

**ANALISA PENEMPATAN DAN KAPASITAS DISTRIBUTED
GENERATION TERHADAP PROFIL TEGANGAN DAN RUGI
DAYA PADA PENYULANG 2 GI WELERI MENGGUNAKAN
ETAP 12.6.0**

LAPORAN TUGAS AKHIR

LAPORAN INI DISUSUN UNTUK MEMENUHI SALAH SATU SYARAT
MEMPEROLEH GELAR S1 PADA PRODI TEKNIK ELEKTRO FAKULTAS
TEKNOLOGI INDUSTRI UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG



Disusun oleh :
YUNITA NUR CAHYANI
NIM. 30602200065

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG**

2024

FINAL PROJECT

**ANALYSIS PLACEMENT AND CAPACITY OF DISTRIBUTED
GENERATION ON VOLTAGE PROFILE AND POWER LOSS IN
FEEDER 2 GI WELERI USING ETAP 12.6.0**

*Proposed to complete the requirement to obtain a bachelor's degree (SI) at
Department of Electrical Engineering, Faculty of Industrial Technology,
Universitas Islam Sultan Agung*



Arrange by :
YUNITA NUR CAHYANI
NIM. 30602200065

**DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
UNIVERSITY OF ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG
2024**

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Laporan Tugas Akhir dengan judul “**ANALISA PENEMPATAN DAN KAPASITAS DISTRIBUTED GENERATION TERHADAP PROFIL TEGANGAN DAN RUGI DAYA PADA PENYULANG 2 GI WELERI MENGGUNAKAN ETAP 12.6.0**” ini disusun oleh:

Nama : Yunita Nur Cahyani
NIM : 30602200065
Program Studi : Teknik Elektro

Telah disahkan dan disetujui oleh dosen pembimbing pada:

Hari : Jumat
Tanggal : 26 Juli 2024

Pembimbing I

Pembimbing II


Dedi Nugroho, S.T., M.T.
NIDN. 0617126602


Dr. Ir. H. Muhamad Haddin, M.T.
NIDN : 0618066301

Mengetahui,

Ka. Program Studi Teknik Elektro



Jenny Putri Hapsari, S.T., M.T.
NIDN. 0607018501

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Laporan Tugas Akhir dengan judul “ANALISA PENEMPATAN DAN KAPASITAS DISTRIBUTED GENERATION TERHADAP PROFIL TEGANGAN DAN RUGI DAYA PADA PENYULANG 2 GI WELERI MENGGUNAKAN ETAP 12.6.0” ini telah dipertahankan di depan Penguji sidang Tugas Akhir pada:

Hari : Senin
Tanggal : 22 Juli 2024

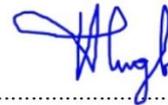
Tim Penguji

Tanda Tangan

Ir. Arief Marwanto, S.T., M.Eng., Ph.D
NIDN. 0628097501
Ketua



Dedi Nugroho, S.T., M.T.
NIDN : 0617126602
Penguji I



Prof. Dr. Ir. H. Muhamad Haddin, M.T.
NIDN : 0618066301
Penguji II



SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Yunita Nur Cahyani

NIM : 30602200065

Jurusan : Teknik Elektro

Fakultas : Fakultas Teknologi Industri

Dengan ini saya menyatakan bahwa Tugas Akhir yang diajukan dengan judul **“ANALISA PENEMPATAN DAN KAPASITAS DISTRIBUTED GENERATION TERHADAP PROFIL TEGANGAN DAN RUGI DAYA PADA PENYULANG 2 GI WELERI MENGGUNAKAN ETAP 12.6.0”** adalah hasil karya sendiri, tidak pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di perguruan tinggi lain maupun ditulis dan diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam daftar pustaka. Tugas Akhir ini adalah milik saya segala bentuk kesalahan dan kekeliruan dalam Tugas Akhir ini adalah tanggung jawab saya.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sadar dan penuh tanggung jawab.

Semarang, 26 Juli 2024

Yang Menyatakan



Yunita Nur Cahyani

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Yunita Nur Cahyani

NIM : 30602200065

Program Studi : Teknik Elektro

Fakultas : Teknologi Industri

Dengan ini saya menyerahkan karya ilmiah berupa Tugas Akhir dengan judul **“ANALISA PENEMPATAN DAN KAPASITAS DISTRIBUTED GENERATION TERHADAP PROFIL TEGANGAN DAN RUGI DAYA PADA PENYULANG 2 GI WELERI MENGGUNAKAN ETAP 12.6.0”** dan menyetujui menjadi hak milik Universitas Islam Sultan Agung serta memberikan hak bebas royalti non-eksklusif untuk disimpan, dialih mediakan, dikelola dalam pangkalan data dan publikasinya di internet atau media lain untuk kepentingan akademis selama tetap mencantumkan nama penulis sebagai pemilik Hak Cipta.

Pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguh. Apabila dikemudian hari terbukti ada pelanggaran Hak Cipta/ Plagiarisme dalam karya ilmiah ini, maka segala bentuk tuntutan hukum yang timbul akan saya tanggung secara pribadi tanpa melibatkan pihak Universitas Islam Sultan Agung

Semarang, 26 Juli 2024

Yang Menyatakan



Yunita Nur Cahyani

HALAMAN PERSEMBAHAN

Laporan Tugas Akhir saya persembahkan untuk :

Orang tua dan pasangan saya yang telah memberikan dukungan dan segala perjuangan yang tiada batasnya.

Diri saya sendiri yang telah mampu melewati fase hidup hingga sekarang, khususnya mampu melewati fase kuliah dan kerja yang selalu lembur pulang malam. Terima kasih sudah berani dan tidak mudah menyerah begitu saja.

Teman seperjuangan saya terimakasih banyak buat bantuan, semangat dan ilmu yang kalian bagi kepada saya.



HALAMAN MOTTO

Ujian atau cobaan berat dan susah apapun itu, kamu pasti bisa melaluinya dan menyelesaikannya. Karena “Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan” (Q.S. Al-Insyirah: 6) dan “Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya...” (Q.S. Al-Baqarah: 286)

Percayalah pada Tuhanmu dan dirimu. Kamu Bisa!!!



KATA PENGANTAR

Puji syukur tercurahkan ke hadirat Allah SWT, yang telah memberikan nikmat dan karunia-Nya. Sholawat dan salam tercurahkan kepada Nabi Besar Muhammad Shalallahu 'alaihi wa sallam sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Laporan Tugas Akhir ini.

Laporan ini merupakan syarat untuk menyelesaikan Tugas Akhir. Selain itu, Laporan Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat wajib untuk memperoleh gelas Sarjana, Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung. Dalam proses penyusunan Laporan Tugas Akhir ini, penulis tidak lepas dari bimbingan, bantuan, dorongan, dan kerjasama dari berbagai pihak. Oleh sebab itu, penulis sangat berterima kasih kepada:

1. Jenny Putri Hapsari, S.T., M.T selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung, Semarang,
2. Dedi Nugroho, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing pertama Tugas Akhir yang telah memberikan arahan, bimbingan dan masukan dalam penyusunan laporan ini,
3. Prof. Dr. Ir. H. Muhamad Haddin, M.T. selaku Dosen Pembimbing kedua Tugas Akhir yang telah memberikan bimbingan dan masukan dalam penyusunan laporan ini,
4. Setya Veraliyani S.T., M.T. selaku Manager PT. PLN (Persero) ULP Weleri
5. Amrul Arifin S.T. selaku Supervisor bagian Teknik sekaligus sebagai mentor yang selalu mengarahkan dan memberi pertanyaan supaya mendapat ilmu yang banyak selama magang,
6. Mahfud A.P. selaku Supervisor bagian Transaksi Energi yang selalu memberikan masukan yang membangun selama magang,

7. Rahmat Waisyal Saryf S.T. selaku staff bagian teknis sekaligus sebagai co-mentor yang selalu membimbing dan mengarahkan dalam pembuatan projek akhir,
8. Seluruh Staff dan Karyawan PT. PLN (Persero) ULP Weleri yang menerima dengan baik dan selalu berbagi ilmu selama magang,
9. Kedua orang tua, keluarga dan saudara saya yang selalu mendukung dan mendo'akan agar dimudahkan segala urusan saya.
10. Nasrul Rochmadi yang selalu memberi dukungan dan semangat yang baik berupa materi, teori dan moral dalam menyelesaikan laporan ini.
11. Teman – teman mahasiswa Teknik Elektro angkatan 2022 khususnya Mas Amin, Mas Cliffy, Mas Lutfi, Mba Tukah, Mba Aini yang telah memberikan dukungan untuk menyelesaikan laporan ini,
12. Berbagai pihak yang telah membantu dan memberikan dukungan selama pelaksanaan dan penulisan laporan ini.

Penulis menyadari bahwa masih ada kekurangan dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir ini. Oleh sebab itu, penulis mengharapkan kritik dan saran untuk penyempurnaan laporan ini. Sebagai kata penutup diharapkan Laporan Tugas akhir ini dapat digunakan sebagai referensi dalam pembuatan laporan dengan tema yang serupa dan dapat menunjang perkembangan ilmu pengetahuan bagi pembaca.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	I
HALAMAN JUDUL	II
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING	III
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI	IV
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	V
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	VI
HALAMAN PERSEMBAHAN	VII
HALAMAN MOTTO	VIII
KATA PENGANTAR	IX
DAFTAR ISI	XI
DAFTAR TABEL	XIII
DAFTAR GAMBAR	XIV
DAFTAR LAMPIRAN	XV
ABSTRAK	XVI
ABSTRACT	XVII
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Pembatasan Masalah	2
1.4 Tujuan	3
1.5 Manfaat	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	5
2.1 Tinjauan Pustaka	5
2.2 Landasan Teori	7
2.2.1 Jaringan Distribusi Sistem Radial	8
2.2.2 Rekonfigurasi Jaringan	10
2.2.3 Kapasitor	11
2.2.4 Distributed Generation (DG)	11
2.2.5 Distribution Generation Hosting Capacity (DG HC)	12
2.2.6 Studi Aliran Daya atau Segitiga Daya	14
2.2.7 Sel Surya atau Photovoltaic	16
BAB III METODE PENELITIAN	23
3.1 Model Penelitian	23
3.2 Alat Dan Bahan Penelitian	24
3.3 Data Penelitian	24
3.3.1 Data Spesifikasi DG Photovoltaic pada sistem WLI02	24
3.3.2 Data Spesifikasi DC – DC Converter	25
3.3.3 Data Spesifikasi Inverter DC – AC	25
3.4 Data Pengukuran Beban	26
3.5 Flowchart Penelitian	27
BAB IV HASIL PENELITIAN & PEMBAHASAN	31
4.1 Gambaran Umum	31
4.2 Analisis Aliran Daya pada Sistem Distribusi Penyulang WLI02	33
4.3 Analisa Pemasangan Distributed Generation	41
4.4 Pemasangan Distributed Generation PV Pada SEC 3 WLI 02 – BUS 4	42
4.5 Pemasangan Distributed Generation PV Pada SEC 5 WLI 02 – BUS 6	45

4.6 Pemasangan Distributed Generation PV Pada SEC 15 WLI 02 – BUS 13	48
BAB V PENUTUP	52
5.1 Kesimpulan	52
5.2 Saran	53
DAFTAR PUSTAKA.....	54
LAMPIRAN.....	56



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Jenis dan Kapasitas Pembangkit.....	12
Tabel 3.1	Spesifikasi DG Photovoltaic pada Sistem Distribusi WLI02	24
Tabel 3.2	Data Spesifikasi DC - DC Converter.....	25
Tabel 3.3	Data Spesifikasi Inverter DC – AC.....	26
Tabel 3.4	Data Pengukuran Beban	26
Tabel 3.5	Data Pengukuran Beban puncak.....	36
Tabel 4.1	Hasil Analisis Load Flow pada Sistem Distribusi Radial WLI02.....	35
Tabel 4.6	Rugi Daya pemasangan PV Pada SEC 3 WLI 02 – BUS 4	42
Tabel 4.7	Hasil Tegangan pemasangan PV Pada SEC 3 WLI 02 – BUS 4.....	43
Tabel 4.8	Rugi Daya pemasangan PV Pada SEC 5 WLI 02 – BUS 6.....	45
Tabel 4.9	Hasil Tegangan pemasangan PV Pada SEC 5 WLI 02 – BUS 6.....	46
Tabel 4.10	Rugi Daya pemasangan PV Pada SEC 15 WLI 02 – BUS 13	48
Tabel 4.11	Hasil Tegangan pemasangan PV Pada SEC 15 WLI 02 – BUS 13.....	50



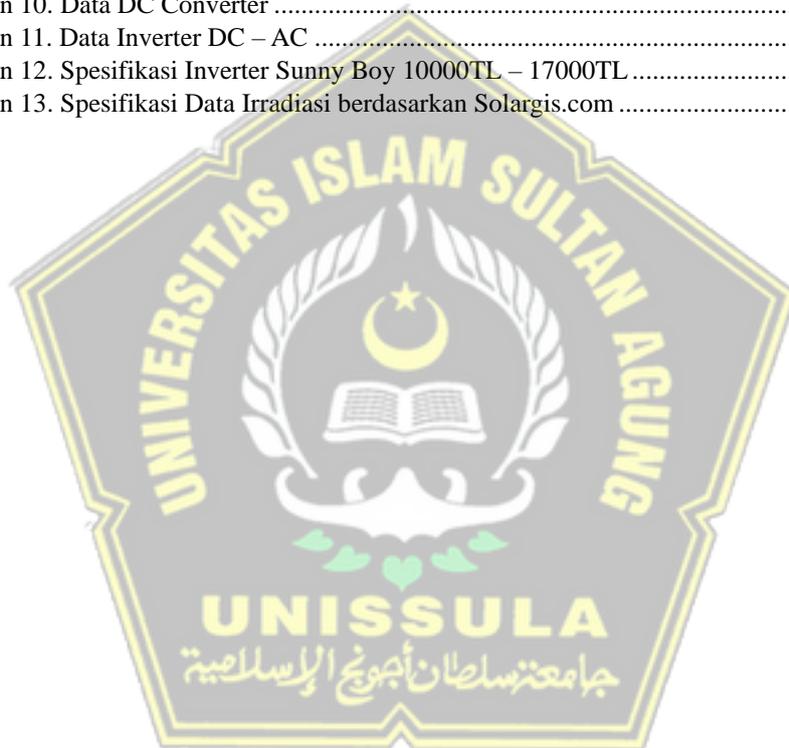
DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sistem Distribusi Radial tipe pohon	9
Gambar 2.2 Sistem Distribusi tipe radial standar IEEE 33-Bus.....	10
Gambar 2.3 Rangkaian Distributed Generation (DG).....	12
Gambar 2.4 Segitiga Daya.	15
Gambar 2.5 Grafik Cos Phi.	16
Gambar 2.6 Rangkaian Panel Surya.....	17
Gambar 2.7 Inverter DC - AC Sunny Tripower 1000TL - 17000TL.....	21
Gambar 3.1 Single Line Diagram Jaringan Weleri.....	23
Gambar 3.2 Cara kerja Penambahan PV	27
Gambar 4.1 Sistem Distribusi Weleri	32
Gambar 4.2 Simulasi Aliran Beban Penyulang WLI02.....	33
Gambar 4.3 Simulasi Load Flow Analysis Penyulang WLI02.....	34
Gambar 4.4 Load Flow Analysis Penambahan PV di Bus 4	44
Gambar 4.5 Load Flow Analysis Penambahan PV di Bus 6	48
Gambar 4.6 Load Flow Analysis Penambahan PV di Bus 13	51



