9576 – 0.958 p.u, atau jika dalam bentuk aktualnya, maka

$$\begin{aligned} V_{actual} &= V_{pu} \times V_{base} \\ &= 0.9576 \times 400 \\ &= 383.04 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{actual} &= V_{pu} \times V_{base} \\ &= 0.958 \times 400 \\ &= 383.2 \text{ V} \end{aligned}$$

Jadi, tegangan aktual yang didapatkan dengan injeksi daya acak sebesar 0.05 – 0.09 MWp adalah 383.04 – 383.2 V. Sedangkan, dengan probabilitas sebesar 0.4 – 0.5 MWp, profil tegangan yang didapatkan sebesar 0.9611 – 0.9622 p.u, atau jika dalam bentuk aktualnya, maka

$$\begin{aligned} V_{actual} &= V_{pu} \times V_{base} \\ &= 0.9611 \times 400 \\ &= 384.44 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{actual} &= V_{pu} \times V_{base} \\ &= 0.9622 \times 400 \\ &= 384.88 \text{ V} \end{aligned}$$

Jadi, tegangan aktual yang didapatkan dengan injeksi daya acak sebesar 0.4 – 0.5 MWp adalah 384.44 – 384.88.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Daya yang dihasilkan oleh PLTS bervariasi mengikuti cuaca yang ada. Sehingga, daya yang masuk ke sistem distribusi juga bervariasi, pada penelitian ini menunjukkan bahwa probabilitas daya yang dihasilkan dengan *range* 0.4 – 0.5 MWp persentasenya adalah 70.7% per bulan dan ini menunjukkan bahwa PLTS menghasilkan daya yang cukup maksimal, karena kapasitas dari PLTS sendiri sebesar 0.5 MWp.

Bisa dilihat bahwa integrasi PLTS terhadap sistem distribusi bisa mempengaruhi nilai dari profil tegangan, injeksi daya dari PLTS yang bervariasi bisa memperbaiki profil tegangan, seperti pada bus 74 dengan nilai profil tegangan sebesar 379.32 V saat *base case* menjadi 386.2 – 388 V setelah mendapat injeksi daya acak. Hal ini juga berpengaruh terhadap semua bus yang ada pada sistem distribusi.

Meskipun injeksi daya dari PLTS bervariasi, jika dilihat dari PDF dan CDF yang dihasilkan oleh sistem, bisa dikatakan bahwa nilai dari profil tegangan akan meningkat di atas *base case*. Sehingga, berapapun injeksi daya dari PLTS yaitu dengan *range* 0.05 – 0.5 MWp, maka profil tegangan setiap bus akan mengalami peningkatan.

#### **5.2 Saran**

1. Karena data beban yang didapatkan merupakan data beban tahunan dengan 1 kali pengukuran, penelitian ini dapat digunakan untuk melihat reaksi dari sistem distribusi karena injeksi daya ataupun beban secara acak. Dengan adanya data beban secara acak maka kita dapat melihat kondisi sistem secara riil akibat adanya beban dan injeksi daya secara acak.
2. Karena PLTS hanya menginjeksi daya pada saat siang hari, maka diperlukan juga data beban pada saat siang hari agar kita bisa mengetahui respon sistem saat mendapat injeksi daya dari PLTS pada saat siang hari.
3. Dengan adanya injeksi daya dari PLTS, maka setiap variabel dalam sistem distribusi akan berubah, hal ini akan

mempengaruhi kapasitas dari proteksi sistem distribusi yang harus di tingkatkan lagi kapasitasnya sesuai standar. Sehingga, saat terjadi gangguan, sistem dapat melakukan proteksi sesuai dengan standar yang sudah ditentukan



## DAFTAR PUSTAKA

- [1] 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.
- [2] H. Shao, Y. Shi, J. Yuan, J. An, and J. Yang, "Analysis on Voltage Profile of Distribution Network with Distributed Generation," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 113, no. 1, 2018, doi: 10.1088/1755-1315/113/1/012170.
- [3] G. Srinivasa Rao and Y. . Obulesh, "Voltage Profile Improvement of Distribution System using Distributed Generating Units," *Int. J. Electr. Comput. Eng.*, vol. 3, no. 3, 2013, doi: 10.11591/ijece.v3i3.2133.
- [4] R. Bawazir, N. Cetin, M. Mosbah, and S. Arif, "Improvement of the Voltage Profile of the Distribution Network by Optimal Integration of PVbased Decentralised Source," *2020 Int. Conf. Electr. Eng. ICEE 2020*, pp. 29–32, 2020, doi: 10.1109/ICEE49691.2020.9249895.
- [5] R. Bayindir, S. Demirbas, E. Irmak, U. Cetinkaya, A. Ova, and M. Yesil, "Effects of renewable energy sources on the power system," *Proc. - 2016 IEEE Int. Power Electron. Motion Control Conf. PEMC 2016*, pp. 388–393, 2016, doi: 10.1109/EPEPEMC.2016.7752029.
- [6] D. D. Le, N. T. A. Nguyen, V. D. Ngo, and A. Berizzi, "Advanced probabilistic power flow methodology for power systems with renewable resources," *Turkish J. Electr. Eng. Comput. Sci.*, vol. 25, no. 2, pp. 1154–1162, 2017, doi: 10.3906/elk-1511-302.
- [7] C. Wang, C. Liu, F. Tang, D. Liu, and Y. Zhou, "A scenario-based analytical method for probabilistic load flow analysis," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 181, no. January, p. 106193, 2020, doi: 10.1016/j.epsr.2019.106193.

- [8] C. Su, "Probabilistic Load-Flow Computation," vol. 20, no. 4, pp. 1843–1851, 2005.
- [9] M. Fan, V. Vittal, G. T. Heydt, and R. Ayyanar, "Probabilistic power flow studies for transmission systems with photovoltaic generation using cumulants," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 27, no. 4, pp. 2251–2261, 2012, doi: 10.1109/TPWRS.2012.2190533.
- [10] Z. S. Zhang, Y. Z. Sun, J. Lin, L. Cheng, and G. J. Li, "Versatile distribution of wind power output for a given forecast value," *IEEE Power Energy Soc. Gen. Meet.*, pp. 1–7, 2012, doi: 10.1109/PESGM.2012.6344672.
- [11] P. Zhang and S. T. Lee, "Probabilistic Load Flow Computation Using the Method of Combined Cumulants and Gram-Charlier Expansion," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 19, no. 1, pp. 676–682, 2004, doi: 10.1109/TPWRS.2003.818743.
- [12] P. K. Chary, T. Mahesh, A. N. Kumar, K. Lingaswamy, T. R. Babu, and B. Navothna, "Load flow analysis of radial distribution system," *Proc. Int. Conf. Smart Technol. Comput. Electr. Electron. ICSTCEE 2020*, pp. 298–303, 2020, doi: 10.1109/ICSTCEE49637.2020.9277420.
- [13] A. Supriyadi, "Analisa Aliran Daya Pada Sistem Tenaga Listrik Menggunakan Software ETAP 12.6," *Forum Teknol.*, vol. 06, no. 3, p. 10.
- [14] IEEE, *IEEE Std 3002.2-2018: Recommended Practice for conducting Load-Flow Studies and Analysis of Industrial and Commercial Power Systems*. 2018.
- [15] S. M. Said, B. Hartmann, M. M. Aly, M. Mosa, and R. S. Balog, "Comparison between operating modes of distributed generation on voltage profile and stability of distribution systems," *2018 IEEE Texas Power Energy Conf. TPEC 2018*, vol. 2018-Febru, pp. 1–6, 2018, doi: 10.1109/TPEC.2018.8312107.
- [16] A. S. Addurat and J. Pasupuleti, "The impacts of number of solar photovoltaic units on distribution network losses and voltage

profile,” *2020 IEEE Student Conf. Res. Dev. SCORED 2020*, no. September, pp. 249–253, 2020, doi: 10.1109/SCORED50371.2020.9250971.