DAFTAR LAMPIRAN

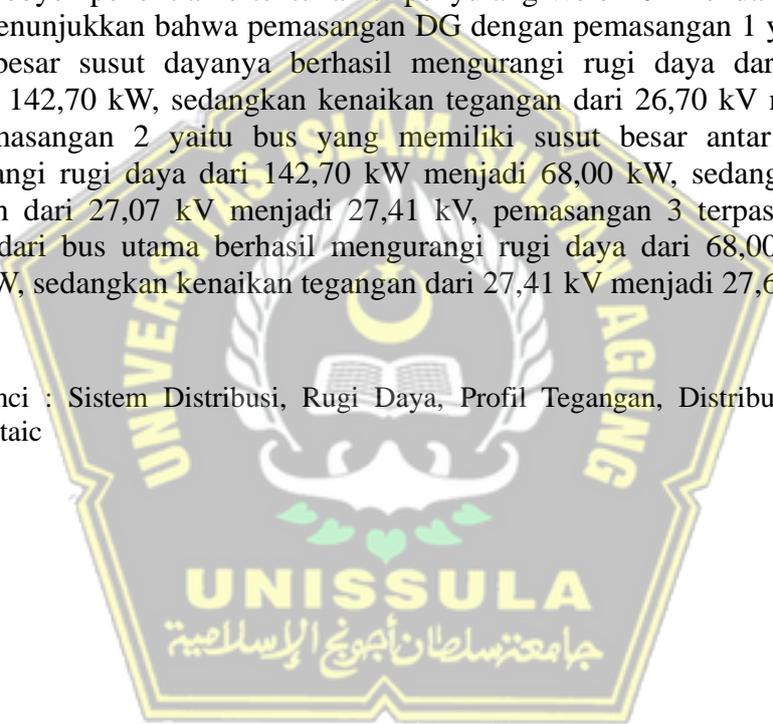
Lampiran 1. Data Spesifikasi Jaringan.....	56
Lampiran 2. Single Line Diagram JTM Weleri	57
Lampiran 3. Data Pengukuran Beban di lapangan	58
Lampiran 4. Data Branch for details Resistansi dan Reaktansi	59
Lampiran 5. Data Branch for details Daya Aktif dan Daya Reaktif	59
Lampiran 6. Data Etap Sebelum Load Flow	60
Lampiran 7. Data Load Flow Analisis.....	61
Lampiran 8. Data Load Flow Analisis Penambahan PV	62
Lampiran 9. Data Distributed Generation/ Photovoltaic	63
Lampiran 10. Data DC Converter	68
Lampiran 11. Data Inverter DC – AC	69
Lampiran 12. Spesifikasi Inverter Sunny Boy 10000TL – 17000TL	72
Lampiran 13. Spesifikasi Data Irradiasi berdasarkan Solargis.com	74



Abstrak

Sistem Distribusi 20 kV memiliki permasalahan jatuh tegangan dan rugi daya, hal ini disebabkan oleh meningkatnya beban listrik. Penelitian ini membahas tentang penempatan dan kapasitas *distributed generation* (DG) terhadap profil tegangan dan rugi daya pada penyulang distribusi 20 kV menggunakan ETAP 12.6.0. Model penelitian ditetapkan sebagai sebuah *single line diagram* jaringan 20 kV Weleri WL 02. Parameter yang ditentukan: data beban, spesifikasi *photovoltaic* (PV), DC-DC *converter* dan *inverter*. Metode yang digunakan adalah memasang PV sebagai DG atau pembangkit tersebar yang memiliki kapasitas daya yang lebih kecil dari pembangkit utama. Pemasangan PV berdasarkan susut daya paling besar antar bus, susut daya yang besar antar bus, dan bus terjauh dari bus utama. Sebagai obyek penelitian ditentukan di penyulang Weleri 02 Kendal Jawa Tengah. Hasil menunjukkan bahwa pemasangan DG dengan pemasangan 1 yaitu bus yang paling besar susut dayanya berhasil mengurangi rugi daya dari 195,10 kW menjadi 142,70 kW, sedangkan kenaikan tegangan dari 26,70 kV menjadi 27,07 kV, pemasangan 2 yaitu bus yang memiliki susut besar antar bus berhasil mengurangi rugi daya dari 142,70 kW menjadi 68,00 kW, sedangkan kenaikan tegangan dari 27,07 kV menjadi 27,41 kV, pemasangan 3 terpasang pada bus terjauh dari bus utama berhasil mengurangi rugi daya dari 68,00 kW menjadi 16,20 kW, sedangkan kenaikan tegangan dari 27,41 kV menjadi 27,61 kV.

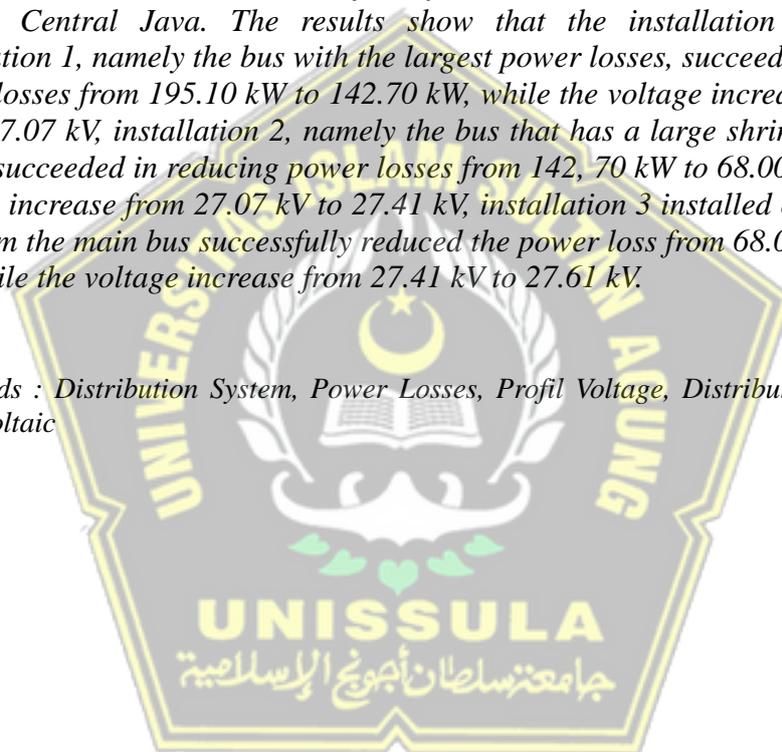
Kata kunci : Sistem Distribusi, Rugi Daya, Profil Tegangan, Distributed Generation Photovoltaic



Abstract

The 20 kV Distribution System has problems of voltage drop and power loss, this is due to the increase in electrical load. This research discusses the placement and capacity of distributed generation (DG) on the voltage profile and power loss in 20 kV distribution lines using ETAP 12.6.0. The research model is set as a single line diagram of 20 kV Weleri WL 02 network. The parameters specified: load data, photovoltaic (PV) specifications, DC-DC converter and inverter. The method used is to install PV as DG or dispersed generation that has a smaller power capacity than the main generator. PV installation is based on the largest power losses between buses, large power losses between buses, and the farthest bus from the main bus. As the object of research, it is determined in Weleri 02 Kendal Central Java. The results show that the installation of DG with installation 1, namely the bus with the largest power losses, succeeded in reducing power losses from 195.10 kW to 142.70 kW, while the voltage increase from 26.70 kV to 27.07 kV, installation 2, namely the bus that has a large shrinkage between buses, succeeded in reducing power losses from 142, 70 kW to 68.00 kW, while the voltage increase from 27.07 kV to 27.41 kV, installation 3 installed on the farthest bus from the main bus successfully reduced the power loss from 68.00 kW to 16.20 kW, while the voltage increase from 27.41 kV to 27.61 kV.

Keywords : Distribution System, Power Losses, Profil Voltage, Distributed Generation, Photovoltaic



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

PT PLN sering mengadopsi Sistem Distribusi Radial karena kelebihan yang termasuk sederhana dan mudah dalam penggunaan serta pemasangannya. Namun, setiap sistem memiliki keunggulan dan kelemahan. Dari sisi kelemahan, Sistem Distribusi Radial tidak menjamin kontinuitas penyaluran listrik karena kurangnya backup daya. Selain itu, kualitas daya yang disalurkan juga kurang optimal akibat rugi tegangan dan daya yang relatif tinggi. Hal yang serupa terjadi pada Sistem Distribusi Jaringan 20 KV Weleri, di mana masalah muncul karena beban listrik yang melebihi kapasitas, panjang penghantar, diameter penghantar, dan hambatan yang bisa mengakibatkan penurunan tegangan. Selain itu, ada rugi daya dalam jaringan karena hanya ada satu sistem transmisi yang terhubung ke satu Gardu Induk dalam sistem distribusi radial.

Akibat dari permasalahan tersebut maka pada jaringan penyulang Weleri salah satunya Penyulang WLI02 sering terjadi gangguan padam total (*blackout*) karena panjang penghantarnya, beban di ujung penyulang dan melebihi kapasitas supply daya sehingga dapat mengakibatkan jatuh tegangan dan . Energi listrik yang terhubung di Penyulang WLI02 akan di salurkan ke konsumen sesuai wilayah kerja saluran.

Solusinya adalah bagaimana mengurangi jatuh tegangan dan rugi – rugi daya (*Power Losses*) dengan menambahkan pembangkit tersebar atau pemasangan DG (*Distributed Generation*) [1]. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengurangi kerugian dari segi konsumen dapat mengoptimalkan penggunaan listrik tanpa ada pemadaman, sedangkan dari segi produsen (PLN) tidak perlu adanya pemecahan beban dan mendirikan feeder baru.

Distributed Generation atau pembangkit tersebar dihasilkan dari energi terbarukan seperti dari tenaga angin atau *wind turbin*, tenaga sinar

matahari atau *Photovoltaic*, dan hasil olahan sampah menjadi sumber energi. Dalam penelitian memilih *Distributed Energy Resource* (DER) *Photovoltaic* (Sinar Matahari) sebagai sumber energi. Namun pembangkit panel surya memiliki kelemahan yaitu adanya *intermitency* atau memiliki hasil energi yang selalu naik turun terpengaruhi oleh panas sinar matahari [2].

Dilakukan simulasi *Load Flow Analysis* menggunakan ETAP 12.6.0 hasil dari simulasi tersebut dapat diketahui *section* atau *bus* mana saja yang perlu adanya penambahan *Distributed Generation* dengan cara menginjeksi atau menambah daya untuk memperbaiki profil tegangan. Dalam penelitian dilakukan injeksi daya nyata (P) untuk memperbaiki profil tegangan. Penempatan *Distributed Generation* yang baik diletakkan di pusat – pusat beban.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas dapat dirumuskan masalah yang akan di bahas pada laporan berikut :

1. Bagaimana menentukan lokasi yang optimal dan kapasitas DG pada sistem distribusi untuk mengurangi potensi gangguan ?
2. Apakah pengaruh penambahan pembangkit tersebar (DG) terhadap perbaikan profil tegangan dan mengurangi jatuh tegangan ?
3. Bagaimana nilai kenaikan profil tegangan setelah penambahan pembangkit tersebar (DG) ?
4. Berapa besar penurunan rugi daya yang dapat diminimalkan dengan adanya pemasangan pembangkit tersebar (DG) ?

1.3 Pembatasan Masalah

Dalam penyusunan laporan tugas akhir, penulis membatasi masalah yang tidak akan dibahas :

1. Laporan tugas akhir ini tidak membahas dampak kestabilan sistem distribusi karena penambahan pembangkit tersebar (*Distributed Generation*).
2. Biaya yang dihitung berdasarkan rumus matematis simulasi menggunakan percobaan di ETAP 12.6.0, bukan survei langsung atau masih perencanaan.
3. Penelitian ini tidak meninjau kekangan arus pada saluran distribusi adanya penetrasi pembangkit tersebar (DG).
4. Penentuan lokasi dan kapasitas pembangkit hanya berdasarkan analisis dan hasil simulasi menggunakan ETAP 12.6.0.

1.4 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah, tujuan yang diinginkan antara lain :

1. Mengetahui lokasi yang optimal dan kapasitas pembangkit tersebar (DG) pada sistem distribusi.
2. Mengetahui pengaruh penambahan pembangkit tersebar (DG) terhadap profil tegangan.
3. Mengetahui besar kenaikan profil tegangan setelah penambahan pembangkit tersebar (DG) untuk mengurangi kerugian dari segi produsen dan konsumen.
4. Mengetahui penurunan rugi daya setelah penambahan pembangkit tersebar (DG).

1.5 Manfaat

Penelitian diharapkan dapat digunakan sebagai berikut :

1. Memberikan gambaran dan perencanaan untuk perbaikan profil tegangan dengan pembangkit tersebar dari energi terbarukan.
2. Memberikan informasi yang digunakan untuk menentukan posisi dan kapasitas pembangkit tersebar di sistem distribusi.
3. Memperkenalkan sistem pembangkit tersebar (DG) untuk memberikan gambaran adanya solusi untuk penambahan energi listrik terbarukan.

1.6 Sistematika Penulisan

BAB I : PENDAHULUAN

Pada bab ini mengulas latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

Bab ini membahas tinjauan pustaka, dasar teori sistem tenaga listrik, sistem jaringan distribusi, *distributed generation*, penambahan pembangkit baru pada beban menggunakan simulasi *Load Flow Analysis*.

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan langkah – langkah penelitian, metode yang digunakan dalam penelitian meliputi lokasi penelitian, data penelitian beban penyulang WLI02, *flowchart* dan skenario untuk menentukan *Losses* dan parameter – parameter penyebab *blackout* (jatuh tegangan), simulasi beban sistem distribusi menggunakan ETAP, menentukan letak lokasi pembangkit tersebar pada beban – beban tertentu untuk mensuplai daya listrik.

BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini mengulas hasil penelitian yang telah dilakukan terkait penempatan dan kapasitas *Distributed Generation* (DG) terhadap profil tegangan dan untuk mengurangi rugi daya. Perhitungan dan perbandingan sebelum dan sesudah dilakukan simulasi penambahan pembangkit tersebar.

BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini mengulas penarikan kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan dan saran yang berdasarkan kesimpulan penelitian.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Dalam penyusunan penelitian ini, berikut uraian atau penelitian yang berkaitan dengan Analisa Penempatan dan Kapasitas *Distributed Generation* (DG) terhadap Profil Tegangan dan Rugi Daya.

a. Analisa Teknologi Fotovoltaik sebagai Distributed Generation (DG) Pada Sistem Distribusi menggunakan Software Electric Transient and Analysis Program (ETAP)

Hasil penelitian ini dapat dijadikan pedoman dalam memilih pembangkit listrik alternatif, terutama untuk wilayah terpencil. Photovoltaic (sel surya) adalah perangkat yang mampu mengubah sinar matahari menjadi energi listrik. Cara yang bisa dilakukan untuk mengurangi *power Losses* atau tegangan jatuh, perlu penambahan pembangkit tersebar yang disebut dengan *Distributed Generation*[3].

b. Simulasi dan Analisa Pemasangan Distributed Generation Pada Sistem Distribusi 20 KV menggunakan ETAP 19.0

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa saluran terpanjang dan terjauh bagi PT. PLN (Persero) Rayon Meulaboh adalah Gardu Hubung Lamno dengan panjang jalur 145 km. Dalam wilayah pelayanan perkotaan tersebut terjadi penurunan tegangan sebesar 18%, di mana tegangan transmisi dari gardu induk adalah 20 kV dan tegangan terima minimum adalah 16 kV. Menurut SPLN No. 72 Tahun 1987, penurunan tegangan yang diijinkan adalah +5% dan -10%, sehingga kondisi ini berada di luar standar yang ditetapkan karena panjang jaringan distribusi dan beban yang tinggi. Tujuan dari penelitian ini adalah memasang *Distributed Generation* untuk mengubah jaringan distribusi sehingga dapat mempengaruhi profil tegangan dan mengurangi rugi daya[4].

c. Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) On Grid di Ecopark Ancol

Penelitian tersebut menghasilkan beberapa data, yaitu konfigurasi PV modul yang terdiri dari 32 modul yang terhubung untuk menyuplai baterai. Unit baterai memiliki kapasitas 1455 Ah, yang setara dengan sekitar 15 unit baterai berkapasitas 100 Ah. Selain itu, terdapat 4 unit pengontrol pengisian baterai dengan kapasitas arus beban 20 A, serta inverter dengan kapasitas 6000 W dan efisiensi 90%. [5].

d. Hosting Capacity Distribution System Yogyakarta with Ant Lion Optimization: A Case Multi-objective

Hasil penelitian ini memanfaatkan sumber pembangkit dari *Distributed Energy Resource (DER)* Photovoltaic. Namun, pembangkit panel surya sering mengalami ketidakstabilan karena bergantung pada sinar matahari. Salah satu pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah teknik penetrasi *Distributed Generation (DG)* dengan metode *Hosting Capacity*. *Hosting Capacity* adalah teknik penetrasi DG yang baru, yang menginjeksi daya untuk memperbaiki profil tegangan. Penelitian ini menggunakan injeksi daya nyata untuk meningkatkan profil tegangan dalam sistem. Penempatan DG yang optimal ditempatkan di pusat-pusat beban. Metode optimasi yang diterapkan dalam penelitian ini adalah *Ant Lion Optimizer Algorithm*. [6].

e. Optimasi Penempatan dan Kapasitas PLTS on Grid pada Sistem Distribusi Radial menggunakan Metode Algoritma Genetika Multi Konstrain

Penelitian ini bertujuan menentukan lokasi dan kapasitas daya PLTS on grid dengan menggunakan Teknik Optimasi, yang dalam hal ini diterapkan melalui metode Algoritma Genetika (*Genetic Algorithm*). Tujuan utama penelitian ini adalah menetapkan lokasi titik hubung (on grid) dan ukuran kapasitas daya PLTS yang optimal, sehingga tegangan yang dihasilkan sesuai dengan standar jaringan sistem tenaga listrik 20 kV, yaitu +5% atau -10% dari tegangan nominal, serta memenuhi

persyaratan teknis penyambungan pembangkit energi terbarukan pada sistem distribusi. Analisis aliran daya pada sistem distribusi dilakukan untuk membandingkan rugi-rugi daya dan profil tegangan setelah kehadiran PLTS on grid pada penyulang distribusi radial[7].

f. Analisis Hosting Capacity Pada Jaringan Tegangan Menengah Untuk Suplai Daya Listrik Daerah Pedesaan

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa Kabupaten Bangli telah memiliki PLTS dengan kapasitas 1 MWp yang terhubung ke jaringan Kayubih, Bangli. Sistem PLTS di daerah tersebut menggunakan sistem on grid yang langsung terhubung dengan Jaringan Tegangan Menengah 20 kV. Analisis kapasitas hosting pada PLTS atap yang tersebar di jaringan distribusi sangat penting untuk perencanaan masa depan, terutama jika terjadi transisi energi besar-besaran pada PLTS atap. Penelitian ini menggunakan simulator aliran daya untuk menganalisis kapasitas hosting pada PLTS atap yang tersebar di jaringan distribusi.[8].

g. Optimasi Penempatan dan Kapasitas Multi DG pada Sistem Distribusi dengan Metode Flower Pollination Algorithm (FPA)

Penelitian dalam jurnal ini bertujuan mengoptimalkan penempatan dan kapasitas multi DG untuk mengurangi rugi daya serta meningkatkan profil tegangan pada sistem. Penelitian dilakukan menggunakan model sistem distribusi 33 bus dengan standar IEEE, dan metode yang digunakan adalah Flower Pollination Algorithm (FPA). FPA adalah metode optimasi yang terinspirasi oleh proses penyerbukan bunga yang dilakukan oleh penyerbuk alami.[9].

2.2 Landasan Teori

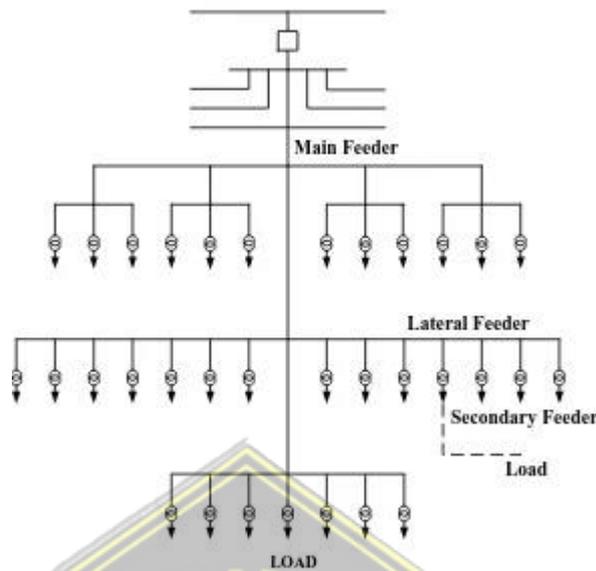
Jaringan distribusi biasanya menggunakan sistem radial. Memiliki bentuk yang sederhana serta biaya investasi yang terbilang murah. Kualitas pelayanan dayanya relatif buruk. Tetapi dalam tahun terakhir perubahan sistem distribusi sangat baik, salah satunya adanya *Distributed Generation* (DG) atau pembangkit tersebar dengan menempatkan unit pembangkit yang

lebih kecil dekat ke titik konsumsi, tradisional 10 Megawatt atau lebih kecil. Dampak dari DG pada sistem akan tergantung pada lokasi dan kapasitas DG. Sehingga pada tugas akhir ini akan berfokus pada pengujian penempatan DG menggunakan program *Load Flow Analysis* ETAP sehingga dari jatuh tegangan dan rugi – rugi daya dapat diketahui penempatan DG pada beban - beban di sistem distribusi, penempatan optimal dan kapasitas serta ukuran unit DG dan kapasitor[7].

Distribusi sistem tenaga listrik merupakan tahap akhir dalam proses pengiriman daya listrik. Sistem ini mengalirkan listrik dari sistem transmisi ke pengguna akhir. Saluran distribusi primer bertugas mengirimkan daya bertegangan menengah ke trafo distribusi yang berada dekat dengan pelanggan. Trafo distribusi kemudian menurunkan tegangan menengah tersebut menjadi tegangan rendah yang cocok untuk peralatan rumah tangga atau keperluan serupa, sehingga dapat disalurkan ke beberapa pelanggan melalui saluran distribusi sekunder pada tegangan rendah ini.

2.2.1 Jaringan Distribusi Sistem Radial

Sistem distribusi radial adalah sistem yang dipilih karena memiliki konfigurasi yang paling sederhana dan biaya investasinya relatif rendah. Disebut radial karena salurannya disusun secara radial atau terpusat dari satu titik sumber, kemudian bercabang ke berbagai titik beban.[8]. Sehingga bentuk jaringan radial tampak seperti batang pohon dengan cabang pohon dengan jalur utama terhubung ke rangkaian yang lebih kecil yaitu cabang - cabang menuju beban seperti Gambar 2.1.

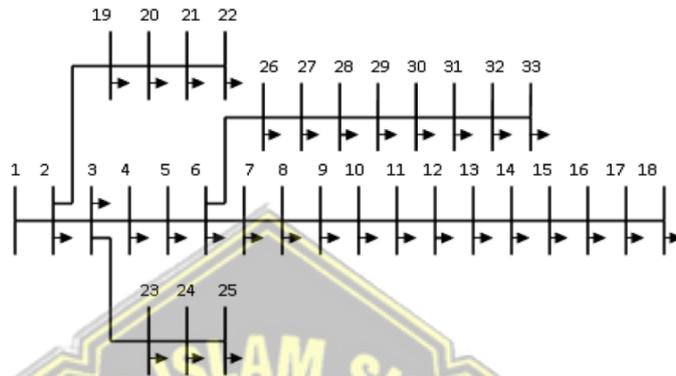


Gambar 2.1 Sistem Distribusi Radial tipe pohon

Kelebihan jaringan sistem radial secara umum memiliki bentuk yang sederhana dan biaya investasi yang relatif murah. Sedangkan kelemahan yaitu kualitas pelayanan daya relatif jelek yang disebabkan rugi daya dan drop tegangan cenderung besar [9]. Dalam hal penyaluran dan kontinuitas penyaluran daya, sistem ini kurang handal. Pada jaringan distribusi sistem radial, digunakan perangkat pengaman seperti *Circuit Breaker (CB)*, *Recloser*, *Sectionalizer*, atau alat pemutus beban lainnya. Jaringan distribusi sistem radial ini memiliki beberapa variasi modifikasi, yaitu radial tipe pohon, radial dengan *tie switch*, radial dengan pusat beban, dan radial dengan pembagian fase.

Penyaluran listrik dari Gardu Induk ke distributor melalui Penyulang terpisah dengan satu akhiran dikenal sebagai sistem radial. Dalam sistem ini, daya mengalir melalui cabang utama menuju sub-cabang dan kemudian terbagi di sub-cabang seperti yang diperlihatkan dalam Gambar 2.1, di mana daya dikirim dari titik akar dan kemudian terbagi di line 1 (L1). Struktur radial ini mengakibatkan tidak adanya perputaran daya dalam jaringan dan setiap bus terhubung langsung ke sumber melalui satu jalur.

Meskipun konfigurasi jaringan ini relatif murah, namun kurang dapat diandalkan dalam penyaluran tenaga listrik. Sistem distribusi radial sering digunakan di area yang memiliki perkembangan yang tersebar [10] seperti pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Sistem Distribusi tipe radial standar IEEE 33-Bus.

Dalam penomoran titik dan saluran, kriteria berikut diasumsikan: Setiap titik diberi nomor secara berurutan dari yang terkecil ke yang terbesar, dan ini dilanjutkan dari setiap lapisan ke lapisan lainnya. Dengan cara ini, jalur apa pun dari titik akar ke titik terminal akan melewati titik yang memiliki nomor urutan terkecil hingga terbesar.

Setiap cabang dimulai dari bus pengirim di sisi titik akar dan diidentifikasi dengan nomor bus penerima. Keunggulan utama dari jaringan distribusi radial terletak pada konstruksinya yang sederhana, biaya awal yang rendah, serta kegunaannya dalam pembangkitan pada tingkat tegangan rendah. Jaringan radial direkomendasikan untuk gardu induk yang terletak di tengah-tengah beban [6].

2.2.2 Rekonfigurasi Jaringan

Rekonfigurasi jaringan merupakan metode optimasi yang digunakan dalam jaringan distribusi, yang melibatkan perubahan dalam topologi jaringan dengan mengubah status tutup switch tie dan membuka switch sectionalizing. Tujuannya adalah untuk meningkatkan kualitas tegangan dan daya dalam sistem distribusi.

Pengoperasian sistem distribusi dapat dilakukan dengan biaya minimal melalui rekonfigurasi jaringan [9]. Dalam mendapatkan dan menentukan *tie switch* dan *sectionalizing switch* yang ditutup dan dibuka menggunakan pencarian menggunakan metode Optimasi.

2.2.3 Kapasitor

Salah satu strategi untuk mengatur tegangan dan meningkatkan kualitas tegangan di bus adalah dengan memasang kapasitor dalam rangkaian paralel pada bus-bus distribusi sepanjang saluran atau di gardu induk serta pada beban-beban. Kapasitor berfungsi untuk menghasilkan daya reaktif pada kapasitor [11]. Kapasitor dapat dihubungkan permanen, tetapi untuk pengaturan tegangan kapasitor dapat dilepas dari sistem sesuai perubahan beban. Apabila kapasitor dipasang paralel dengan beban yang memiliki faktor daya yang tertinggal, maka kapasitor akan sebagai sumber dari sebagian atau semua daya reaktif yang dibutuhkan bebannya.

Sebagai hasilnya, kapasitor mengurangi arus yang mengalir ke beban melalui saluran dan mengurangi penurunan tegangan dalam saluran. Secara umum, pertimbangan dalam pemasangan kapasitor termasuk besarnya daya reaktif per unit dan kapasitas per unit.

2.2.4 Distributed Generation (DG)

Distributed Generation (DG) adalah pembangkit listrik dengan kapasitas kecil yang terletak dekat dengan titik beban. DG mampu menghasilkan energi listrik dengan kapasitas kecil dan terhubung langsung ke jaringan distribusi. Ini merupakan sumber daya yang bisa melayani konsumen di tempat (on-site) atau mendukung jaringan distribusi dengan terhubung pada tingkat tegangan distribusi. DG memiliki potensi untuk meningkatkan kehandalan sistem baik secara langsung maupun tidak langsung. Sebagai contoh, DG dapat digunakan secara langsung untuk mendukung tegangan lokal dan mencegah terjadinya pemadaman. Rangkaian *Distributed*

Generation dari pembangkit ke konsumen ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Rangkaian Distributed Generation (DG)

Distributed Generation (DG) memiliki beberapa jenis, seperti pembangkit listrik mikro hidro, pembangkit listrik fotovoltaik (surya), pembangkit listrik angin, serta mesin diesel dan baterai yang terdiri dari beberapa modul. Kapasitas pembangkitan DG dapat dikelompokkan menjadi beberapa kategori, berikut adalah tabel klasifikasi Distributed Generation (DG)[3]. Berdasarkan kapasitas pembangkitnya terdapat empat jenis seperti pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Jenis dan Kapasitas Pembangkit

Jenis DG	Kapasitas Pembangkitan
Micro DG (DG Mikro)	1 Watt – 5 kW
Small DG (DG Kecil)	5 kW – 5 MW
Medium DG (DG Sedang)	5 MW – 50 MW
Large DG (DG Besar)	50 MW – 300 MW

2.2.5 Distribution Generation Hosting Capacity (DG HC)

Distribution Generation Hosting Capacity atau kapasitas penampungan pembangkit terdistribusi adalah sebuah teknik optimisasi dalam sistem distribusi tenaga listrik yang bertujuan untuk menambah kapasitas Distributed Generation (DG) dan menghubungkannya ke sistem distribusi yang sudah ada. Banyak

masalah yang muncul dalam sistem distribusi radial seperti penurunan tegangan, rugi-rugi daya, dan biaya yang tinggi. Ini menjadi dasar untuk mencapai tujuan utama tersebut.

Tujuan dari teknik optimisasi hosting capacity adalah mengurangi tingkat beban berlebih, meningkatkan stabilitas atau keandalan sistem, meningkatkan keamanan sistem distribusi, dan meningkatkan kualitas arus. Jadi, bagaimana agar penambahan host dalam bentuk sistem pembangkit terbarukan dan menghubungkannya ke sistem distribusi yang sudah ada tidak mengalami kendala atau mengganggu sistem distribusi yang telah ada.

Dalam menentukan kapasitas penampungan (hosting capacity), terdapat beberapa jenis DG yang digunakan sebagai sumber daya. Ini akan mempengaruhi hasil dari berbagai jenis DG tersebut. Jenis-jenis tersebut dapat dikarakterisasi sebagai berikut :

- a. Tipe I : Injeksi daya nyata (P). Ini beroperasi pada pf 1. PV dan sel bahan bakar, turbin mikro.
- b. Tipe II : Injeksi daya reaktif (Q). seperti : kapasitor, sinkron dan kompensator kVAR, dll.
- c. Tipe III : Injeksi daya nyata (P) dan reaktif (Q). misal : mesin sinkron (turbin gas, dll.)
- d. Tipe IV : Menggunakan daya reaktif (Q) tetapi injeksi daya nyata (P). Seperti : generator induksi di pembangkit tenaga angin.

Beberapa analisis hosting capacity adalah sebagai berikut :

A. Hosting Capacity & Power

Penambahan hosting capacity pada distribusi melibatkan peningkatan daya DG. Tujuannya adalah agar suplai daya yang dikirim seimbang dengan daya di sisi penerima, sehingga rugi daya akibat saluran distribusi dapat diminimalkan.

B. Hosting Capacity & Voltage

Hosting capacity dan pengaturan tegangan digunakan untuk mengatasi situasi tegangan berlebihan (overvoltage) atau

tegangan rendah (undervoltage). Masalah umum dalam sistem distribusi adalah penurunan tegangan yang disebabkan oleh penggunaan listrik pada saat beban puncak. Sementara itu, overvoltage terjadi saat konsumsi listrik rendah dengan suplai daya yang maksimal.

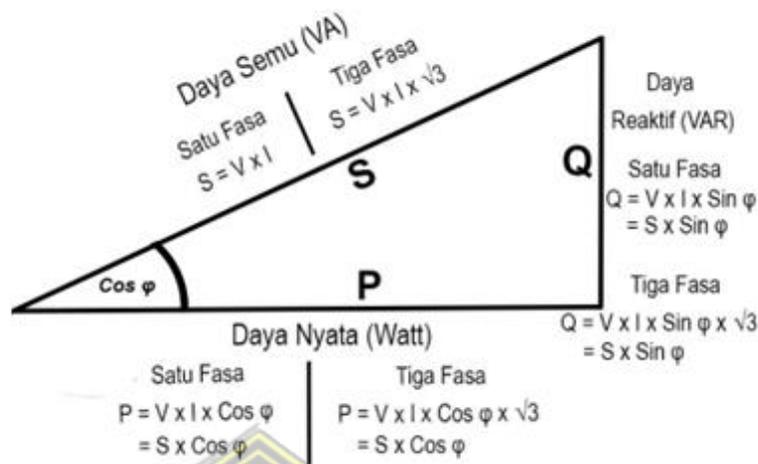
C. Hosting Capacity & Protection

Hosting capacity menyebabkan beberapa kondisi sistem proteksi pada sistem distribusi menjadi berubah :

- a. Kondisi tidak pasti terjadi ketika suatu DG mengalami peningkatan tegangan atau daya dalam sistem.
- b. Panjang feeder suatu saluran distribusi sangat mempengaruhi, sehingga DG mengalami penurunan atau tidak dapat menyuplai secara efisien.
- c. Pembangkit yang terletak jauh dari Gardu Induk atau pusat beban menyebabkan kenaikan penggunaan DG.
- d. Arus proteksi tidak lagi menjadi solusi saat terjadi penetrasi DG yang tinggi.
- e. Dengan menerapkan teknik optimisasi metaheuristic, diharapkan penempatan dan kapasitas DG dapat memberikan dampak yang positif pada hosting capacity untuk mengatasi permasalahan tersebut.