- [17] B. A. Pramudita, B. S. Aprillia, and M. Ramdhani, “ANALISIS EKONOMI ON GRID PLTS UNTUK RUMAH 2200 VA,” vol. 1, no. 2, pp. 23–27, 2020.
- [18] G. Stefopoulos, A. P. Meliopoulos, and G. J. Cokkinides, “Advanced probabilistic power flow methodology,” *15th Power Syst. Comput. Conf. PSCC 2005*, no. August, pp. 22–26, 2005.
- [19] A. U. Krismanto, N. Mithulanathan, and I. Kamwa, “Oscillatory stability assessment of microgrid in autonomous operation with uncertainties,” *IET Renew. Power Gener.*, vol. 12, no. 4, pp. 494–504, 2018, doi: 10.1049/iet-rpg.2017.0579.
- [20] R. Sridharan, “Gaussian mixture models and the EM algorithm Review : the Gaussian distribution,” pp. 1–11.
- [21] S. Gurung, S. Naetiladdanon, and A. Sangswang, “Impact of photovoltaic penetration on small signal stability considering uncertainties,” *2017 IEEE Innov. Smart Grid Technol. - Asia Smart Grid Smart Community, ISGT-Asia 2017*, pp. 1–6, 2018, doi: 10.1109/ISGT-Asia.2017.8378404.
- [22] S. Conti and S. Raiti, “Probabilistic load flow using Monte Carlo techniques for distribution networks with photovoltaic generators,” *Sol. Energy*, vol. 81, no. 12, pp. 1473–1481, 2007, doi: 10.1016/j.solener.2007.02.007.
- [23] S. Singh and J. H. Taylor, “Uncertainty Estimation in Wind Power Forecasts Using Monte Carlo Simulations,” *Can. Conf. Electr. Comput. Eng.*, vol. 2018-May, pp. 1–6, 2018, doi: 10.1109/CCECE.2018.8447846.
- [24] J. Park, W. Liang, J. Choi, A. A. El-Keib, M. Shahidehpour, and R. Billinton, “A probabilistic reliability evaluation of a power system including solar/photovoltaic cell generator,” *2009 IEEE Power Energy Soc. Gen. Meet. PES '09*, no. 1, pp. 1–6, 2009, doi: 10.1109/PES.2009.5275722.

- [25] O. P. Hutauruk, T. Tamba, and T. R. Simbolon, "Pembuatan Sistem Monitoring Optimasi Energi Cahaya Matahari Menggunakan Sensor Arus pada Antarmuka Personal Computer," 2013.

## LAMPIRAN

### 1. Program *Gaussian Mixture Models*

```
C = 2;
w = [0.4 0.6];
y = xlsread('Irradiance', 1);
x=y(112,:);
x=sort(x);
mu = quantile(x,[0.25 0.75]);
sigma_start = sqrt(var(x) - .25*diff(mu).^2);
sigma=[sigma_start sigma_start];
cdf = w(1) * normcdf(x, mu(1), sigma(1)) + w(2) * normcdf(x,
mu(2), sigma(2));

[mu_est, sigma_est, w_est, counter, difference] =
gaussian_mixture_model(x, C, 1.0e-3);
mu_est'
sigma_est'
w_est'

p1_est = w_est(1) * norm_density(x, mu_est(1), sigma_est(1));
p2_est = w_est(2) * norm_density(x, mu_est(2), sigma_est(2));

figure(1)
bins = 100:50:1100;
h = bar(bins,histc(x,bins)/(length(x)*50),'r');
hold on
plot(x, p1_est+p2_est, 'b-', 'linewidth', 2);
grid on

figure(2)
px=100:1200;
p=w_est(1)*norm_density(px,mu_est(1),sigma_est(1)) +
w_est(2)*norm_density(px,mu_est(2),sigma_est(2));
randpdf1(p,px,[1000,1])
Solar_Ir_est=randpdf1(p,px,[1,1000]);
A=x';
B=Solar_Ir_est
```

## 2. Program *Monte Carlo Simulation*

```
! Variable declarations
int Nsample, b, i, k, j, n_bus, n_line;
set S, Bus, SB, S_bus, S_line, sPVGen1;
object PF, ldf, oLine, oPV_Gen1, O_bus, O_line;
double Data_PV1_awal, Data_PV1_real, M, L, randomp;
ClearOutput();

Nsample=1000;

S_bus=AllRelevant('*.ElmTerm');
S_line=AllRelevant('*.ElmLne');
SB=AllRelevant();
O_bus=SB.Firstmatch('ElmTerm');
O_line=SB.Firstmatch('ElmLne');

n_bus=S_bus.Count();
n_line=S_line.Count();
Vs.Init(Nsample,n_bus);
Is.Init(Nsample,n_line);

sPVGen1 = PV_Gen1.Get();

k=0;
for
(oPV_Gen1=sPVGen1.First();oPV_Gen1;oPV_Gen1=sPVGen
1.Next()){
    k=1+k;
}
Data_PV1.Resize(k);

!Set initial condition of PV Generation
k=0;
for
(oPV_Gen1=sPVGen1.First();oPV_Gen1;oPV_Gen1=sPVGen
1.Next()){
    k=1+k;
    Data_PV1_awal=oPV_Gen1.pgini;
    Data_PV1.Set(k,Data_PV1_awal);
```

```
}
```

! Accessing each value of PV Generation from PV Data Matrices

```
k=0;
i=1;
for
(oPV_Gen1=sPVGen1.First();oPV_Gen1;oPV_Gen1=sPVGen
1.Next()){
    k=1+k;
    Data_PV1_awa1=Data_PV1.Get(k);
    for(i=1;i<=Nsample;i+=1){
        Data_PV1_real=Data_PV1_random.Get(i);
        oPV_Gen1:pgini=Data_PV1_real;
        printf('Power Generation : %.3f MW', oPV_Gen1:pgini);
! Run a load flow
        ldf = GetCaseObject('ComLdf');
        ldf.Execute();
        O_bus=SB.Firstmatch('ElmTerm');
        for(j=1;j<=n_bus;j+=1){
            M=O_bus:m:u1;
            Vs.Set(i,j,M);
            O_bus=SB.Nextmatch();
        }
        O_line=SB.Firstmatch('ElmLne');
        for(b=1;b<=n_line;b+=1){
            L=O_line:c:loading;
            Is.Set(i,b,L);
            O_line=SB.Nextmatch();
        }
    }
}
```

```
ClearOutput();
for (i=1;i<=n_bus;i+=1){
M=Vs.Get(1,i);
printf('Expected Voltage Mag. of Bus %d is %f p.u',i,M);
printf('\n');
```

```

}

for (b=1;b<=n_line;b+=1){
L=Is.Get(1,b);
printf('Loading Condition of Line %d is %f p.u',b,L);
printf('\n');
}

```

### 3. Program *Probability Density Function*

```

x = xlsread('Bus 74',1)
histfit(x, 25, 'kernel')

```

### 4. Program *Cummulative Distribution Function*

```

x=xlsread('Bus 177', 1);
cdfplot(x);

```

### 5. Data Transformator (lanjutan tabel 3.1)

NO	KODE GARDU	Daya (kVA)	NO	KODE GARDU	Daya (kVA)
45	E0396	160	68	E0125	250
46	E0188	250	69	E0201	250
47	E0339	200	70	E0389	250
48	E0480	100	71	E0459	250
49	E0098	160	72	E0051	100
50	E0355	160	73	E0080	200
51	E0289	400	74	E0438	100
52	E0134	200	75	E0081	250
53	E0145	200	76	E0325	150
54	E0172	200	77	E0440	150
55	E0139	160	78	E0324	100
56	E0023	160	79	E0422	160
57	E0049	160	80	E0368	100
58	E0252	150	81	E0334	200



59	E0238	400	82	E0376	100
60	E0302	250	83	E0341	100
61	E0198	160	84	E0424	160
62	E0346	1000	85	E0501	100
63	E0255	100	86	E0082	400
64	E0199	100	87	E0377	250
65	E0321	160	88	E0395	160
66	E0391	50	89	E0402	100
67	E0455	200	90	E0426	100

## 6. Data Saluran (lanjutan tabel 3.2)

No	Kode Gardu		Line	Panjang (M)	Jenis Saluran	Diameter (mm)
	Dari	Ke				
5	E0242	E0270	3	107	A3CS	3×150
6	E0270	E0327	4	247	A3CS	3×150
7	E0327	E0347	5	24	A3CS	3×150
8	E0347	E0336	6	704	A3CS	3×150
9	E0336	E0160	7	88	A3CS	3×150
10	E0160	E0392	8	42	A3CS	3×150
11	E0392	E0469	9	395	A3CS	3×150
12	E0469	E0244	10	2	A3CS	3×150
13	E0244	E0245	11	4	A3CS	3×150
14	E0245	E0088	12	242	A3CS	3×150
15	E0088	E0033	14	395	A3CS	3×150
16	E0033	E0116	15	286	A3CS	3×150
17	E0116	E0349	16	68	A3CS	3×150
18	E0349	E0400	17	40	A3CS	3×150
19	E0400	E0439	13	424	A3CS	3×150
20	E0439	E0032	18	556	A3CS	3×150