2.2.6 Studi Aliran Daya atau Segitiga Daya

Analisis aliran energi listrik pada setiap level kapasitas digunakan untuk memahami parameter-parameter listrik yang ada dalam sistem tenaga listrik. Ini termasuk penurunan tegangan, pemanfaatan beban, kemungkinan korsleting, dan kegagalan daya. Dalam melakukan analisis arus, data dari generator, trafo, dan beban diperlukan untuk memperoleh informasi tentang parameter listrik lainnya. Segitiga daya terdiri dari daya semu, daya nyata dan daya reaktif seperti pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Segitiga Daya.

Permasalahan aliran beban melibatkan perhitungan dan analisis tegangan sistem pada bagian tertentu atau bus tertentu. Representasi fase tunggal selalu digunakan karena sistem diasumsikan seimbang.

Studi aliran daya bus – bus dibagi dalam tiga macam, yaitu :

- Slack bus atau swing bus, dan bus referensi
- Voltage control bus atau bus generator (PV Bus)
- Load bus atau bus beban

Pada Gambar 2.4 dapat dilihat bahwa besaran masing – masing pada satu fasa, sesuai persamaan (2.1) sampai (2.3).

$$S = V \times I \quad (2.1)$$

$$P = V \times I \times \cos \varphi \quad (2.2)$$

$$Q = V \times I \times \sin \varphi \quad (2.3)$$

dengan:

S = Daya Semu (VA)

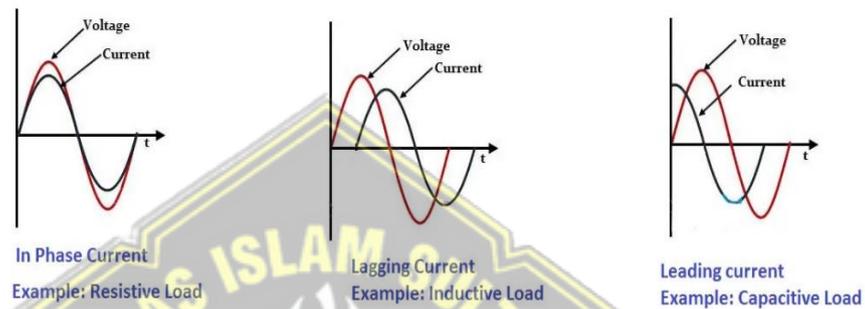
V = Tegangan (V)

I = Arus Listrik (A)

P = Daya Nyata (Watt)

Q = Daya Reaktif (VAR)

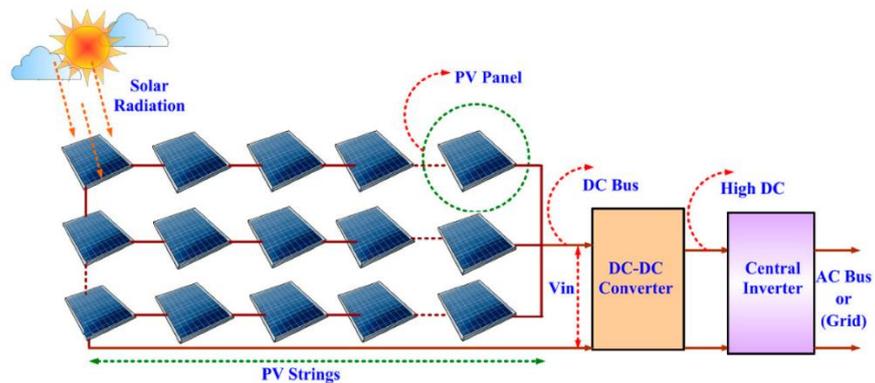
$\cos \varphi$ memiliki nilai negatif ketika sudut arus mendahului tegangan, menunjukkan bahwa beban bersifat *leading*. Sebaliknya, $\cos \varphi$ bernilai positif ketika gelombang arus tertinggal oleh tegangan, menunjukkan bahwa beban tersebut bersifat *lagging*. Grafik antara *leading*, *lagging*, dan *In Phase Current* dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Grafik Cos Phi.

2.2.7 Sel Surya atau *Photovoltaic*

Sel surya, atau disebut juga Photovoltaic (PV), merupakan perangkat semikonduktor yang dapat mengubah energi matahari langsung menjadi energi listrik DC (arus searah) dengan menggunakan kristal silikon (Si) yang tipis. Sebuah kristal silikon diperoleh dengan memanaskan silikon dengan tekanan yang diatur sehingga silikon tersebut berubah menjadi penghantar. Rangkaian Panel Surya dari PV kemudian disambungkan pada DC – DC Converter dimana arus, tegangan dan daya DC menjadi lebih tinggi, setelah itu disambungkan dengan Inverter dimana arus, tegangan, daya DC dirubah menjadi AC untuk rangkaian panel surya dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Rangkaian Panel Surya

Energi listrik dari tenaga surya diperoleh melalui sistem Photovoltaic (PV). Kata Photovoltaic terdiri dari "photo" dan "voltaic". "Photo" berasal dari kata Yunani "phos" yang berarti cahaya, sedangkan "voltaic" diambil dari nama Alessandro Volta (1745 - 1827), Seorang ahli dalam studi listrik telah menghasilkan istilah Photo-Voltaic, yang secara harfiah berarti listrik-cahaya. Namun, saat ini, istilah photo-voltaic lebih umum disebut sebagai sel surya atau solar cell, karena sumber energinya adalah sinar matahari. Sel surya terdiri dari suatu PN junction dari kristal silikon tunggal. Dengan memanfaatkan efek foto-elektrik dari bahan semikonduktor, sel surya dapat mengubah langsung energi sinar matahari menjadi listrik searah (DC). Ketika sel surya terpapar sinar matahari, elektron dan hole akan terbentuk. Elektron dan hole yang terbentuk di sekitar PN junction akan bergerak masing-masing ke arah lapisan N dan ke arah lapisan P. Sehingga, terjadi beda potensial pada kedua ujung sel surya saat elektron dan hole melintasi PN junction. Jika kedua ujung sel surya dihubungkan dengan beban, maka akan menghasilkan arus listrik yang mengalir melalui beban tersebut. Sel-sel ini dapat dibuat dalam berbagai ukuran yang diinginkan dengan jalan menghubungkan seri sel-sel yang sama untuk membentuk modul sel surya dengan keluaran yang diperlukan sehingga akan terbentuklah sel-sel silikon yang tipis atau yang disebut juga dengan sel surya (fotovoltaik). Sel-sel silikon dipasang secara sejajar/seri dalam

sebuah panel yang terbuat dari aluminium atau baja anti karat, dan dilindungi oleh kaca atau plastik. Setiap sambungan sel dilengkapi dengan sambungan yang memiliki beda potensial yang disebut daerah deplesi. Ketika sel-sel tersebut terkena sinar matahari, akan terjadi aliran arus listrik pada sambungan tersebut. Besarnya arus atau energi listrik bergantung pada jumlah energi cahaya yang mencapai silikon dan luas permukaan sel. Ketika cahaya jatuh pada logam, elektron dapat lepas dari permukaan logam, yang disebut efek fotolistrik. Proses ini diamati dengan menempatkan dua pelat logam terpisah di dalam tabung hampa udara, yang dihubungkan dengan kawat di luar tabung. Awalnya, tidak ada arus yang mengalir karena kedua plat terpisah. Namun, ketika cahaya yang sesuai dikenakan pada salah satu pelat, arus listrik terdeteksi pada kawat, karena elektron yang lepas dari satu pelat dan berpindah ke pelat lain membentuk arus listrik. Prinsip kerja dari Photovoltaic adalah ketika cahaya jatuh pada sel surya, elektron positif dan "hole" negatif terbentuk. Elektron dan "hole" bergerak membentuk arus listrik.

Faktor - faktor yang memengaruhi kinerja modul sel surya antara lain sebagai berikut :

1. Suhu Modul

Panel surya akan bekerja dengan efisiensi maksimal jika suhunya tetap stabil pada 25°C. Jika suhu panel meningkat di atas suhu normal ini, tegangan open circuit (Voc) yang dihasilkan akan berkurang. Setiap kenaikan suhu sebesar 1°C di atas 25°C akan menyebabkan penurunan daya yang dihasilkan sekitar 0,5%. Hitunglah berapa banyak daya yang berkurang ketika suhu di sekitar panel meningkat dari suhu standar, menggunakan persamaan (2.4).

$$P \text{ saat } t \text{ naik } ^\circ\text{C} = 0,5\%/^\circ\text{C} \times P_{MPP} \times \Delta t \quad (2.4)$$

Keterangan :

$P \text{ saat } t \text{ naik } ^\circ\text{C}$: daya pada saat suhu naik °C dari suhu standar

P_{MPP} : daya keluaran maksimal modul surya

Δt : kenaikan suhu

Daya keluaran maksimum panel surya ketika suhu meningkat menjadi t °C dari suhu standar dihitung dengan persamaan (2.5).

$$P_{MPP \text{ saat naik temperatur } ^\circ\text{C}} = P_{MPP} - P_{\text{saat temperatur naik } ^\circ\text{C}} \quad (2.5)$$

P_{MPP} pada saat suhu naik menjadi t °C adalah daya keluaran maksimum panel surya ketika suhu di sekitar panel meningkat menjadi t °C dari suhu standar. Faktor koreksi suhu (Temperature Correction Factor) dihitung dengan menggunakan persamaan (2.6).

$$TCF = \frac{P_{MPP \text{ saat naik menjadi } t^\circ\text{C}}}{P_{MPP}} \quad (2.6)$$

2. Intensitas Cahaya Matahari

Radiasi matahari di bumi bervariasi tergantung pada spektrum di lokasi yang berbeda dan sangat dipengaruhi oleh posisi matahari relatif terhadap bumi. Radiasi matahari ini akan memengaruhi daya yang dihasilkan oleh panel surya.

3. Kecepatan tiupan angin

Kecepatan angin di sekitar lokasi panel surya sangat membantu mendinginkan suhu permukaan panel, sehingga suhu tetap berada dalam kisaran yang kondusif.

4. Keadaan Atmosfir Bumi

Kondisi atmosfer bumi seperti awan, mendung, jenis debu udara, asap, uap air, kabut, dan polusi sangat memengaruhi kinerja panel surya.

5. Peletakan Panel Surya

Untuk memastikan energi matahari yang diserap mencapai nilai optimal, permukaan panel surya harus selalu tegak lurus terhadap sinar matahari yang mengenainya. Oleh karena itu, penempatan panel surya sangat penting untuk memastikan kinerja panel surya yang maksimal.

6. Menghitung Area Array (PV Area)

Luas area *array* diperhitungkan menggunakan persamaan (2.7).

$$PV_{Area} = \frac{W}{G_{av} \times \eta_{pv} \times TCF \times \eta_{out}} \quad (2.7)$$

Keterangan :

PV_{Area} = Luas Area Array (m^2)

W = Besar Pemakaian Energi Listrik (kwh)

G_{av} = Nilai Isolasi Harian Matahari (kwh/m^2) merupakan daya per unit yang dihasilkan matahari dalam bentuk radiasi elektromagnet per meter persegi.

η_{pv} = Efisiensi Modul Surya (%)

TCF = *Temperature Correction Factor*

η_{out} = Efisiensi Output (%)

7. Menghitung Daya yang dibangkitkan PLTS (Watt-Peak)

Dengan menghitung luas area array, daya yang dihasilkan oleh PLTS (dalam *watt-peak*) dapat dihitung menggunakan suatu persamaan (2.8).

$$P_{watt\ peak} = area\ array \times PSI \times \eta_{pv} \quad (2.8)$$

Keterangan :

$P_{watt\ peak}$: Besar daya yang dibangkitkan PLTS (Watt-peak)

PSI : *Peak Sun Insolation* (PSI) adalah $1000\ w/m^2$

η_{pv} : Efisiensi Modul Surya (%)

8. Menghitung Jumlah Modul Sel Surya

Untuk menentukan jumlah modul sel surya yang akan digunakan suatu persamaan (2.9).

$$Jumlah\ Panel\ Surya = \frac{P_{Watt\ peak}}{P_{MPP}} \quad (2.9)$$

Keterangan :

P_{MPP} : daya maksimum panel surya yang digunakan (W)

$P_{Watt\ peak}$: daya yang dibangkitkan (WP)

Untuk mendapatkan tegangan, arus, dan daya yang sesuai dengan kebutuhan, modul sel surya harus dikombinasikan secara seri dan paralel sesuai dengan aturan berikut:

- a. Untuk mendapatkan tegangan keluaran yang lebih besar dari tegangan keluaran panel surya, dua atau lebih panel surya dihubungkan secara seri.
- b. Untuk mendapatkan arus keluaran yang lebih besar dari arus keluaran panel surya, dua atau lebih panel surya dihubungkan secara paralel.
- c. Untuk mendapatkan daya keluaran yang lebih besar dari daya keluaran panel surya dengan tegangan yang tetap, panel-panel surya dihubungkan secara seri dan paralel.

9. Menentukan Kapasitas Inverter

Karakteristik inverter disesuaikan dengan charge controller yang digunakan. Tegangan masukan dan keluaran dari inverter ditentukan berdasarkan tegangan sistem dan nilai nominalnya, yaitu tegangan DC input minimal 150/188 V, DC Tegangan Nominal 600 V, dan Tegangan Maksimal input 1000 V. Sedangkan tegangan output AC yang digunakan, yakni 17kV dengan Daya Aktif 17kW (sesuai spesifikasi Inverter Sunny Tripower 1000TL – 17000TL). Dari spesifikasi kapasitas Inverter Sunny Tripower seperti Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Inverter DC - AC Sunny Tripower 1000TL - 17000TL

10. Menentukan Rangkaian (Pengaturan Seri - Paralel) Panel

Surya

1. Secara seri minimal

$$\text{Min modul seri per string} = \frac{V_{\min \text{ Inverter}}}{V_{oc \text{ Modul}}} \quad (2.10)$$

2. Secara seri maksimal

$$\text{Max modul seri per string} = \frac{V_{\max \text{ Inverter}}}{V_{mp \text{ Modul}}} \quad (2.11)$$

3. Secara paralel

$$\text{Max Paralel} = \frac{I_{\min \text{ Input Inverter}}}{I_{mp \text{ Modul}}} \quad (2.12)$$

Keterangan :

$V_{oc \text{ Modul}}$: Tegangan Open Circuit Modul Surya (V)

$V_{mp \text{ Inverter}}$: Tegangan Kerja Minimal dari Inverter (V)

$V_{\min \text{ Inverter}}$: Tegangan DC minimal dari Inverter (V)

$V_{\max \text{ Inverter}}$: Tegangan DC Maksimal dari Inverter (V)

$I_{mp \text{ Modul}}$: Arus Dari Modul Surya (A)

$I_{\max \text{ Input Inverter}}$: Arus Masuk maksimal Inverter (A)

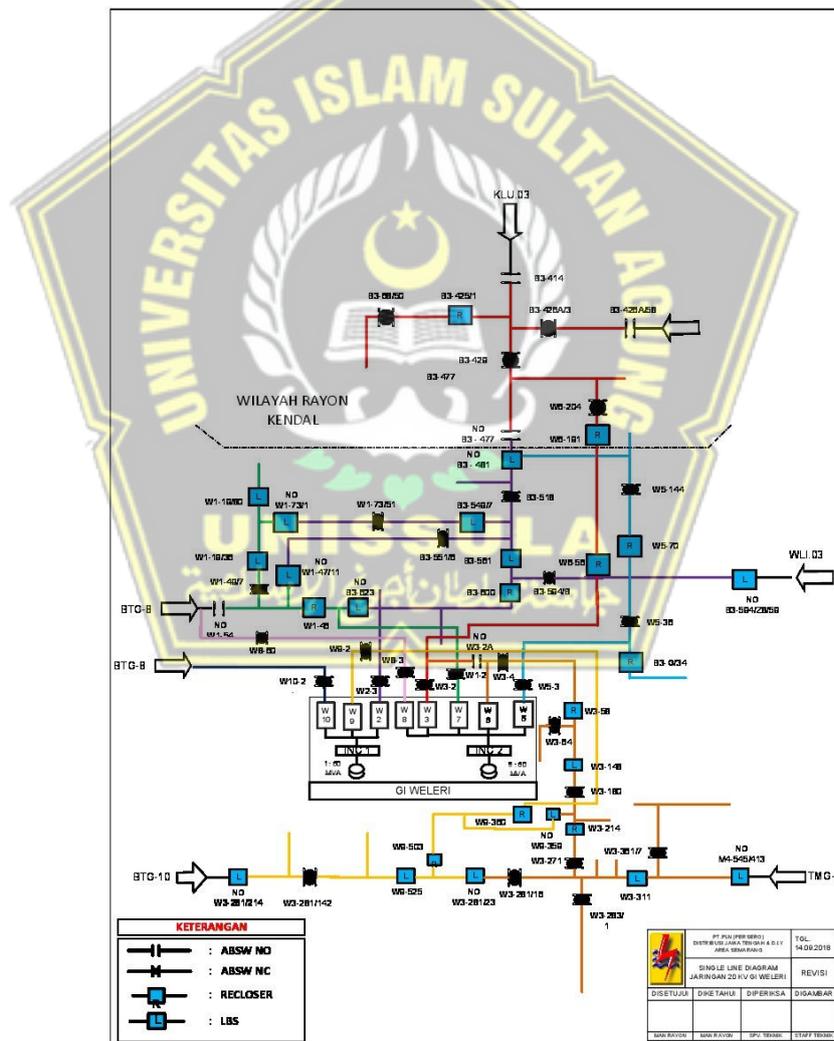


BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Model Penelitian

Penelitian dilaksanakan di PT. PLN (Persero) ULP Weleri. Pengukuran beban dilakukan menggunakan Amp Stick di setiap bagian selama 5 hari kerja, pada pukul 10.00 – 16.00 pada siang hari dan pukul 19.00 - 22.00 pada malam hari. Berikut *Single Line Diagram* Jaringan Weleri yang memiliki 2 trafo untuk mensuplai beberapa penyulang distribusi seperti pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Single Line Diagram Jaringan Weleri

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Perangkat Keras
 - a. Laptop Lenovo Ideapad 320, AMD A4 CPU @2.50 GHz, Ram 4 GB, Sistem Operasi 64-bit, Windows 10 Educate.
 - b. Iphone 11 iOS 16.2 kapasitas 64GB.
2. Perangkat Lunak
 - a. ETAP 12.6.0
 - b. Microsoft Office 2013
3. Pengumpulan data-data pengukuran dan program studi penempatan pembangkit tersebar.