21	E0032	E0387	21	393	A3CS	3×150
22	E0387	E0235	20	195	A3CS	3×150
23	E0235	E0390	19	142	A3CS	3×150
24	E0390	E0366	22	504	A3CS	3×150
25	E0366	E0348	24	43	A3CS	3×150
26	E0348	E0423	25	152	A3CS	3×150
27	E0423	E0144	26	350	A3CS	3×150
28	E0144	E0280	23	170	A3CS	3×150
29	E0208	E0281	32	198	A3CS	3×150
30	E0281	E0369	27	263	A3CS	3×150
31	E0369	E0500	30	450	A3CS	3×150
32	E0500	E0499	31	84	A3CS	3×150
33	E0499	E0100	28	54	A3CS	3×150
34	E0100	E0079	52	472	A3CS	3×150
35	E0079	E0054	53	285	A3CS	3×150
36	E0054	E0214	29	1120	A3C	3×150
37	E0214	E0319	55	323	A3C	3×150
38	E0319	E0406	33	789	A3CS	3×150
39	E0406	E0425	34	34	A3CS	3×150
40	E0425	E0231	54	162	A3CS	3×150
41	E0231	E0354	56	296	A3CS	3×150
42	E0354	E0131	60	77	A3C	3×150
43	E0131	E0483	61	156	A3C	3×150
44	E0483	E0233	57	55	A3C	3×70
45	E0233	E0396	58	12	A3CS	3×150
46	E0396	E0188	59	11	A3C	3×70
47	E0188	E0339	62	63	A3CS	3×150
48	E0339	E0480	63	248	A3CS	3×150
49	E0480	E0098	67	101	A3C	3×150

50	E0098	E0355	68	66	A3CS	3×150
51	E0355	E0289	69	123	A3C	3×150
52	E0289	E0134	64	58	A3C	3×150
53	E0134	E0145	65	28	A3CS	3×150
54	E0145	E0172	66	135	A3C	3×150
55	E0172	E0139	70	298	A3C	3×70
56	E0139	E0023	71	68	A3C	3×150
57	E0023	E0049	72	433	A3C	3×150
58	E0049	E0252	73	393	A3C	3×150
59	E0252	E0238	74	755	A3C	3×150
60	E0238	E0302	82	113	A3C	3×150
61	E0302	E0198	75	141	A3C	3×150
62	E0198	E0346	76	356	A3C	3×150
63	E0346	E0255	77	380	A3C	3×150
64	E0255	E0199	78	785	A3C	3×150
65	E0199	E0321	79	151	A3C	3×150
66	E0321	E0391	84	47	A3C	3×150
67	E0391	E0455	87	74	A3CS	3×150
68	E0455	E0125	80	135	A3C	3×150
69	E0125	E0201	86	2	A3C	3×150
70	E0201	E0389	81	245	A3C	3×150
71	E0389	E0459	83	72	A3C	3×150
72	E0459	E0051	85	157	A3C	3×150
73	E0051	E0080	88	81	A3C	3×150
74	E0080	E0438	38	1298	A3CS	3×150
75	E0438	E0081	37	194	A3C	3×70
76	E0081	E0325	36	220	A3C	3×150
77	E0325	E0440	35	447	A3C	3×150
78	E0440	E0324	39	262	A3C	3×150

79	E0324	E0422	40	206	A3CS	3×150
80	E0422	E0368	41	266	A3C	3×150
81	E0368	E0334	42	133	A3CS	3×150
82	E0334	E0376	43	47	A3CS	3×150
83	E0376	E0341	44	93	A3CS	3×150
84	E0341	E0424	45	277	A3CS	3×150
85	E0424	E0501	46	444	A3CS	3×150
86	E0501	E0082	47	146	A3C	3×150
87	E0082	E0377	48	720	A3C	3×150
88	E0377	E0395	49	71	A3CS	3×70
89	E0395	E0402	50	80	A3CS	3×150
90	E0402	E0426	51	168	A3CS	3×70

### 7. Data Beban (lanjutan tabel 3.3)

No	Kode Gardu	Busbar	Alamat	Beban (kVA)
17	E0349	34	Green Hills Hotel/Ruko Ngijo	11,975
18	E0400	36	Raya Ngepeh Ngijo	62,887
19	E0387	38	Hoesodo/Enak Eco	51,72
20	E0235	40	PT. Dunia Plastik Kepuharjo	36,868
21	E0390	42	Sewajar Raya Kepuharjo	1,154
22	E0032	44	Raya Kepuharjo	182,915
23	E0366	48	PT.Cipta Kretek Nusantara Raya	0,707
24	E0348	50	Pasar Wisata Modern DN. Kepuharjo	16,301
25	E0423	52	Kantor BPTP Jatim Raya Kepuharjo	24,374

26	E0144	54	Raya Tanjung Sari Karangploso Wetan	106,958
27	E0369	58	Perum Tirtasani Tasikmadu	25,82
28	E0280	60	Perum Tirtasani Barat	24,17
29	E0500	62	Sekolah Almahira	12,464
30	E0499	64	-	17,114
31	E0281	66	Perum Tirtasani	33,104
32	E0100	68	Jolli Setiawan/Es Cream Walls	41,644
33	E0325	70	Perum Green View Tasikmadu	36,492
34	E0440	72	Perum Royal Atletik Tasikmadu	9,837
35	E0081	74	DK. Bentis Tasikmadu	178,573
36	E0438	76	Perum Akthara Jl. Atletik Tasikmadu	12,462
37	E0080	78	Desa Tasikmadu	78,256
38	E0082	80	Jl. KH Yusuf Tasikmadu	221,507
39	E0324	82	Perum Patraland Desa Tasikmadu	47,859
40	E0422	84	Perum Patra Island	34,446
41	E0368	86	Perum Modern Residence	21,054
42	E0334	88	Perum Mutiara Jingga Desa Tasikmadu	46,07
43	E0341	90	Perum Maharja Residence Jl. Akordion	6,945
44	E0376	92	Perum Permata Tasikmadu	13,886
45	E0501	94	PR. Adyna	24,86
46	E0424	96	PR. De Prima Tasikmadu	34,43

47	E0377	98	KK. Graha Mulya Tasikmadu	44,755
48	E0395	100	Perum Graha Mulya Tasikmadu	15,55
49	E0402	102	Desa Tasikmadu	16,05
50	E0426	104	Perum City Inside	31,625
51	E0079	106	Desa Gembrung Tunjungtirto	125,972
52	E0054	108	RY. Losawi Tunjungtirto	48,046
53	E0214	110	DK. Bunut Tunjungtirto	97,353
54	E0319	112	DK. Bunut Tunjungtirto	54,666
55	E0231	114	ITN Tasikmadu	0,307
56	E0406	116	Kampus 2 ITN	249,751
57	E0425	118	Amalia Christi/ Kampus 2 ITN	19,362
58	E0354	120	Agustinus Jl. Raya Tunjungtirto	9,282
59	E0131	122	Raya Losawi Tunjungtirto	123,98
60	E0483	124	-	8,292
61	E0233	126	Agustinus Jl. Raya Tunjungtirto	238,949
62	E0188	127	Sidarta Jl. Losawi Tunjungtirto	128,256
63	E0396	130	Grage Hotel Jl.Perusahaan	10,083
64	E0339	131	PT. Pinantik Utama	43,698
65	E0480	134	-	4,148
66	E0098	135	Jl. Perusahaan Tunjungtirto	61,12

67	E0355	137	DRA. Siti Shofiati/Desa Tunjungtirto	4,156
68	E0289	139	Gunawan Siswandi/Jl. Perusahaan	248,594
69	E0145	141	PT. Gatramapan	5,49
70	E0172	143	Gatra Furindo	0,65
71	E0134	145	UD. Akie Jl. Tunjungtirto	0,698
72	E0139	147	Pabrik Kulit Pagina Cita	20,738
73	E0023	149	Perum Karanglo Indah	87,903
74	E0049	151	Perum Karanglo Indah	105,268
75	E0252	153	Perum Karanglo Indah Perum Griya Damai Sejahtera	89,026
76	E0199	155	Perum Griya Damai Sejahtera	55,566
77	E0198	157	Perum Griya Damai Sejahtera	71,686
78	E0255	159	Perum Karanglo Indah	47,175
79	E0346	161	PT. Tri Mitra Lumba/ Hotel Harris	327,965
80	E0302	163	Parem Riverside	37,433
81	E0238	165	KK. Riverside Balearjosari	10,912
82	E0321	167	Jl. Perusahaan Tunjungtirto	19,732
83	E0391	169	Jl. Perusahaan Karanglo	26,673
84	E0125	171	PO. Tentrem	15,176
85	E0201	173	PT. Pura Agung Jl. Perusahaan Losawi	99,687
86	E0455	175	PT. Tentrem Inti S	5,57