3.3 Data Penelitian

Sumber data yang digunakan dalam analisis data berasal dari *Single Line Diagram* (SLD) pada sistem distribusi. Data yang diperoleh dari PT. PLN (Persero) ULP Weleri, dengan data *Single Line Diagram* menggunakan ETAP 12.6.0. dan hasil *Load Flow Analysis* beban dan pemasangan *Photovoltaic*.

3.3.1 Data Spesifikasi DG Photovoltaic pada sistem WLI02

Data spesifikasi yang akan digunakan untuk mensuplai jaringan distribusi pada penyulang WLI02 ditunjukkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Spesifikasi DG Photovoltaic pada Sistem Distribusi WLI02

Jenis PV	Tipe	Panel									Modul Karakteristik			
		Pmax (Wp)	Watt /Panel	Number of Cells	Voc (V)	Vmp (V)	Imp (A)	Isc (A)	VDC (V)	Max VDC (V)	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Depth (cm)	Berat (kg)
SUNTECH STP280 - 24/Vd	Poly-crystalline	280	282,5/1	72	44,8	35,2	7,95	8,33	600	1000	195,6	99,2	5	27

Dari spesifikasi data *Photovoltaic* diatas menggunakan jenis PV merk SUNTECH STP280 - 24/Vd menggunakan tipe POLY-CRYSTALLINE dengan daya maksimal 280 watt per panel, dengan

72 cells, tegangan open circuit 44,8 volt, tegangan optimal operation 35,2 volt, arus optimal operation 7,95 ampere, arus short circuit 8,33 ampere, tegangan operation DC 600 volt, sedangkan tegangan maksimal DC 1000 volt.

3.3.2 Data Spesifikasi DC – DC Converter

Data spesifikasi DC – DC Converter yang akan digunakan untuk mensuplai jaringan distribusi pada penyulang WLI02 ditunjukkan pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Data Spesifikasi DC - DC Converter

Modul Karakteristik			
Daya (kW)	V Input (V)	V Output (V)	Efisiensi
2000	450	600	99%

Setelah pemasangan *Photovoltaic* perlu ditambahkan DC-DC Converter dalam simulasi menggunakan ETAP yang mana digunakan untuk mengonversi arus DC ke DC (searah) dengan fungsi untuk menaikkan dan menurunkan daya keluaran yang dihasilkan *Photovoltaic* tanpa merubah polaritasnya. Dari spesifikasi diatas daya keluaran sebesar 2000 kW dengan peraturan V Input sebesar 450 volt dan V Output 600 volt dengan efisiensi 99%.

Dari spesifikasi *Photovoltaic* dengan disambungkan dengan DC converter maka daya yang awalnya per panel 280 watt dinaikkan menjadi 2000 kw, atau dari *Micro Distributed Generator* menjadi *Small Distributed Generator*.

3.3.3 Data Spesifikasi Inverter DC – AC

Data spesifikasi Inverter DC – AC yang akan digunakan untuk mensuplai jaringan distribusi pada penyulang WLI02 ditunjukkan pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Data Spesifikasi Inverter DC – AC

MODUL KARAKTERISTIK						
DC RATING					AC RATING	
DAYA (KWATT)	V Min (V)	V Nominal (V)	V Max (V)	I Max	DAYA (KVA)	V (KVOLT)
5000	150	600	1000	33 A	4737	20

Dari pemasangan DC – DC Converter selanjutnya akan disambungkan ke inverter yang digunakan untuk merubah arus DC (searah) ke arus AC (bolak - balik). Rating daya pada DC Converter dari 2000 kW sedangkan di inverter menggunakan rating 5000 kW agar daya dari DC Converter dapat maksimal sehingga daya semu hasil inverter ke arus AC menjadi 4737 kVA. Tegangan pada DC rating 600 kV hasil dari inverter ke arus AC menjadi 20 kV.

3.4 Data Pengukuran Beban

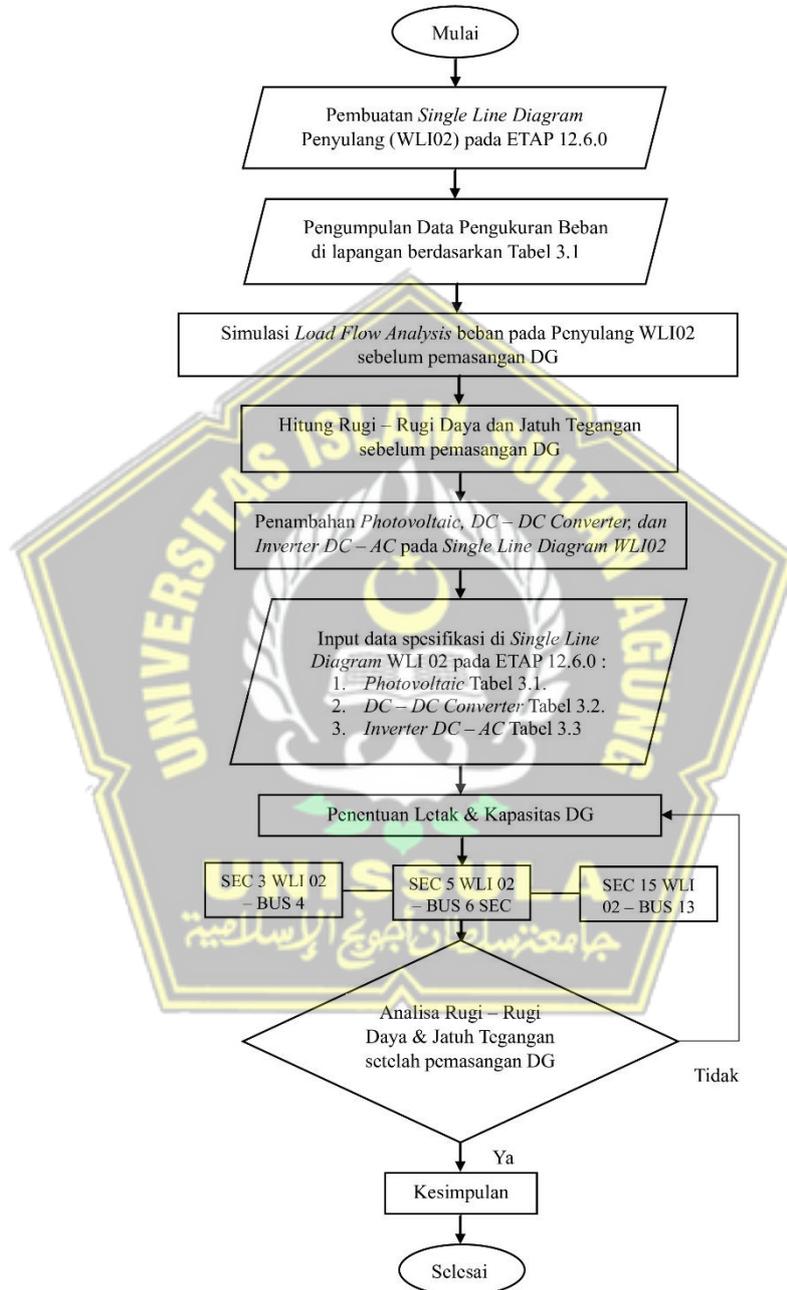
Data pengukuran beban yang digunakan hanya menampilkan rata – rata beban tertinggi pada malam hari dengan pengukuran kurang lebih 1 jam. Beban Puncak rata” per 24 jam maka hasilnya kalikan 1 jam untuk energi yang diharuskan. Data pengukuran beban pada saat puncak di malam hari pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Data Pengukuran Beban

NO	NO. TIANG		AREA	P (KM)	BEBAN RATA” (A)	$\sqrt{3}$	V (KV)	S (MVA)	COS ϕ	P (MW)	TOTAL DAYA AKTIF (MW)
	AWAL	AKHIR									
1	W2-3	B3-600	DEPAN GI WELERI	2,5	186	1,73	20	6,43	0,95	6,11	19,45
2	B3-600	B3-561	WELERI	2	162	1,73	20	5,60	0,95	5,32	
3	B3-561	B3-518	MONTON GSARI	2,15	101	1,73	20	3,48	0,95	3,31	
4	B3-518	B3-481	PANTUR A	1,85	65	1,73	20	2,25	0,95	2,14	
5	B3-600	B3-594/B	WELERI	1	36	1,73	20	1,23	0,95	1,17	
6	B3-549/7	W1-73/51	UNGUP-UNGUP	5	44	1,73	20	1,53	0,95	1,45	

3.5 Flowchart Penelitian

Adapun alur penelitian ini bisa dibuat skema sesuai dengan Gambar 3.2 mengenai *flowchart* langkah-langkah kerjanya :



Gambar 3.2 Cara kerja Penambahan PV

Penelitian ini mencari sumber referensi mengenai penentuan pembangkit tersebar dan beberapa penelitian terkait. Seperti menggunakan beberapa

simulasi ETAP, MATLAB dan PVSYST dalam penentuan pembangkit tersebar. Dalam mengetahui arah dan alur pembuatan simulasi di ETAP, penulis berkonsultasi dengan yang sudah pernah melakukan penelitian terkait dengan simulasi ETAP untuk menentukan pembangkit tersebar. Penulis mencari beberapa referensi skripsi & jurnal terkait dengan penentuan dan perhitungan kapasitas PV. Jika belum paham maka membaca kembali referensi sebelumnya dengan memperbanyak literatur dan uji coba library ETAP. Jika sudah paham maka dapat melanjutkan pembuatan simulasi *Load Flow Analysis* dengan penambahan PV.

Pada simulasi ETAP terdapat beberapa langkah seperti pembuatan *single line diagram* mulai dari Generator, Transformator, Relay, ABSW, kabel, bus rating, dan beban, dari hasil *Load Flow Analysis* diatas dapat ditentukan penempatan pemasangan PV, kemudian uji coba *library PV, DC – DC Converter* dan *DC – AC Inverter* pada sistem distribusi Penyulang WLI02.

Proses penempatan dan menentukan kapasitas menggunakan simulasi *Load Flow Analysis* ETAP dilakukan dengan langkah sebagai berikut :

1. Pembuatan *Single Line Diagram* Penyulang WLI02 Menggunakan ETAP 12.6.0

Tindakan ini bertujuan untuk memahami kondisi awal sistem sebelum menambahkan *Distributed Generation*. Tujuannya adalah untuk mendapatkan tegangan bus awal, total daya reaktif (MVar) dan daya aktif (MW) sistem, serta laporan kerugian daya di setiap titik bus. Sehingga hasil dari report *Load Flow Analysis* sebelum penambahan dg akan sebagai acuan apakah ada pengurangan rugi daya dan dapat memperbaiki profil tegangan setelah penambahan PV.

2. Pengumpulan Data Pengukuran Beban di Lapangan

Langkah awal sebelum memilih atau menempatkan dan menentukan kapasitas DG, adalah mengevaluasi seberapa besar beban yang terhubung ke penyulang WLI02 dan seberapa jauh jarak penyulang dalam menyuplai daya.

3. Load Flow Analysis beban pada Penyulang WLI02 sebelum pemasangan DG

Dari simulasi *Load Flow Analysis* beban didapatkan data report rugi – rugi daya pada masing – masing section dan jatuh tegangan pada setiap bus. Pengaturan daya, tegangan dan rating pada setiap komponen disesuaikan dengan library dan panjang kabel disesuaikan dengan data pengukuran di lapangan.

4. Menghitung Rugi – Rugi Daya dan Jatuh Tegangan tanpa DG

Data report rugi – rugi daya pada masing – masing section dan jatuh tegangan pada setiap bus selanjutnya akan dianalisis rugi daya tertinggi pada masing – masing bus, dan jatuh tegangan atau drop voltage yang tersambung dari bus sebelumnya dan bus setelahnya dapat di analisis dari report tersebut.

5. Menambahkan PV, DC – DC Converter, dan DC – AC Inverter

Report rugi – rugi daya sebelum adanya penambahan DG dapat dianalisis dimana saja letak penambahan DG yang memiliki jatuh tegangan, dan menentukan spesifikasi PV yang layak digunakan berdasarkan beban yang terukur.

6. Input data spesifikasi PV, DC – DC Converter, dan DC – AC Inverter

Keluaran daya, tegangan dan arus PV yang digunakan perlu dinaikkan menggunakan DC – DC Converter, kemudian dari arus DC diubah menjadi arus AC menggunakan Inverter. Keluaran dari inverter dapat disambungkan dengan beban sistem distribusi pada penyulang WLI02.

7. Menentukan Skenario Pemasangan DG

Dari hasil analisis ditentukan 3 skenario dalam pemasangan DG dengan 3 *Photovoltaic* di bus yang paling tinggi rugi dayanya, di bus dengan rugi daya tinggi kedua, dan bus yang paling jauh dari bus utama.

8. Analisa Rugi – Rugi Daya dan Jatuh Tegangan Setelah Pemasangan DG

Setelah pemasangan DG pada setiap section yang dipilih, maka diharapkan dapat mengurangi rugi daya dan memperbaiki profil tegangan setiap bus, sehingga simulasi tersebut dapat digunakan sebagai acuan untuk pemasangan *Photovoltaic* pada saluran distribusi tanpa memecah beban atau membuat feeder baru untuk mensuplai daya.