87	E0051	177	Raya Plambesan Tunjungtirto	60,877
88	E0389	178	PT. Balten Sejahtera/ Pergudangan	66,258
89	E0459	181	Pergudangan Balten	25,156
90	E0439	183	Rs.Prasetya Husada	4,148
Total Beban				5.667,52

**8. Hasil profil tegangan saat *base case* (lanjutan tabel 4.1)**

No	Kode Gardu	Busbar	Tegangan (p.u)
16	E0349	32	0.9853
17	E0400	34	0.9852
18	E0387	36	0.9787
19	E0235	38	0.9767
20	E00209	40	0.9812
21	E0390	42	0.9818
22	E0366	44	0.9698
23	E0348	48	0.9796
24	E0144	50	0.9766
25	E0188	52	0.9771
26	E0280	54	0.9685
27	E0369	58	0.9764
28	E0242	60	0.9742
29	E0500	62	0.9751
30	E0499	64	0.9741
31	E0281	66	0.9753
32	E0100	68	0.9682
33	E0440	70	0.9521
34	E0081	72	0.9595



35	E0438	74	0.9483
36	E0080	76	0.9553
37	E0082	78	0.962
38	E0270	80	0.9508
39	E0324	82	0.9526
40	E0422	84	0.9576
41	E0368	86	0.9613
42	E0334	88	0.9571
43	E0376	90	0.9603
44	E0501	92	0.959
45	E0424	94	0.9567
46	E0377	96	0.9574
47	E0395	98	0.9579
48	E0032	100	0.9595
49	E0327	102	0.9583
50	E0402	104	0.9553
51	E0426	106	0.9631
52	E0079	108	0.9654
53	E0214	110	0.9607
54	E0319	112	0.9613
55	E0231	114	0.9698
56	E0406	116	0.9699
57	E0425	118	0.9683
58	E0354	120	0.9675
59	E0347	122	0.9598
60	E0131	124	0.9681
61	E0483	126	0.9574
62	E0233	127	0.959
63	E0396	130	0.9676

64	E0098	131	0.9646
65	E0480	134	0.9673
66	E0355	135	0.9607
67	E0289	137	0.9675
68	E0336	139	0.9558
69	E0145	141	0.967
70	E0172	143	0.9673
71	E0134	145	0.9675
72	E0139	147	0.9646
73	E0023	149	0.9565
74	E0252	151	0.9538
75	E0199	153	0.9546
76	E0198	155	0.9529
77	E0255	157	0.9563
78	E0160	159	0.9538
79	E0346	161	0.9583
80	E0302	163	0.9622
81	E0238	165	0.9646
82	E0321	167	0.9611
83	E0391	169	0.9532
84	E0201	171	0.9621
85	E0455	173	0.9557
86	E0051	175	0.9628
87	E0389	177	0.9513
88	E0392	178	0.9581
89	E0459	181	0.9611
90	E0439	183	0.9848

**9. Hasil profil tegangan saat injeksi daya 0,5 MWp (lanjutan tabel 4.2)**

<b>No</b>	<b>Kode Gardu</b>	<b>Busbar</b>	<b>Tegangan Base Case (p.u)</b>	<b>Tegangan Setelah Injeksi Daya 0,5 MWp</b>
23	E0348	48	0,9796	0,9826
24	E0144	50	0,9766	0,9797
25	E0188	52	0,9771	0,9801
26	E0280	54	0,9685	0,9718
27	E0369	58	0,9764	0,9797
28	E0242	60	0,9742	0,9777
29	E0500	62	0,9751	0,9788
30	E0499	64	0,9741	0,9778
31	E0281	66	0,9753	0,9787
32	E0100	68	0,9682	0,9719
33	E0440	70	0,9521	0,957
34	E0081	72	0,9595	0,9645
35	E0438	74	0,9483	0,9534
36	E0080	76	0,9553	0,9603
37	E0082	78	0,962	0,9669
38	E0270	80	0,9508	0,9557
39	E0324	82	0,9526	0,9576
40	E0422	84	0,9576	0,9626
41	E0368	86	0,9613	0,9663
42	E0334	88	0,9571	0,9621
43	E0376	90	0,9603	0,9652
44	E0501	92	0,959	0,9639
45	E0424	94	0,9567	0,9616
46	E0377	96	0,9574	0,9624

47	E0395	98	0,9579	0,9629
48	E0032	100	0,9595	0,9644
49	E0327	102	0,9583	0,9632
50	E0402	104	0,9553	0,9603
51	E0426	106	0,9631	0,9671
52	E0079	108	0,9654	0,9695
53	E0214	110	0,9607	0,9653
54	E0319	112	0,9613	0,966
55	E0231	114	0,9698	0,9747
56	E0406	116	0,9699	0,9749
57	E0425	118	0,9683	0,9732
58	E0354	120	0,9675	0,9725
59	E0347	122	0,9598	0,9647
60	E0131	124	0,9681	0,973
61	E0483	126	0,9574	0,9624
62	E0233	127	0,959	0,964
63	E0396	130	0,9676	0,9725
64	E0098	131	0,9646	0,9695
65	E0480	134	0,9673	0,9722
66	E0355	135	0,9607	0,9656
67	E0289	137	0,9675	0,9724
68	E0336	139	0,9558	0,9608
69	E0145	141	0,967	0,9719
70	E0172	143	0,9673	0,9722
71	E0134	145	0,9675	0,9724
72	E0139	147	0,9646	0,9695
73	E0023	149	0,9565	0,9614
74	E0252	151	0,9538	0,9588
75	E0199	153	0,9546	0,9596

76	E0198	155	0,9529	0,9579
77	E0255	157	0,9563	0,9613
78	E0160	159	0,9538	0,9588
79	E0346	161	0,9583	0,9632
80	E0302	163	0,9622	0,9671
81	E0238	165	0,9646	0,9695
82	E0321	167	0,9611	0,966
83	E0391	169	0,9532	0,9582
84	E0201	171	0,9621	0,967
85	E0455	173	0,9557	0,9606
86	E0051	175	0,9628	0,9677
87	E0389	177	0,9513	0,9563
88	E0392	178	0,9581	0,963
89	E0459	181	0,9611	0,9661
90	E0439	183	0,9848	0,9869

### 10. Hasil injeksi daya acak menggunakan GMM

No	Iradiasi	Daya (kW)	Daya (MW)	No	Iradiasi	Daya (kW)	Daya (MW)
1	402.700	201.35	0.20	501	375.354	187.68	0.19
2	221.544	110.77	0.11	502	884.500	442.25	0.44
3	869.667	434.83	0.43	503	915.828	457.91	0.46
4	451.729	225.86	0.23	504	529.533	264.77	0.26
5	918.608	459.30	0.46	505	927.515	463.76	0.46
6	854.424	427.21	0.43	506	315.756	157.88	0.16
7	937.051	468.53	0.47	507	862.418	431.21	0.43
8	919.836	459.92	0.46	508	130.201	56.51	0.06
9	896.562	448.28	0.45	509	497.273	248.64	0.25
10	443.161	221.58	0.22	510	113.052	42.60	0.04

11	967.682	483.84	0.48	511	457.796	228.90	0.23
12	565.667	282.83	0.28	512	403.048	201.52	0.20
13	955.827	477.91	0.48	513	570.846	285.42	0.29
14	501.401	250.70	0.25	514	440.853	220.43	0.22
15	855.654	427.83	0.43	515	398.549	199.27	0.20
16	334.772	167.39	0.17	516	900.630	450.31	0.45
17	906.487	453.24	0.45	517	949.508	474.75	0.47
18	447.598	223.80	0.22	518	960.565	480.28	0.48
19	267.115	133.56	0.13	519	497.946	248.97	0.25
20	918.232	459.12	0.46	520	882.312	441.16	0.44
21	843.258	421.63	0.42	521	856.558	428.28	0.43
22	909.367	454.68	0.45	522	889.287	444.64	0.44
23	859.280	429.64	0.43	523	564.838	282.42	0.28
24	904.686	452.34	0.45	524	307.113	153.56	0.15
25	211.482	105.74	0.11	525	873.157	436.58	0.44
26	951.922	475.96	0.48	526	439.633	219.82	0.22
27	929.994	465.00	0.46	527	224.199	112.10	0.11
28	921.542	460.77	0.46	528	966.480	483.24	0.48
29	932.069	466.03	0.47	529	871.879	435.94	0.44
30	859.093	429.55	0.43	530	969.658	484.83	0.48
31	903.260	451.63	0.45	531	924.020	462.01	0.46
32	897.223	448.61	0.45	532	155.027	77.51	0.08
33	890.289	445.14	0.45	533	912.096	456.05	0.46
34	584.873	292.44	0.29	534	915.763	457.88	0.46
35	537.323	268.66	0.27	535	907.192	453.60	0.45
36	876.389	438.19	0.44	536	893.749	446.87	0.45
37	506.752	253.38	0.25	537	493.889	246.94	0.25
38	930.630	465.32	0.47	538	925.538	462.77	0.46
39	987.208	493.60	0.49	539	507.185	253.59	0.25