BAB IV

HASIL PENELITIAN & PEMBAHASAN

4.1 Gambaran Umum

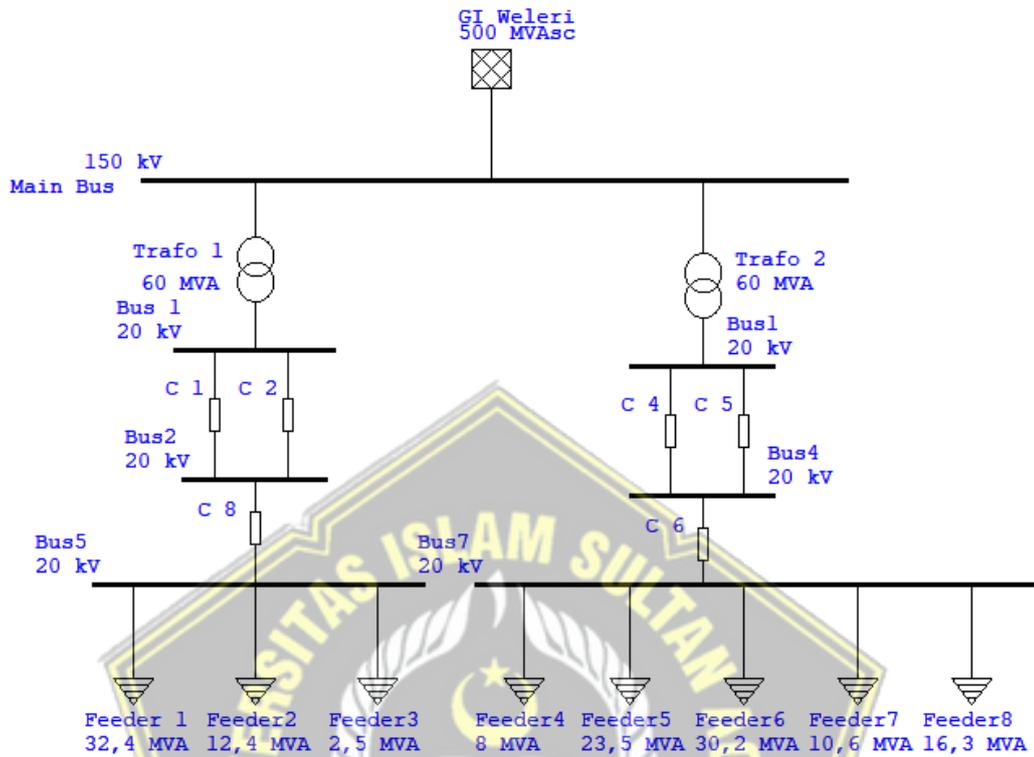
Pembangkit tersebar atau *Distributed Generation* diperoleh dari sumber energi terbarukan, salah satunya adalah *Distributed Energy Resource (DER)* Photovoltaic (Sinar Matahari). Namun pembangkit panel surya memiliki kelemahan yaitu adanya *intermitency* atau memiliki hasil energi yang selalu naik turun terpengaruhi oleh panas sinar matahari. Oleh karena itu, diperlukan teknik penetrasi DG yang bekerja dengan menyuntikkan daya aktif (P) untuk memperbaiki profil tegangan.

Permasalahan yang timbul pada sistem distribusi tipe radial yakni adanya rugi – rugi daya yang ditimbulkan dalam sistem distribusi pada bus paling jauh. Rugi – rugi daya diindikasikan dengan adanya jatuh tegangan yang melebihi batas standar minimal tegangan diterima (V_r) pada sisi pelanggan. Dimana batas minimal dan maksimal tegangan terima dari PLN sesuai standar tahun 2013 adalah +5% atau 1.05 p.u dan -10% atau 0.96 p.u.

Klasifikasikan *distributed generator* Jenis dan Kapasitas DG

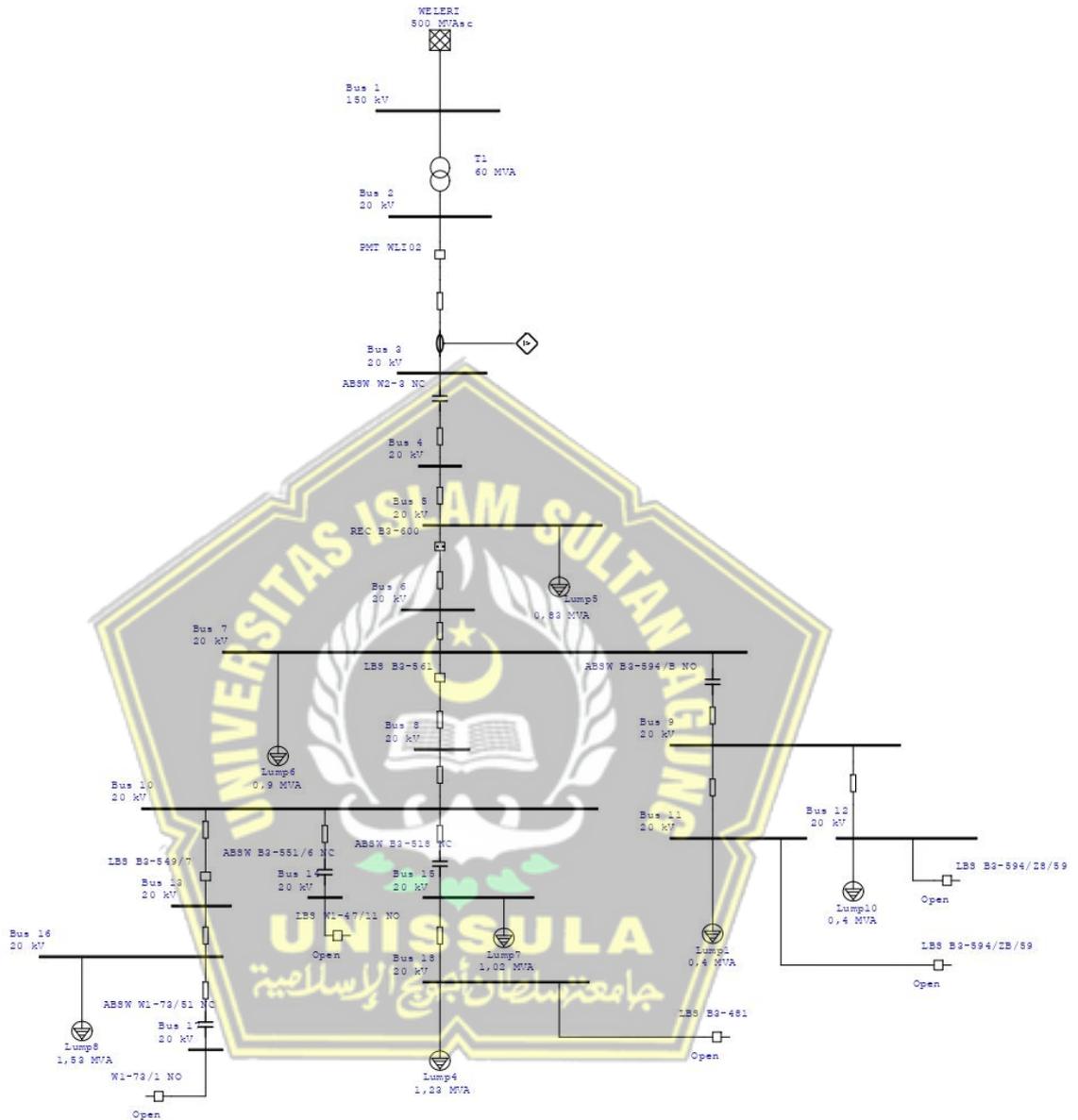
1. Micro distributed generator 1 watt – 5 kW
2. Small distributed generator 5 kW – 5 MW
3. Medium distributed generator 5 MW – 50 MW
4. Large distributed generator 50 MW – 300 MW

Penelitian ini membahas studi kasus rugi – rugi daya dan drop tegangan di sistem distribusi tipe radial khususnya pada sistem distribusi pada Penyulang Weleri 2 (WLI02). Jaringan Weleri disuplai oleh 2 transformator 60 MVA yang memiliki 8 *feeder* atau penyulang. Sistem distribusi ditunjukkan pada Gambar 4.1, sedangkan *Single Line Diagram* sistem distribusi penyulang (WLI02) ditunjukkan pada Gambar 4.2 dan Hasil *Load Flow Analysis* penyulang (WLI02) ditunjukkan pada Gambar 4.3.

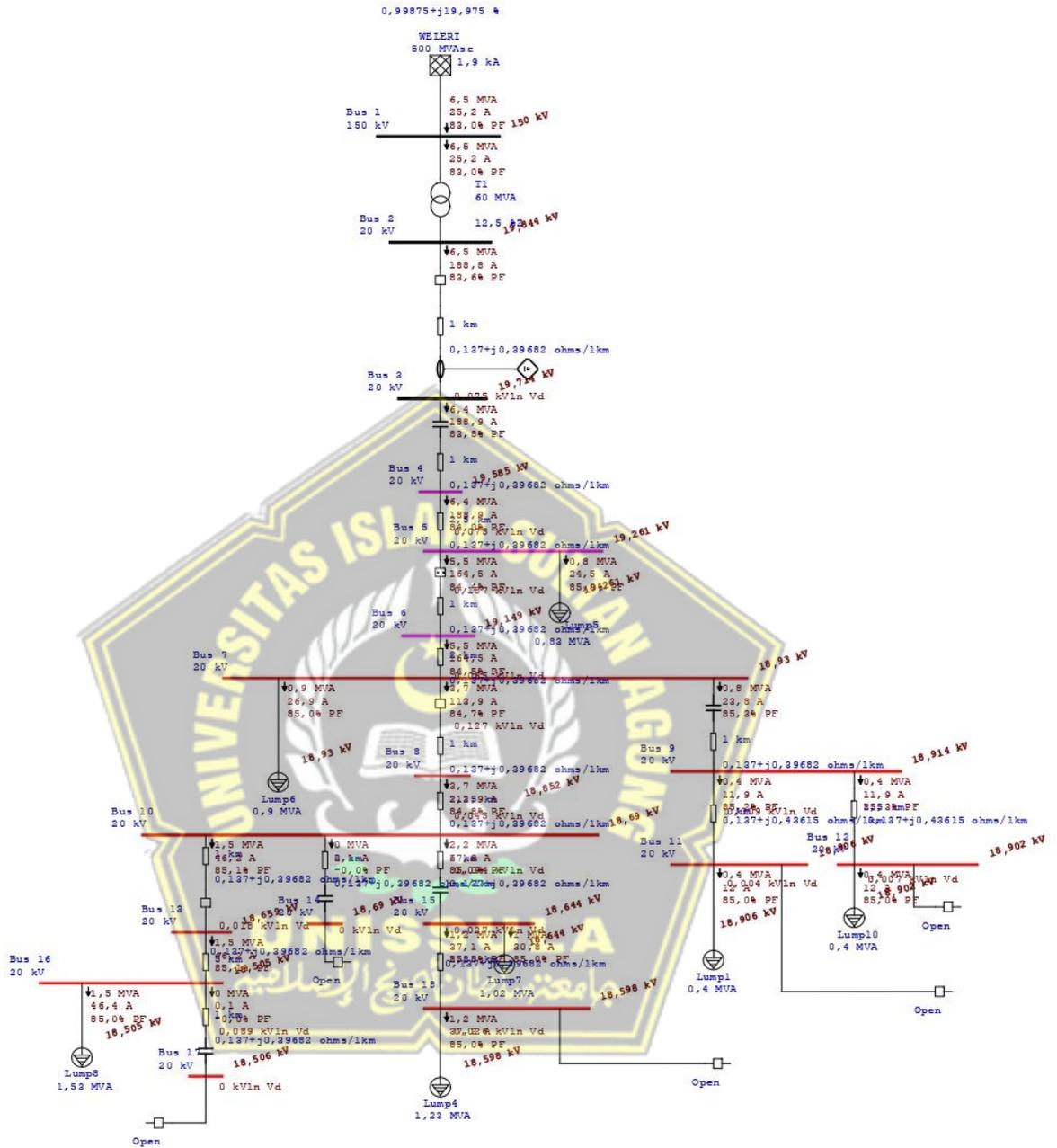


Gambar 4.1 Sistem Distribusi Weleri

4.2 Analisis Aliran Daya pada Sistem Distribusi Penyulang WLI02



Gambar 4.2 Simulasi Aliran Beban Penyulang WLI02



Gambar 4.3 Simulasi Load Flow Analysis Penyulang WLI02

Tabel 4.1 Hasil Analisis Load Flow pada Sistem Distribusi Radial WLI02

Section	From Bus	To Bus	Impedansi			Susut Data		% Bus Voltage	% Drop in Vmag
			R	X	Z	Daya Nyata (kW)	Daya Reaktif (kVar)		
T1	1	2	0,46	20,83	20,83	2,00	89,10	100	0,78
SEC 1 WLI 02	2	3	5,38	9,92	11,28	23,00	40,50	99,2	0,65
SEC 2 WLI 02	3	4	5,38	9,92	11,28	23,00	40,50	98,6	0,65
SEC 3 WLI 02	4	5	13,44	24,8	28,21	57,60	101,50	97,9	1,62
SEC 4 WLI 02	5	6	5,38	9,92	11,28	17,50	30,30	96,3	0,56
SEC 5 WLI 02	6	7	10,25	19,84	22,33	33,30	60,80	95,7	1,1
SEC 6 WLI 02	7	9	5,38	9,92	11,28	0,40	-1,10	94,6	0,08
SEC 7 WLI 02	9	11	4,1	10,90	11,65	0,10	-1,60	94,6	0,04
SEC 8 WLI 02	9	12	6,15	16,36	17,48	0,10	-2,40	94,6	0,06
SEC 9 WLI 02	7	8	5,38	9,92	11,28	8,40	13,60	94,6	0,39
SEC 10 WLI 02	8	10	11,02	21,33	24,01	17,20	29,40	94,3	0,81
SEC 11 WLI 02	10	15	5,38	9,92	11,28	3,00	3,70	93,4	0,23
SEC 12 WLI 02	15	18	9,48	18,35	20,66	1,60	-0,20	92,3	0,23
SEC 13 WLI 02	10	14	5,38	9,92	11,28	0,00	-1,80	93,4	0,00
SEC 14 WLI 02	10	13	5,13	9,92	11,17	1,30	0,80	93,4	0,15
SEC 15 WLI 02	13	16	25,63	49,6	55,83	6,60	4,00	93,3	0,77
SEC 16 WLI 02	16	17	5,38	9,92	11,28	0,00	-1,70	92,5	0,00
TOTAL						195,10	405,40	95,22	0,48

Berdasarkan data di atas, berdasarkan simulasi single line diagram penyulang WLI02, dilakukan analisis aliran daya (*Load Flow Analysis*) menggunakan *Electrical Transient and Analysis Simulation* (ETAP). Dari hasil pengolahan data tersebut, diperoleh profil tegangan dan kerugian daya (*Losses*).

Dari simulasi tersebut terlihat ada 16 section dalam penyulang WLI02, ada 12 bus yang mengalami jatuh tegangan diatas ditandai dengan warna merah pada masing – masing bus. Sedangkan dari hasil *Load Flow Analysis* dapat ditambahkan *Distributed Generation* (pembangkit tersebar) – *Photovoltaic* di masing – masing section yaitu SEC 3 WLI 02 – BUS 4, merupakan bus

yang memiliki susut daya paling besar, SEC 5 WLI 02 – BUS 6, merupakan bus yang memiliki susut daya besar kedua setelah SEC 3 WLI02, SEC 15 WLI 02 – BUS 13, merupakan bus yang paling jauh dari bus utama atau dari sumber energi listrik dengan jarak 14,5 km.

Penggunaan beban yang disimulasikan dalam perencanaan ini akan dialokasikan sebesar 60% untuk memasok daya dan mengurangi kerugian daya guna menghindari investasi yang terlalu besar. Perancangan ini hanya sebatas pada pengurangan total beban listrik. Untuk menentukan kapasitas modul Photovoltaic yang dibutuhkan, dapat dihitung sebagai berikut,

Contoh Perhitungan Beban :

Beban rata” malam hari = 186 A

$V = 20 \text{ kV}$

$\text{Cos } \phi = 0,95$

$$\begin{aligned} \text{Daya Semu} &= \sqrt{3} \times V \times I \\ &= \sqrt{3} \times 20.000 \times 186 = 6.431.682,71 \text{ VA} = 6,432 \text{ MW} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Daya Aktif} &= \sqrt{3} \times V \times I \times \text{cos } \phi \\ &= \sqrt{3} \times 20.000 \times 186 \times 0,95 = 6,11 \text{ MW} \end{aligned}$$

Berdasarkan Tabel 3.5 Data Pengukuran Beban puncak Beban Puncak rata” per 24 jam maka hasilnya kalikan 1 jam untuk energi yang diharuskan, maka dapat dibuat persamaan berikut :

Total Daya Aktif = 19,495 MW.

$$\begin{aligned} \text{Total Beban} &= \text{Total Daya} \times \text{Lama Penggunaan} \\ &= 19,495 \text{ MW} \times 1 \text{ h} = 19,495 \text{ MWh} \end{aligned}$$

1. Menghitung Area Array (PV Area)

$$\begin{aligned} \text{Beban} &= 60\% \times \text{Total Beban/Energi} \\ &= 60\% \times 19,495 \\ &= 11,697 \text{ MWh} \end{aligned}$$

Setelah beban diketahui, perlu dihitung luas area PV yang akan digunakan.