40	234.248	117.12	0.12	540	854.620	427.31	0.43
41	891.175	445.59	0.45	541	947.104	473.55	0.47
42	334.194	167.10	0.17	542	939.841	469.92	0.47
43	930.244	465.12	0.47	543	864.868	432.43	0.43
44	991.041	495.52	0.50	544	788.163	394.08	0.39
45	304.929	152.46	0.15	545	902.028	451.01	0.45
46	960.571	480.29	0.48	546	951.824	475.91	0.48
47	200.441	100.22	0.10	547	951.538	475.77	0.48
48	912.632	456.32	0.46	548	899.577	449.79	0.45
49	927.305	463.65	0.46	549	831.100	415.55	0.42
50	890.935	445.47	0.45	550	939.203	469.60	0.47
51	945.844	472.92	0.47	551	874.469	437.23	0.44
52	949.008	474.50	0.47	552	950.327	475.16	0.48
53	904.487	452.24	0.45	553	241.917	120.96	0.12
54	397.632	198.82	0.20	554	890.665	445.33	0.45
55	493.486	246.74	0.25	555	917.271	458.64	0.46
56	449.403	224.70	0.22	556	446.045	223.02	0.22
57	260.695	130.35	0.13	557	835.106	417.55	0.42
58	360.192	180.10	0.18	558	456.038	228.02	0.23
59	903.141	451.57	0.45	559	811.661	405.83	0.41
60	960.663	480.33	0.48	560	865.258	432.63	0.43
61	847.254	423.63	0.42	561	893.177	446.59	0.45
62	867.055	433.53	0.43	562	274.120	137.06	0.14
63	985.311	492.66	0.49	563	893.814	446.91	0.45
64	962.808	481.40	0.48	564	584.330	292.16	0.29
65	911.619	455.81	0.46	565	526.424	263.21	0.26
66	989.895	494.95	0.49	566	528.887	264.44	0.26
67	924.691	462.35	0.46	567	416.668	208.33	0.21
68	835.257	417.63	0.42	568	967.245	483.62	0.48

69	909.615	454.81	0.45	569	959.301	479.65	0.48
70	530.430	265.21	0.27	570	933.017	466.51	0.47
71	637.614	318.81	0.32	571	918.968	459.48	0.46
72	912.116	456.06	0.46	572	441.933	220.97	0.22
73	889.938	444.97	0.44	573	850.165	425.08	0.43
74	867.304	433.65	0.43	574	457.328	228.66	0.23
75	901.169	450.58	0.45	575	112.107	41.89	0.04
76	922.235	461.12	0.46	576	766.319	383.16	0.38
77	898.403	449.20	0.45	577	914.862	457.43	0.46
78	893.670	446.84	0.45	578	904.391	452.20	0.45
79	898.409	449.20	0.45	579	892.329	446.16	0.45
80	887.335	443.67	0.44	580	873.748	436.87	0.44
81	327.985	163.99	0.16	581	613.909	306.95	0.31
82	917.712	458.86	0.46	582	885.631	442.82	0.44
83	1005.842	502.92	0.50	583	923.888	461.94	0.46
84	847.295	423.65	0.42	584	924.019	462.01	0.46
85	975.010	487.51	0.49	585	897.306	448.65	0.45
86	842.634	421.32	0.42	586	921.811	460.91	0.46
87	946.108	473.05	0.47	587	907.249	453.62	0.45
88	877.006	438.50	0.44	588	380.210	190.10	0.19
89	867.771	433.89	0.43	589	886.095	443.05	0.44
90	493.395	246.70	0.25	590	843.148	421.57	0.42
91	383.136	191.57	0.19	591	341.044	170.52	0.17
92	696.193	348.10	0.35	592	409.317	204.66	0.20
93	918.655	459.33	0.46	593	468.690	234.35	0.23
94	927.169	463.58	0.46	594	911.004	455.50	0.46
95	914.036	457.02	0.46	595	872.086	436.04	0.44
96	167.429	83.71	0.08	596	914.124	457.06	0.46
97	937.355	468.68	0.47	597	550.596	275.30	0.28



98	955.167	477.58	0.48	598	167.223	83.61	0.08
99	925.321	462.66	0.46	599	890.643	445.32	0.45
100	262.391	131.20	0.13	600	594.301	297.15	0.30
101	857.338	428.67	0.43	601	963.054	481.53	0.48
102	915.533	457.77	0.46	602	950.855	475.43	0.48
103	919.149	459.57	0.46	603	862.059	431.03	0.43
104	502.083	251.04	0.25	604	220.769	110.38	0.11
105	572.730	286.37	0.29	605	910.887	455.44	0.46
106	911.111	455.56	0.46	606	936.253	468.13	0.47
107	881.371	440.69	0.44	607	975.161	487.58	0.49
108	904.173	452.09	0.45	608	288.662	144.33	0.14
109	519.017	259.51	0.26	609	876.121	438.06	0.44
110	443.477	221.74	0.22	610	898.248	449.12	0.45
111	934.911	467.46	0.47	611	913.026	456.51	0.46
112	924.704	462.35	0.46	612	917.693	458.85	0.46
113	958.910	479.45	0.48	613	907.883	453.94	0.45
114	361.383	180.69	0.18	614	918.772	459.39	0.46
115	449.506	224.75	0.22	615	855.760	427.88	0.43
116	350.176	175.09	0.18	616	898.118	449.06	0.45
117	883.574	441.79	0.44	617	371.584	185.79	0.19
118	462.695	231.35	0.23	618	289.884	144.94	0.14
119	948.263	474.13	0.47	619	981.088	490.54	0.49
120	350.169	175.08	0.18	620	607.209	303.60	0.30
121	265.383	132.69	0.13	621	900.066	450.03	0.45
122	894.506	447.25	0.45	622	969.957	484.98	0.48
123	925.558	462.78	0.46	623	453.727	226.86	0.23
124	717.439	358.72	0.36	624	462.446	231.22	0.23
125	445.668	222.83	0.22	625	839.318	419.66	0.42
126	837.210	418.60	0.42	626	958.396	479.20	0.48

127	483.618	241.81	0.24	627	861.445	430.72	0.43
128	887.058	443.53	0.44	628	581.021	290.51	0.29
129	950.834	475.42	0.48	629	414.092	207.05	0.21
130	904.909	452.45	0.45	630	863.364	431.68	0.43
131	353.320	176.66	0.18	631	856.086	428.04	0.43
132	861.503	430.75	0.43	632	389.650	194.83	0.19
133	284.679	142.34	0.14	633	872.874	436.44	0.44
134	885.567	442.78	0.44	634	340.196	170.10	0.17
135	872.133	436.07	0.44	635	902.883	451.44	0.45
136	1011.784	505.89	0.51	636	172.818	86.41	0.09
137	931.816	465.91	0.47	637	896.893	448.45	0.45
138	882.846	441.42	0.44	638	928.252	464.13	0.46
139	947.922	473.96	0.47	639	517.469	258.73	0.26
140	397.252	198.63	0.20	640	875.647	437.82	0.44
141	861.241	430.62	0.43	641	896.315	448.16	0.45
142	956.660	478.33	0.48	642	296.099	148.05	0.15
143	953.793	476.90	0.48	643	884.711	442.36	0.44
144	916.852	458.43	0.46	644	906.797	453.40	0.45
145	903.410	451.71	0.45	645	498.054	249.03	0.25
146	840.511	420.26	0.42	646	936.232	468.12	0.47
147	959.423	479.71	0.48	647	974.896	487.45	0.49
148	382.080	191.04	0.19	648	937.940	468.97	0.47
149	919.305	459.65	0.46	649	886.365	443.18	0.44
150	907.382	453.69	0.45	650	593.140	296.57	0.30
151	935.532	467.77	0.47	651	921.656	460.83	0.46
152	863.702	431.85	0.43	652	519.718	259.86	0.26
153	922.131	461.07	0.46	653	967.664	483.83	0.48
154	935.902	467.95	0.47	654	903.683	451.84	0.45
155	813.362	406.68	0.41	655	900.828	450.41	0.45

156	893.742	446.87	0.45	656	438.170	219.08	0.22
157	980.567	490.28	0.49	657	338.631	169.32	0.17
158	893.291	446.65	0.45	658	548.044	274.02	0.27
159	828.521	414.26	0.41	659	940.268	470.13	0.47
160	903.571	451.79	0.45	660	952.053	476.03	0.48
161	850.288	425.14	0.43	661	914.865	457.43	0.46
162	923.130	461.56	0.46	662	918.522	459.26	0.46
163	867.891	433.95	0.43	663	509.749	254.87	0.25
164	884.027	442.01	0.44	664	897.306	448.65	0.45
165	914.172	457.09	0.46	665	931.653	465.83	0.47
166	975.948	487.97	0.49	666	865.254	432.63	0.43
167	824.724	412.36	0.41	667	990.076	495.04	0.50
168	936.367	468.18	0.47	668	338.162	169.08	0.17
169	920.544	460.27	0.46	669	807.984	403.99	0.40
170	966.263	483.13	0.48	670	887.267	443.63	0.44
171	238.949	119.47	0.12	671	294.798	147.40	0.15
172	848.484	424.24	0.42	672	918.595	459.30	0.46
173	909.653	454.83	0.45	673	894.394	447.20	0.45
174	599.160	299.58	0.30	674	890.179	445.09	0.45
175	510.439	255.22	0.26	675	934.971	467.49	0.47
176	916.502	458.25	0.46	676	940.305	470.15	0.47
177	904.294	452.15	0.45	677	928.141	464.07	0.46
178	899.434	449.72	0.45	678	786.022	393.01	0.39
179	909.342	454.67	0.45	679	876.505	438.25	0.44
180	271.906	135.95	0.14	680	922.490	461.24	0.46
181	844.081	422.04	0.42	681	363.851	181.93	0.18
182	876.329	438.16	0.44	682	363.702	181.85	0.18
183	525.537	262.77	0.26	683	574.344	287.17	0.29
184	917.062	458.53	0.46	684	889.424	444.71	0.44

185	939.803	469.90	0.47	685	975.894	487.95	0.49
186	599.174	299.59	0.30	686	916.399	458.20	0.46
187	919.373	459.69	0.46	687	716.796	358.40	0.36
188	397.507	198.75	0.20	688	625.101	312.55	0.31
189	936.172	468.09	0.47	689	938.689	469.34	0.47
190	398.493	199.25	0.20	690	952.207	476.10	0.48
191	899.085	449.54	0.45	691	906.369	453.18	0.45
192	852.716	426.36	0.43	692	548.224	274.11	0.27
193	931.011	465.51	0.47	693	336.359	168.18	0.17
194	885.991	443.00	0.44	694	936.449	468.22	0.47
195	883.544	441.77	0.44	695	898.577	449.29	0.45
196	944.035	472.02	0.47	696	963.778	481.89	0.48
197	846.556	423.28	0.42	697	295.490	147.75	0.15
198	875.941	437.97	0.44	698	898.565	449.28	0.45
199	970.651	485.33	0.49	699	607.922	303.96	0.30
200	261.662	130.83	0.13	700	934.575	467.29	0.47
201	976.094	488.05	0.49	701	459.968	229.98	0.23
202	457.828	228.91	0.23	702	874.497	437.25	0.44
203	910.280	455.14	0.46	703	862.277	431.14	0.43
204	898.827	449.41	0.45	704	934.373	467.19	0.47
205	911.403	455.70	0.46	705	911.651	455.83	0.46
206	850.465	425.23	0.43	706	480.401	240.20	0.24
207	903.686	451.84	0.45	707	789.099	394.55	0.39
208	931.741	465.87	0.47	708	392.845	196.42	0.20
209	203.999	102.00	0.10	709	910.890	455.45	0.46
210	329.774	164.89	0.16	710	896.557	448.28	0.45
211	977.334	488.67	0.49	711	434.849	217.42	0.22
212	908.066	454.03	0.45	712	409.091	204.55	0.20
213	511.631	255.82	0.26	713	881.111	440.56	0.44

214	865.158	432.58	0.43	714	951.280	475.64	0.48
215	378.763	189.38	0.19	715	893.729	446.86	0.45
216	571.542	285.77	0.29	716	241.357	120.68	0.12
217	552.398	276.20	0.28	717	283.362	141.68	0.14
218	830.054	415.03	0.42	718	930.731	465.37	0.47
219	414.426	207.21	0.21	719	876.336	438.17	0.44
220	843.610	421.80	0.42	720	858.873	429.44	0.43
221	378.325	189.16	0.19	721	928.238	464.12	0.46
222	945.576	472.79	0.47	722	851.919	425.96	0.43
223	343.874	171.94	0.17	723	890.653	445.33	0.45
224	957.488	478.74	0.48	724	916.577	458.29	0.46
225	863.912	431.96	0.43	725	942.864	471.43	0.47
226	271.617	135.81	0.14	726	826.145	413.07	0.41
227	839.856	419.93	0.42	727	907.893	453.95	0.45
228	920.089	460.04	0.46	728	977.358	488.68	0.49
229	929.043	464.52	0.46	729	318.513	159.26	0.16
230	892.614	446.31	0.45	730	898.912	449.46	0.45
231	912.968	456.48	0.46	731	867.888	433.94	0.43
232	947.731	473.87	0.47	732	697.574	348.79	0.35
233	284.983	142.49	0.14	733	562.938	281.47	0.28
234	668.692	334.35	0.33	734	923.469	461.73	0.46
235	269.316	134.66	0.13	735	1002.876	501.44	0.50
236	465.403	232.70	0.23	736	454.674	227.34	0.23
237	917.798	458.90	0.46	737	926.899	463.45	0.46
238	918.027	459.01	0.46	738	465.794	232.90	0.23
239	944.195	472.10	0.47	739	996.266	498.13	0.50
240	898.243	449.12	0.45	740	930.272	465.14	0.47
241	310.665	155.33	0.16	741	870.408	435.20	0.44
242	955.287	477.64	0.48	742	919.055	459.53	0.46

243	929.964	464.98	0.46	743	885.067	442.53	0.44
244	610.053	305.03	0.31	744	931.381	465.69	0.47
245	892.422	446.21	0.45	745	848.305	424.15	0.42
246	985.755	492.88	0.49	746	314.502	157.25	0.16
247	917.153	458.58	0.46	747	899.489	449.74	0.45
248	936.579	468.29	0.47	748	951.822	475.91	0.48
249	872.479	436.24	0.44	749	463.325	231.66	0.23
250	880.097	440.05	0.44	750	872.279	436.14	0.44
251	895.022	447.51	0.45	751	922.033	461.02	0.46
252	572.802	286.40	0.29	752	255.237	127.62	0.13
253	922.012	461.01	0.46	753	963.090	481.55	0.48
254	886.009	443.00	0.44	754	924.210	462.11	0.46
255	907.429	453.71	0.45	755	894.737	447.37	0.45
256	689.271	344.64	0.34	756	451.423	225.71	0.23
257	398.638	199.32	0.20	757	884.997	442.50	0.44
258	881.018	440.51	0.44	758	888.325	444.16	0.44
259	851.116	425.56	0.43	759	1000.308	500.15	0.50
260	927.995	464.00	0.46	760	939.547	469.77	0.47
261	926.766	463.38	0.46	761	970.078	485.04	0.49
262	910.476	455.24	0.46	762	911.942	455.97	0.46
263	392.482	196.24	0.20	763	865.161	432.58	0.43
264	211.198	105.60	0.11	764	959.075	479.54	0.48
265	894.890	447.45	0.45	765	881.735	440.87	0.44
266	656.702	328.35	0.33	766	512.406	256.20	0.26
267	960.575	480.29	0.48	767	863.127	431.56	0.43
268	982.056	491.03	0.49	768	915.638	457.82	0.46
269	611.792	305.90	0.31	769	894.697	447.35	0.45
270	930.036	465.02	0.47	770	923.148	461.57	0.46
271	948.315	474.16	0.47	771	1003.656	501.83	0.50