Perhitungannya dapat dilakukan sesuai dengan persamaan (2.7)

$$PV_{Area} = \frac{W}{G_{av} \times \eta_{pv} \times \text{TCF} \times \eta_{out}}$$

Sesuai dengan ketentuan yang berlaku, panel surya akan mengalami penurunan kapasitas jika suhu operasinya melebihi standar suhu optimal. Jika panel surya bekerja di atas suhu 25°C, maka kapasitasnya akan berkurang sebesar 0,5% untuk setiap peningkatan suhu. Suhu tertinggi yang tercatat adalah 29,82°C pada bulan April, dan suhu terendah adalah 25,15°C pada bulan Januari, sehingga terjadi peningkatan suhu sebesar 4,82°C.

Sehingga dapat dihitung dengan persamaan (2.4)

$$\begin{aligned} P \text{ saat naik } 4,82^{\circ}\text{C} &= 0,5\%/^{\circ}\text{C} \times P_{MPP} \times \text{Kenaikan } ^{\circ}\text{C} \\ &= 0,5\%/^{\circ}\text{C} \times 280 \text{ W} \times 4,82^{\circ}\text{C} \\ &= 6,748 \text{ W} \end{aligned}$$

Daya keluaran ketika suhu meningkat hingga 29,82°C ditentukan menggunakan persamaan (2.5)

$$\begin{aligned} P_{MPP} \text{ saat naik temperatur } ^{\circ}\text{C} &= P_{MPP} - P_{\text{saat temperatur } ^{\circ}\text{C} \text{ naik}} \\ 29,82^{\circ}\text{C} &= 280 \text{ W} - 6,748 \text{ W} \\ &= 273,252 \text{ W} \end{aligned}$$

Faktor koreksi temperatur (*Temperatur Correction Factor*) dihitung dengan persamaan (2.6)

$$\text{TCF} = \frac{273,252}{280} \times 100 = 0,975$$

Setelah data tersedia, kapasitas total area PV dapat dihitung menggunakan persamaan (2.7)

$$\begin{aligned} PV_{Area} &= \frac{W}{G_{av} \times \eta_{pv} \times \text{TCF} \times \eta_{out}} \\ &= \frac{11696,84 \text{ kwh}}{4,01 \frac{\text{kwh}}{\text{m}^2} \times 0,153 \times 0,975 \times 0,9} \\ &= 21.838,76 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

2. Menghitung Daya yang dibangkitkan

Berdasarkan penghitungan luas area array, daya yang dihasilkan oleh PLTS (Watt-Peak) dapat dihitung. Dengan luas area array sebesar 21.838,76 m², *Peak Sun Insolation* (PSI) sebesar 1000 W/m², dan efisiensi

modul surya sebesar 15,30%, penghitungan dilakukan menggunakan persamaan berikut (2.8).

$$\begin{aligned} P_{\text{watt peak}} &= \text{area array} \times PSI \times \eta_{pv} \\ &= 21.838,76 \text{ m}^2 \times 1000 \text{ w/m}^2 \times 0,153 \\ &= 3,34 \text{ MW} \end{aligned}$$

3. Menentukan Jumlah Modul Sel Surya

Untuk menentukan jumlah modul sel surya yang akan digunakan dalam perencanaan sistem dengan kapasitas PMPP sebesar 280 Wp per modul, berdasarkan nilai tersebut, jumlah modul sel surya yang dibutuhkan dapat dihitung dengan persamaan (2.9).

$$\begin{aligned} \text{Jumlah Panel Surya} &= \frac{P_{\text{Watt peak}}}{P_{\text{MPP}}} \\ &= \frac{3.341.330,28}{280} = 11.933 = 12.000 \text{ panel} \end{aligned}$$

4. Menentukan Rangkaian Panel Surya

Penentuan rangkaian ini dilakukan untuk mengetahui besar daya yang dihasilkan oleh panel surya secara keseluruhan. Jika ingin memperbesar arus, panel surya dipasang secara paralel, dan memperbesar tegangan, panel surya perlu dirangkai secara seri. Adapun perhitungan sebagai berikut :

Diketahui :

Modul Inverter

Minimum DC Inverter Voltage : 150 V

Maximum DC Inverter Voltage : 1000 V

Minimum DC Inverter Current : 33 A

Modul Panel Surya

Open Circuit Voltage (Voc) : 44,8 V

Maximum Power Voltage (Vmp) : 35,2 V

Maximum Power Current (Imp) : 7,95 A

Maximum System Voltage : 1000 V

Minimum System Voltage : 80 V

Pengaturan seri-paralel panel surya

1. Secara seri minimal sesuai dengan persamaan (2.10)

$$\text{Min modul seri per string} = \frac{150 \text{ V}}{44,8 \text{ V}} = 3,35 \text{ panel} \approx 3 \text{ panel}$$

2. Secara seri maksimal sesuai dengan persamaan (2.11)

$$\text{Max modul seri per string} = \frac{1000 \text{ V}}{35,2 \text{ V}} = 28,4 \text{ panel} \approx 28 \text{ panel}$$

3. Secara paralel sesuai dengan persamaan (2.12)

$$\text{Max paralel} = \frac{33 \text{ A}}{7,95 \text{ A}} = 4,15 \text{ panel} \approx 4 \text{ panel}$$

Oleh karena itu, tegangan dan arus maksimum yang dapat dihasilkan oleh array tersebut adalah :

$$28 \text{ (panel secara seri)} \times V_{mp} = 28 \times 35,2 = 985,6 \text{ V}$$

$$4 \text{ (panel di paralel)} \times I_{mp} = 4 \times 7,95 = 31,8 \text{ A}$$

Maka Daya yang dihasilkan sebagai berikut,

$$\text{Daya} = 985,6 \text{ V} \times 31,8 \text{ A} = 31,342 \text{ kW}$$

5. Menentukan Kapasitas Inverter

Berdasarkan perhitungan rangkaian seri dan paralel di atas, jumlah inverter yang digunakan 3 sesuai dengan jumlah PV yang akan dipasangkan di section tertentu, Karena modul surya dirangkai sesuai dengan spesifikasi sistem inverter, panel surya dirangkai secara seri dengan minimal 4 panel dan maksimal 28 panel, serta secara paralel tidak lebih dari 4 panel.

6. Menghitung Besar Daya Keluaran PLTS

Diasumsikan bahwa rugi daya sistem PLTS adalah 15% karena semua komponen sistem yang digunakan masih baru [5], Penurunan tegangan terjadi karena beberapa faktor seperti debu, suhu, dan kabel penghantar sebesar 10%, serta faktor rugi daya sebesar 5%. Oleh karena itu, energi dari panel surya dikurangi dengan besar rugi daya sesuai dengan perhitungan berikut:

Diketahui :

Modul Panel Surya (dari hasil perhitungan Point 3) = 12.000 Modul

P_{MPP}/P_{Max} (Daya keluaran maksimal PV) = 280 Watt

Maka, Besar Daya yang digunakan yaitu,

$$12.000 \text{ modul panel surya} \times 280 \text{ Watt} = 3.360.000 \text{ Watt} \approx 3,4 \text{ MW}$$

Dengan *Losses* 15% maka output dari PLTS yaitu :

$Losses = \text{besar daya terpasang} \times 15\%$

$$= 3,4 \text{ MW} \times 15\% = 504 \text{ KW}$$

$P_i = \text{besar daya yang digunakan} \times (100\% - 15\%)$

$$= 3,4 \text{ MW} - 504 \text{ KW} = 2,9 \text{ MW}$$

Berdasarkan hasil di atas, pengurangan rugi daya pada panel surya dengan kapasitas terpasang sebesar 2,9 MW. Selanjutnya, akan dianalisis energi yang dihasilkan oleh modul surya terkait dengan data radiasi matahari terendah dan tertinggi. Jika data yang digunakan adalah radiasi matahari terendah 4,01 H (berdasarkan data solargis (Lampiran 13)) maka energi yang dihasilkan PLTS dapat dihitung sebagai berikut :

$P_{out} = P_i \times \text{radiasi matahari minimum}$

$$= 2,9 \text{ MW} \times 4,01 \text{ H}$$

$$= 11,6 \text{ MWH}$$

dari hasil diatas pada saat radiasi matahari terendah sebesar 11,6 mwh.

Jika menggunakan data radiasi matahari tertinggi yaitu 6,61 H maka :

$P_{out} = P_i \times \text{radiasi matahari minimum}$

$$= 2,9 \text{ mw} \times 6,61 \text{ H} = 19 \text{ MWH}$$

Dengan demikian, energi yang dihasilkan oleh PLTS pada saat radiasi matahari tertinggi adalah 19 MWh. Energi tahunan rata-rata yang dihasilkan menggunakan data radiasi rata-rata, yang dikenal sebagai peak sun hour (PSH), adalah 5,175.

$P_{out} = P_i \times PSH$

$$= 2,9 \text{ MW} \times 5,175 \text{ H} = 15 \text{ MWH}$$

Energi yield = energi output x 365 hari

Energi yield = 15 mwh x 365 hari = 5,475 MWH/tahun

7. Menghitung Performance Ratio (PR)

Performance Ratio (PR) adalah ukuran kualitas suatu sistem berdasarkan energi tahunan yang dihasilkan. Jika nilai PR sistem berkisar antara 70-90%, maka sistem tersebut dianggap layak. Berikut ini cara menghitung nilai performance ratio dari sistem PLTS ini :

$$PR = \frac{E_{yield}}{E_{ideal}}$$

$$E_{ideal} = P_{array_STC} \times H_{tilt}$$

$$H_{tilt} = PSH \times 365 = (5,175 \text{ h} \times \frac{1000 \text{ w}}{\text{m}^2}) \times 365 \text{ hari} = 1888,87 \text{ kWh/m}^2$$

$$Energ\ i\ ideal = \text{daya spesifikasi modul surya} \times \text{jumlah modul} \times H_{tilt}$$

$$\begin{aligned} Energ\ i\ ideal &= 280 \text{ Wp} \times 12.000 \text{ modul} \times 1888,87 \frac{\text{h}}{\text{tahun}} \\ &= 6.346.603 \text{ kWh/tahun} \end{aligned}$$

Sehingga diperoleh PR, sebesar :

$$PR = \frac{E_{yield}}{E_{ideal}}$$

$$PR = \frac{5.475.000.000}{6.346.603.200} = 0,86 \approx 86\%$$

Jadi, dari hasil perhitungan performa ratio diatas ratio sebesar 86%

4.3 Analisa Pemasangan Distributed Generation

Berdasarkan analisis data aliran daya pada sistem distribusi Weleri, terjadi penurunan tegangan dan rugi-rugi daya yang sangat tinggi. Oleh karena itu, perlu diperbaiki dengan menggunakan sistem Photovoltaic. Pemasangan Distributed Generation (DG) akan dilakukan pada bus-bus berikut ini :

- a. SEC 3 WLI 02 – BUS 4, merupakan bus yang memiliki susut daya paling besar yaitu 57,6 kWatt dan 101,5 kVar
- b. SEC 5 WLI 02 – BUS 6, merupakan bus yang memiliki susut daya besar yaitu 33,3 kWatt dan 60,8 kVar.
- c. SEC 15 WLI 02 – BUS 13, merupakan bus yang paling jauh dari bus utama atau dari sumber energi listrik dengan jarak 14,5 km dengan beban 1,53 MVA.

4.4 Pemasangan Distributed Generation PV Pada SEC 3 WLI 02 – BUS 4

Tabel 4.2 Rugi Daya pemasangan PV Pada SEC 3 WLI 02 – BUS 4

Section	From Bus	To Bus	Rugi - rugi daya			
			Sebelum		Sesudah	
			Penambahan PV Daya Nyata (kW)	Daya Reaktif (kVar)	Pemasangan PV Daya Nyata (kW)	Daya Reaktif (kVar)
T1	1	2	2,00	89,10	0,00	0,00
SEC 1 WLI 02	2	3	23,00	40,50	0,00	-2,00
SEC 2 WLI 02	3	4	23,00	40,50	0,00	-2,00
SEC 3 WLI 02	4	5	57,60	101,50	55,90	98,30
SEC 4 WLI 02	5	6	17,50	30,30	17,00	29,30
SEC 5 WLI 02	6	7	33,30	60,80	32,30	58,80
SEC 6 WLI 02	7	9	0,40	-1,10	0,40	-1,20
SEC 7 WLI 02	9	11	0,10	-1,60	0,10	-1,70
SEC 8 WLI 02	9	12	0,10	-2,40	0,10	-2,60
SEC 9 WLI 02	7	8	8,40	13,60	8,10	13,10
SEC 10 WLI 02	8	10	17,20	29,40	16,70	28,30
SEC 11 WLI 02	10	15	3,00	3,70	2,90	3,50
SEC 12 WLI 02	15	18	1,60	-0,20	1,50	-0,40
SEC 13 WLI 02	10	14	0,00	-1,80	0,00	-1,80
SEC 14 WLI 02	10	13	1,30	0,80	1,30	0,60
SEC 15 WLI 02	13	16	6,60	4,00	6,40	3,30
SEC 16 WLI 02	16	17	0,00	-1,70	0,00	-1,80
TOTAL			195,10	405,40	142,70	221,70

Dari Tabel 4.6, total rugi – rugi daya pada WLI02 sebelum adanya pemasangan *Photovoltaic* berjumlah daya aktif 195,10 kW sedangkan daya reaktif 405,40 kVAR. Dari data diatas dapat dilihat pada section 3 pada bus

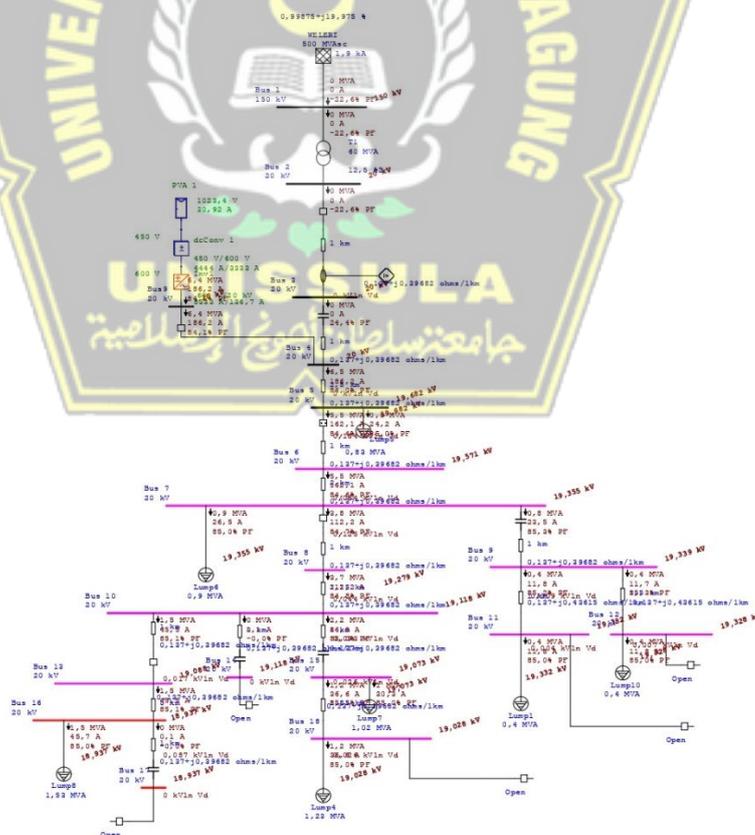
4 ke bus 5 memiliki rugi daya tertinggi 57,60 kW dan daya reaktif 101,5 kVAR. Setelah adanya perbaikan pemasangan *Photovoltaic* pada Section 3 WLI 02 Bus 4 – Bus 5 maka terdapat pengurangan rugi daya pada setiap section terutama pada Bus 4 dari 57,60 kW menjadi 55,90 kW. Total pengurangan rugi – rugi daya aktif dari 195,10 kW menjadi 142,70 kW sedangkan daya reaktif dari 405,40 kVAR menjadi 221,70 kVAR setelah adanya penambahan PV pada Section 3.