272	900.434	450.22	0.45	772	970.092	485.05	0.49
273	945.546	472.77	0.47	773	891.082	445.54	0.45
274	962.120	481.06	0.48	774	970.826	485.41	0.49
275	893.268	446.63	0.45	775	370.980	185.49	0.19
276	918.986	459.49	0.46	776	279.073	139.54	0.14
277	897.409	448.70	0.45	777	671.840	335.92	0.34
278	223.523	111.76	0.11	778	897.914	448.96	0.45
279	875.338	437.67	0.44	779	890.434	445.22	0.45
280	907.357	453.68	0.45	780	949.545	474.77	0.47
281	888.871	444.44	0.44	781	891.939	445.97	0.45
282	855.180	427.59	0.43	782	872.192	436.10	0.44
283	959.795	479.90	0.48	783	892.268	446.13	0.45
284	934.892	467.45	0.47	784	916.686	458.34	0.46
285	938.449	469.22	0.47	785	195.276	97.64	0.10
286	855.264	427.63	0.43	786	930.053	465.03	0.47
287	899.807	449.90	0.45	787	403.077	201.54	0.20
288	943.088	471.54	0.47	788	881.551	440.78	0.44
289	958.591	479.30	0.48	789	550.682	275.34	0.28
290	910.469	455.23	0.46	790	853.919	426.96	0.43
291	479.362	239.68	0.24	791	909.529	454.76	0.45
292	908.418	454.21	0.45	792	434.664	217.33	0.22
293	312.724	156.36	0.16	793	592.934	296.47	0.30
294	866.031	433.02	0.43	794	468.754	234.38	0.23
295	910.254	455.13	0.46	795	464.910	232.46	0.23
296	958.664	479.33	0.48	796	823.214	411.61	0.41
297	931.707	465.85	0.47	797	944.741	472.37	0.47
298	882.649	441.32	0.44	798	880.186	440.09	0.44
299	923.166	461.58	0.46	799	865.289	432.64	0.43
300	868.677	434.34	0.43	800	445.962	222.98	0.22

301	975.341	487.67	0.49	801	973.603	486.80	0.49
302	989.469	494.73	0.49	802	866.225	433.11	0.43
303	941.372	470.69	0.47	803	937.590	468.80	0.47
304	860.892	430.45	0.43	804	902.982	451.49	0.45
305	877.016	438.51	0.44	805	856.776	428.39	0.43
306	534.295	267.15	0.27	806	944.063	472.03	0.47
307	927.413	463.71	0.46	807	927.480	463.74	0.46
308	945.286	472.64	0.47	808	879.019	439.51	0.44
309	952.758	476.38	0.48	809	932.215	466.11	0.47
310	894.656	447.33	0.45	810	948.873	474.44	0.47
311	900.627	450.31	0.45	811	871.570	435.79	0.44
312	410.515	205.26	0.21	812	832.979	416.49	0.42
313	949.180	474.59	0.47	813	900.307	450.15	0.45
314	876.135	438.07	0.44	814	949.738	474.87	0.47
315	477.977	238.99	0.24	815	915.210	457.61	0.46
316	949.165	474.58	0.47	816	857.079	428.54	0.43
317	924.046	462.02	0.46	817	919.942	459.97	0.46
318	945.209	472.60	0.47	818	966.232	483.12	0.48
319	607.526	303.76	0.30	819	892.290	446.15	0.45
320	911.138	455.57	0.46	820	891.870	445.93	0.45
321	909.882	454.94	0.45	821	711.019	355.51	0.36
322	379.722	189.86	0.19	822	311.496	155.75	0.16
323	866.189	433.09	0.43	823	449.213	224.61	0.22
324	585.331	292.67	0.29	824	342.165	171.08	0.17
325	917.295	458.65	0.46	825	878.737	439.37	0.44
326	603.657	301.83	0.30	826	165.185	82.59	0.08
327	948.336	474.17	0.47	827	953.114	476.56	0.48
328	934.374	467.19	0.47	828	906.857	453.43	0.45
329	861.248	430.62	0.43	829	114.134	43.42	0.04



330	884.989	442.49	0.44	830	235.220	117.61	0.12
331	914.180	457.09	0.46	831	481.495	240.75	0.24
332	935.750	467.87	0.47	832	877.061	438.53	0.44
333	902.170	451.09	0.45	833	385.065	192.53	0.19
334	897.111	448.56	0.45	834	161.809	80.90	0.08
335	821.786	410.89	0.41	835	918.796	459.40	0.46
336	877.352	438.68	0.44	836	847.076	423.54	0.42
337	916.883	458.44	0.46	837	926.790	463.39	0.46
338	945.632	472.82	0.47	838	873.230	436.61	0.44
339	917.897	458.95	0.46	839	873.207	436.60	0.44
340	201.890	100.94	0.10	840	274.999	137.50	0.14
341	911.356	455.68	0.46	841	275.770	137.88	0.14
342	873.633	436.82	0.44	842	339.643	169.82	0.17
343	873.484	436.74	0.44	843	899.930	449.97	0.45
344	372.708	186.35	0.19	844	525.803	262.90	0.26
345	932.333	466.17	0.47	845	937.016	468.51	0.47
346	819.422	409.71	0.41	846	940.003	470.00	0.47
347	533.586	266.79	0.27	847	970.693	485.35	0.49
348	840.101	420.05	0.42	848	883.422	441.71	0.44
349	856.442	428.22	0.43	849	496.787	248.39	0.25
350	892.868	446.43	0.45	850	504.698	252.35	0.25
351	895.203	447.60	0.45	851	891.352	445.68	0.45
352	862.990	431.50	0.43	852	923.974	461.99	0.46
353	863.658	431.83	0.43	853	843.338	421.67	0.42
354	887.920	443.96	0.44	854	878.299	439.15	0.44
355	908.934	454.47	0.45	855	906.376	453.19	0.45
356	964.899	482.45	0.48	856	953.749	476.87	0.48
357	918.113	459.06	0.46	857	425.293	212.65	0.21
358	864.212	432.11	0.43	858	917.147	458.57	0.46

359	935.305	467.65	0.47	859	897.554	448.78	0.45
360	393.469	196.73	0.20	860	872.487	436.24	0.44
361	294.568	147.28	0.15	861	945.596	472.80	0.47
362	330.293	165.15	0.17	862	862.170	431.08	0.43
363	428.002	214.00	0.21	863	445.659	222.83	0.22
364	818.010	409.00	0.41	864	905.532	452.77	0.45
365	660.369	330.18	0.33	865	904.213	452.11	0.45
366	175.888	87.94	0.09	866	825.016	412.51	0.41
367	891.838	445.92	0.45	867	930.387	465.19	0.47
368	345.317	172.66	0.17	868	1030.158	515.08	0.52
369	407.760	203.88	0.20	869	982.121	491.06	0.49
370	905.223	452.61	0.45	870	384.791	192.40	0.19
371	940.415	470.21	0.47	871	513.035	256.52	0.26
372	976.936	488.47	0.49	872	217.316	108.66	0.11
373	896.534	448.27	0.45	873	901.856	450.93	0.45
374	1008.480	504.24	0.50	874	365.031	182.52	0.18
375	893.937	446.97	0.45	875	866.226	433.11	0.43
376	887.935	443.97	0.44	876	945.559	472.78	0.47
377	828.851	414.43	0.41	877	893.110	446.56	0.45
378	871.744	435.87	0.44	878	853.884	426.94	0.43
379	883.933	441.97	0.44	879	481.338	240.67	0.24
380	311.198	155.60	0.16	880	874.158	437.08	0.44
381	946.377	473.19	0.47	881	967.147	483.57	0.48
382	301.295	150.65	0.15	882	381.180	190.59	0.19
383	873.126	436.56	0.44	883	880.123	440.06	0.44
384	934.383	467.19	0.47	884	939.942	469.97	0.47
385	862.612	431.31	0.43	885	263.851	131.93	0.13
386	902.719	451.36	0.45	886	913.731	456.87	0.46
387	933.005	466.50	0.47	887	980.451	490.23	0.49

388	946.039	473.02	0.47	888	603.374	301.69	0.30
389	957.825	478.91	0.48	889	392.809	196.40	0.20
390	459.725	229.86	0.23	890	912.835	456.42	0.46
391	553.659	276.83	0.28	891	951.630	475.82	0.48
392	948.734	474.37	0.47	892	902.347	451.17	0.45
393	899.832	449.92	0.45	893	949.246	474.62	0.47
394	886.001	443.00	0.44	894	462.923	231.46	0.23
395	902.624	451.31	0.45	895	922.818	461.41	0.46
396	933.138	466.57	0.47	896	842.513	421.26	0.42
397	890.580	445.29	0.45	897	869.064	434.53	0.43
398	473.499	236.75	0.24	898	418.483	209.24	0.21
399	876.845	438.42	0.44	899	933.066	466.53	0.47
400	871.266	435.63	0.44	900	904.344	452.17	0.45
401	971.985	485.99	0.49	901	920.469	460.23	0.46
402	903.654	451.83	0.45	902	930.739	465.37	0.47
403	914.263	457.13	0.46	903	305.358	152.68	0.15
404	917.798	458.90	0.46	904	964.848	482.42	0.48
405	842.918	421.46	0.42	905	884.933	442.47	0.44
406	888.185	444.09	0.44	906	922.926	461.46	0.46
407	894.415	447.21	0.45	907	921.034	460.52	0.46
408	419.385	209.69	0.21	908	935.173	467.59	0.47
409	895.224	447.61	0.45	909	419.393	209.70	0.21
410	914.180	457.09	0.46	910	877.528	438.76	0.44
411	870.929	435.46	0.44	911	903.376	451.69	0.45
412	936.091	468.05	0.47	912	958.166	479.08	0.48
413	919.422	459.71	0.46	913	935.878	467.94	0.47
414	850.007	425.00	0.43	914	948.152	474.08	0.47
415	876.910	438.45	0.44	915	898.255	449.13	0.45
416	860.101	430.05	0.43	916	898.288	449.14	0.45

417	926.030	463.01	0.46	917	939.561	469.78	0.47
418	919.842	459.92	0.46	918	245.795	122.90	0.12
419	871.807	435.90	0.44	919	945.857	472.93	0.47
420	914.031	457.02	0.46	920	866.298	433.15	0.43
421	962.670	481.34	0.48	921	249.186	124.59	0.12
422	927.383	463.69	0.46	922	921.587	460.79	0.46
423	915.709	457.85	0.46	923	417.446	208.72	0.21
424	363.193	181.60	0.18	924	404.715	202.36	0.20
425	861.218	430.61	0.43	925	901.645	450.82	0.45
426	899.477	449.74	0.45	926	546.748	273.37	0.27
427	877.936	438.97	0.44	927	817.857	408.93	0.41
428	277.066	138.53	0.14	928	864.690	432.34	0.43
429	508.092	254.05	0.25	929	865.937	432.97	0.43
430	935.717	467.86	0.47	930	860.037	430.02	0.43
431	191.579	95.79	0.10	931	902.195	451.10	0.45
432	941.284	470.64	0.47	932	431.490	215.75	0.22
433	321.559	160.78	0.16	933	456.492	228.25	0.23
434	910.550	455.28	0.46	934	344.337	172.17	0.17
435	885.384	442.69	0.44	935	815.434	407.72	0.41
436	493.738	246.87	0.25	936	925.113	462.56	0.46
437	896.650	448.32	0.45	937	515.688	257.84	0.26
438	378.967	189.48	0.19	938	920.734	460.37	0.46
439	910.849	455.42	0.46	939	913.899	456.95	0.46
440	900.731	450.37	0.45	940	933.939	466.97	0.47
441	287.028	143.51	0.14	941	934.618	467.31	0.47
442	287.656	143.83	0.14	942	630.825	315.41	0.32
443	414.737	207.37	0.21	943	699.049	349.52	0.35
444	205.171	102.59	0.10	944	889.166	444.58	0.44
445	872.904	436.45	0.44	945	820.343	410.17	0.41

446	935.367	467.68	0.47	946	935.300	467.65	0.47
447	903.276	451.64	0.45	947	931.598	465.80	0.47
448	888.697	444.35	0.44	948	894.461	447.23	0.45
449	941.316	470.66	0.47	949	561.364	280.68	0.28
450	348.361	174.18	0.17	950	912.171	456.09	0.46
451	951.267	475.63	0.48	951	515.029	257.51	0.26
452	361.543	180.77	0.18	952	877.352	438.68	0.44
453	888.186	444.09	0.44	953	859.510	429.75	0.43
454	403.834	201.92	0.20	954	891.635	445.82	0.45
455	894.820	447.41	0.45	955	995.063	497.53	0.50
456	138.464	63.91	0.06	956	922.937	461.47	0.46
457	924.668	462.33	0.46	957	981.669	490.83	0.49
458	938.378	469.19	0.47	958	516.634	258.32	0.26
459	953.607	476.80	0.48	959	890.052	445.03	0.45
460	988.218	494.11	0.49	960	279.051	139.53	0.14
461	886.219	443.11	0.44	961	923.185	461.59	0.46
462	577.387	288.69	0.29	962	901.075	450.54	0.45
463	352.313	176.16	0.18	963	939.995	470.00	0.47
464	886.674	443.34	0.44	964	989.862	494.93	0.49
465	898.706	449.35	0.45	965	957.315	478.66	0.48
466	924.091	462.05	0.46	966	866.766	433.38	0.43
467	328.503	164.25	0.16	967	103.661	35.82	0.04
468	909.505	454.75	0.45	968	891.990	445.99	0.45
469	888.184	444.09	0.44	969	480.562	240.28	0.24
470	436.347	218.17	0.22	970	495.432	247.72	0.25
471	960.281	480.14	0.48	971	821.341	410.67	0.41
472	899.415	449.71	0.45	972	346.075	173.04	0.17
473	874.092	437.05	0.44	973	921.792	460.90	0.46
474	961.462	480.73	0.48	974	921.936	460.97	0.46

475	908.707	454.35	0.45	975	892.366	446.18	0.45
476	876.452	438.23	0.44	976	836.519	418.26	0.42
477	936.711	468.36	0.47	977	935.387	467.69	0.47
478	890.696	445.35	0.45	978	893.789	446.89	0.45
479	893.989	446.99	0.45	979	967.754	483.88	0.48
480	912.100	456.05	0.46	980	947.544	473.77	0.47
481	853.146	426.57	0.43	981	848.302	424.15	0.42
482	523.155	261.58	0.26	982	892.844	446.42	0.45
483	897.728	448.86	0.45	983	842.782	421.39	0.42
484	941.924	470.96	0.47	984	904.043	452.02	0.45
485	866.045	433.02	0.43	985	929.356	464.68	0.46
486	367.271	183.64	0.18	986	921.546	460.77	0.46
487	874.775	437.39	0.44	987	382.994	191.50	0.19
488	654.220	327.11	0.33	988	933.648	466.82	0.47
489	864.578	432.29	0.43	989	221.587	110.79	0.11
490	935.570	467.79	0.47	990	868.024	434.01	0.43
491	865.196	432.60	0.43	991	919.425	459.71	0.46
492	861.294	430.65	0.43	992	926.935	463.47	0.46
493	850.201	425.10	0.43	993	853.186	426.59	0.43
494	400.435	200.22	0.20	994	921.397	460.70	0.46
495	556.340	278.17	0.28	995	947.413	473.71	0.47
496	333.835	166.92	0.17	996	528.072	264.04	0.26
497	871.607	435.80	0.44	997	387.846	193.92	0.19
498	551.440	275.72	0.28	998	503.151	251.58	0.25
499	644.554	322.28	0.32	999	844.807	422.40	0.42
500	870.556	435.28	0.44	1000	613.005	306.50	0.31



Penulis lahir di Dusun Sendi, Desa Sumbergedang, Kecamatan Pandaan, Kabupaten Pasuruan, Jawa Timur, pada 18 Februari 2000. Putra dari Bapak Sukatno dan Ibu Walipah. Penulis menempuh pendidikan di SMPN 2 Pandaan, Kabupaten Pasuruan, Jawa Timur dan lulus tahun 2015, lalu penulis melanjutkan pendidikan di SMKN 1 Gempol, Kabupaten Pasuruan, Jawa Timur dan mengambil jurusan Teknik Komputer dan Jaringan dan lulus pada tahun 2018. Lalu, penulis melanjutkan pendidikan di ITN Malang pada tahun 2018, dengan memilih Fakultas Teknik Industri, Program Studi Teknik Elektro S-1, Konsentrasi Energi Listrik. Selama menjadi mahasiswa diperguruan tinggi penulis aktif dalam berorganisasi. Antara lain, anggota Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro S-1, pada periode pertama penulis menjadi anggota sosial mahasiswa dan pada periode ke dua menjabat sebagai ketua bidang Sosial Mahasiswa. Penulis juga aktif di komunitas robotika dan menjabat sebagai ketua divisi KRSTI. Penulis juga memiliki pengalaman menjadi Asisten Laboratorium Simulasi Sistem Tenaga Listrik pada tahun 2018 hingga 2022 dan menjabat sebagai koordinator asisten laboratorium pada periode 2021/2022. Pada tahun 2021 penulis melaksanakan Kerja Praktek di PT. Industri Kereta Api (Persero) selama 1 bulan dan dapat menyelesaikan laporan Kerja Praktek yang berjudul “Electrical Insulation Test Pada Gerbong MC 1 LRT Jabodebek”. Pada tahun yang sama, penulis juga melaksanakan Kerja Praktek di PT. PLN (Persero) ULP Dinoyo selama 1 bulan dan dapat menyelesaikan laporan Kerja Praktek yang berjudul “Fungsi Recloser Pada Sistem Distribusi 20 kV”.