Tabel 4.3 Hasil Tegangan pemasangan PV Pada SEC 3 WLI 02 – BUS 4

Section	From Bus	To Bus	Tegangan			
			Sebelum Pemasangan PV		Sesudah Pemasangan PV	
			% bus voltage	KV	% bus voltage	KV
T1	1	2	100	150	100	150
SEC 1 WLI 02	2	3	99,2	19,844	100	20
SEC 2 WLI 02	3	4	98,6	19,714	100	20
SEC 3 WLI 02	4	5	97,9	19,585	100	20
SEC 4 WLI 02	5	6	96,3	19,261	98,4	19,682
SEC 5 WLI 02	6	7	95,7	19,149	97,9	19,571
SEC 6 WLI 02	7	9	94,6	18,93	96,8	19,355
SEC 7 WLI 02	9	11	94,6	18,914	96,7	19,339
SEC 8 WLI 02	9	12	94,6	18,914	96,7	19,339
SEC 9 WLI 02	7	8	94,6	18,93	96,8	19,355
SEC 10 WLI 02	8	10	94,3	18,852	96,4	19,279
SEC 11 WLI 02	10	15	93,4	18,69	95,6	19,118
SEC 12 WLI 02	15	18	93,2	18,644	95,4	19,073
SEC 13 WLI 02	10	14	93,4	18,69	95,6	19,118
SEC 14 WLI 02	10	13	93,4	18,69	95,6	19,118

SEC 15 WLI 02	13	16	93,3	18,659	95,4	18,937
SEC 16 WLI 02	16	17	92,5	18,505	94,7	18,937
TOTAL			95,27	26,70	97,17	27,07

Setelah pemasangan *Photovoltaic* pada Section 3 WLI02 di Bus 4 memiliki penurunan tegangan dari 19,714 kV dari section 2 menjadi 19,585 kV. Nilai persentase tegangan pada Section 3 WLI02 dari 97,9% setelah pemasangan PV menjadi 100%. Kenaikan tegangan tidak hanya terjadi di Section 3 WLI02 saja, tetapi dapat memperbaiki nilai tegangan pada bus lain. Nilai rata – rata persentase tegangan pada masing -masing bus sebelumnya 95,27% kemudian bertambah dari menjadi 97,17% sedangkan nilai tegangan rata – rata dalam volt dari 26,70 kV menjadi 27,07 kV. Dari Tabel 4.6 dan 4.7 penambahan PV di Bus 4 dapat dilihat pada *Single Line Diagram* pada Gambar 4.4



Gambar 4.4 Load Flow Analysis Penambahan PV di Bus 4

4.5 Pemasangan Distributed Generation PV Pada SEC 5 WLI 02 – BUS 6

Tabel 4.4 Rugi Daya pemasangan PV Pada SEC 5 WLI 02 – BUS 6

Section	From Bus	To Bus	Rugi - rugi daya			
			Sebelum		Sesudah	
			Penambahan PV	Penambahan PV	Pemasangan PV	Pemasangan PV
Daya Nyata (kW)	Daya Reaktif (kVar)	Daya Nyata (kW)	Daya Reaktif (kVar)	Daya Nyata (kW)	Daya Reaktif (kVar)	
T1	1	2	0,00	0,00	0,00	0,00
SEC 1 WLI 02	2	3	0,00	-2,00	0,00	-2,00
SEC 2 WLI 02	3	4	0,00	-2,00	0,00	-2,00
SEC 3 WLI 02	4	5	55,90	98,30	0,10	-4,90
SEC 4 WLI 02	5	6	17,00	29,30	0,20	-1,70
SEC 5 WLI 02	6	7	32,30	58,80	31,40	56,90
SEC 6 WLI 02	7	9	0,40	-1,20	0,30	-1,30
SEC 7 WLI 02	9	11	0,10	-1,70	0,10	-1,80
SEC 8 WLI 02	9	12	0,10	-2,60	0,10	-2,70
SEC 9 WLI 02	7	8	8,10	13,10	7,90	12,60
SEC 10 WLI 02	8	10	16,70	28,30	16,20	27,20
SEC 11 WLI 02	10	15	2,90	3,50	2,80	3,30
SEC 12 WLI 02	15	18	1,50	-0,40	1,50	-0,70
SEC 13 WLI 02	10	14	0,00	-1,80	0,00	-1,90
SEC 14 WLI 02	10	13	1,30	0,60	1,20	0,50
SEC 15 WLI 02	13	16	6,40	3,30	6,20	2,50
SEC 16 WLI 02	16	17	0,00	-1,80	0,00	-1,90
TOTAL			142,70	221,70	68,00	82,10

Dari Tabel 4.8, total rugi – rugi daya pada WLI02 sebelum adanya pemasangan *Photovoltaic* di section 3 pada bus 4 dan kemudian pemasangan di section 5 pada bus 6 berjumlah daya aktif 142,70 kW sedangkan daya reaktif 221,70 kVAR. Dari data diatas dapat dilihat pada

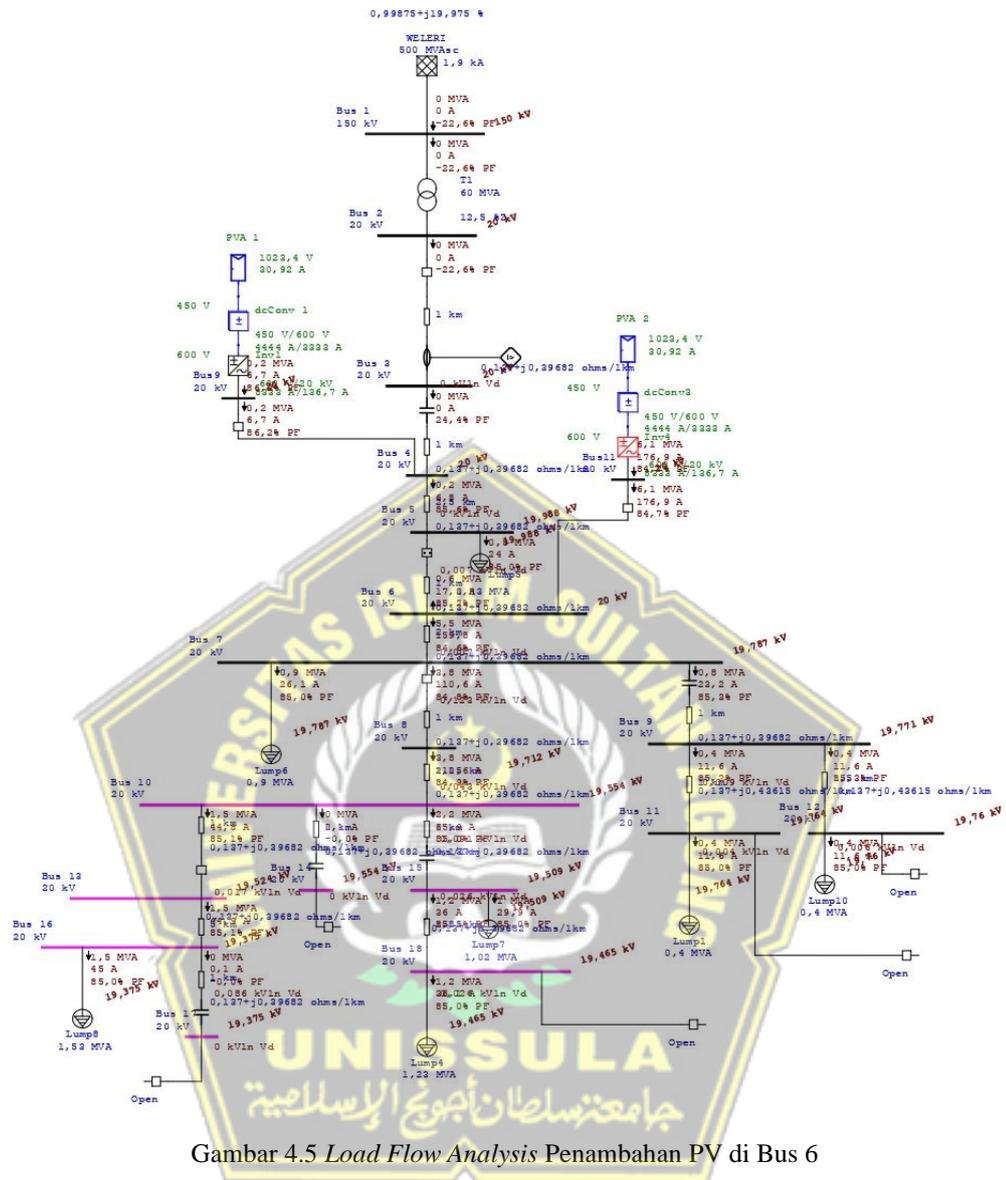
Section 5 pada Bus 6 memiliki rugi daya tertinggi kedua setelah Section 3 pada Bus 4, sebesar 32,30 kW dan daya reaktif 58,80 kVAR. Total pengurangan rugi – rugi daya aktif dari 142,70 kW menjadi 68,00 kW sedangkan daya reaktif dari 221,70 kVAR menjadi 82,10 kVAR setelah adanya penambahan PV pada Section 3 dan Section 5.

Tabel 4.5 Hasil Tegangan pemasangan PV Pada SEC 5 WLI 02 – BUS 6

Section	From Bus	To Bus	Tegangan			
			Sebelum Penambahan PV		Sesudah Pemasangan PV	
			% bus voltage	KV	% bus voltage	KV
T1	1	2	100	150	100,00	150,00
SEC 1 WLI 02	2	3	100	20	100,00	20,00
SEC 2 WLI 02	3	4	100	20	100,00	20,00
SEC 3 WLI 02	4	5	100	20	100,00	20,00
SEC 4 WLI 02	5	6	98,4	19,682	99,90	19,99
SEC 5 WLI 02	6	7	97,9	19,571	100,00	20,00
SEC 6 WLI 02	7	9	96,8	19,355	98,90	19,79
SEC 7 WLI 02	9	11	96,7	19,339	98,90	19,77
SEC 8 WLI 02	9	12	96,7	19,339	98,90	19,77
SEC 9 WLI 02	7	8	96,8	19,355	98,90	19,79
SEC 10 WLI 02	8	10	96,4	19,279	98,60	19,71
SEC 11 WLI 02	10	15	95,6	19,118	97,80	19,55
SEC 12 WLI 02	15	18	95,4	19,073	97,50	19,51
SEC 13 WLI 02	10	14	95,6	19,118	97,80	19,55
SEC 14 WLI 02	10	13	95,6	19,118	97,80	19,55
SEC 15 WLI 02	13	16	95,4	18,937	97,60	19,52
SEC 16 WLI 02	16	17	94,7	18,937	96,90	19,38
TOTAL			97,18	27,07	98,79	27,41

Setelah pemasangan *Photovoltaic* pada Section 5 WLI02 di Bus 6 memiliki penurunan tegangan dari 19,571 kV menjadi 20,00 kV. Nilai persentase tegangan pada Section 5 WLI02 dari 97,9% setelah pemasangan PV menjadi 100%. Kenaikan tegangan tidak hanya terjadi di Section 5 WLI02 saja, tetapi dapat memperbaiki nilai tegangan pada bus lain. Nilai rata – rata persentase tegangan pada masing -masing bus sebelumnya 97,18% kemudian bertambah dari menjadi 98,79% sedangkan nilai tegangan rata – rata dalam volt dari 27,07 kV menjadi 27,41 kV. Dari Tabel 4.8 dan 4.9 penambahan PV di Bus 6 dapat dilihat pada *Single Line Diagram* pada Gambar 4.5





Gambar 4.5 Load Flow Analysis Penambahan PV di Bus 6

4.6 Pemasangan Distributed Generation PV pada SEC 15 WLI 02 – BUS 13

Tabel 4.6 Rugi Daya pemasangan PV Pada SEC 15 WLI 02 – BUS 13

Section	From Bus	To Bus	Rugi - rugi daya			
			Sebelum Penambahan PV		Sesudah Pemasangan PV	
			Daya Nyata (kW)	Daya Reaktif (kVar)	Daya Nyata (kW)	Daya Reaktif (kVar)

T1	1	2	0,00	0,00	0,00	0,00
SEC 1 WLI 02	2	3	0,00	-2,00	0,00	-2,00
SEC 2 WLI 02	3	4	0,00	-2,00	0,00	-2,00
SEC 3 WLI 02	4	5	0,10	-4,90	0,10	-4,90
SEC 4 WLI 02	5	6	0,20	-1,70	0,20	-1,70
SEC 5 WLI 02	6	7	31,40	56,90	2,30	0,50
SEC 6 WLI 02	7	9	0,30	-1,30	0,30	-1,40
SEC 7 WLI 02	9	11	0,10	-1,80	0,10	-1,80
SEC 8 WLI 02	9	12	0,10	-2,70	0,10	-2,70
SEC 9 WLI 02	7	8	7,90	12,60	0,00	-2,00
SEC 10 WLI 02	8	10	16,20	27,20	0,00	-4,20
SEC 11 WLI 02	10	15	2,80	3,30	2,70	3,00
SEC 12 WLI 02	15	18	1,50	-0,70	1,40	-0,90
SEC 13 WLI 02	10	14	0,00	-1,90	0,00	-2,00
SEC 14 WLI 02	10	13	1,20	0,50	3,00	3,90
SEC 15 WLI 02	13	16	6,20	2,50	6,00	1,70
SEC 16 WLI 02	16	17	0,00	-1,90	0,00	-2,00
TOTAL			68,00	82,10	16,20	-18,50

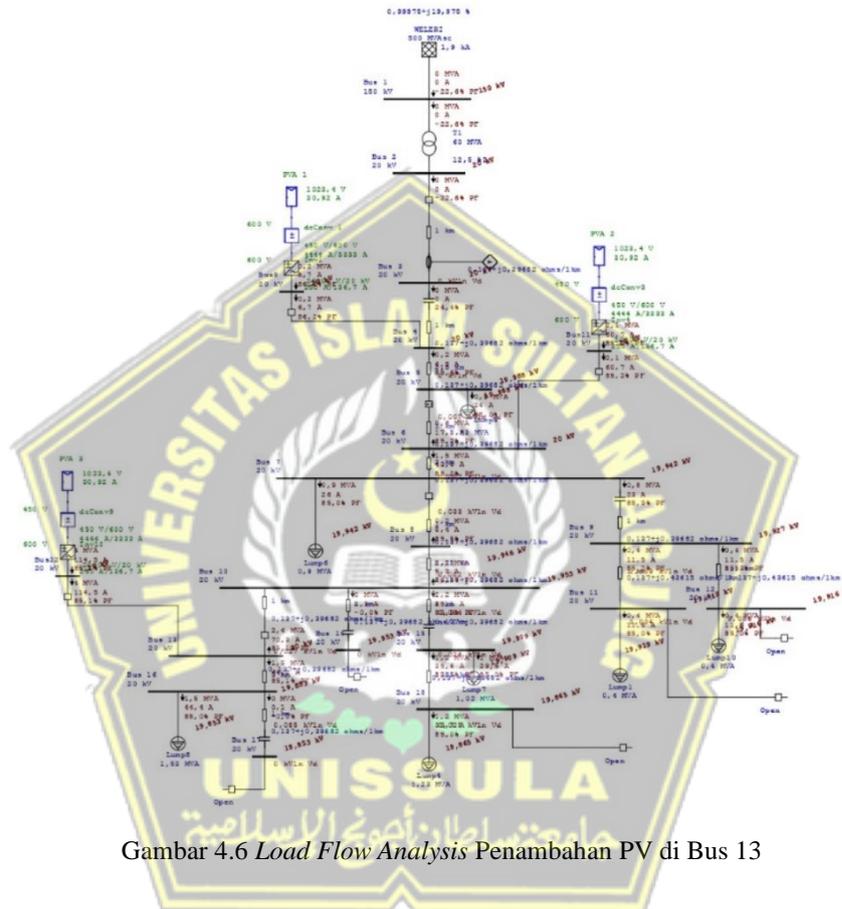
Dari Tabel 4.10, total rugi – rugi daya pada WLI02 sebelum adanya pemasangan *Photovoltaic* di Section 3 pada Bus 4, Section 5 pada Bus 6, kemudian pemasangan PV ketiga di Section 15 WLI02 Bus 13 dengan daya aktif 6,20 kW sedangkan daya reaktif 2,5 kVAR. Dari data diatas dapat dilihat pada Section 15 pada Bus 13 merupakan bus yang paling jauh dari bus utama atau dari sumber energi listrik dengan jarak 14,5 km dengan beban 1,53 MVA. Pemasangan pada Section 15 - Bus 4, dari 6,20 kW menjadi 6,00 kW dan daya reaktif dari 2,50 kVAR menjadi 1,70 kVAR. Total pengurangan rugi – rugi daya aktif dari 68,00 kW menjadi 16,20 kW sedangkan daya reaktif dari 82,10 kVAR menjadi -18,50 kVAR setelah adanya penambahan PV ketiga pada Section 15 – bus 13.

Tabel 4.7 Hasil Tegangan pemasangan PV Pada SEC 15 WLI 02 – BUS 13

Section	From Bus	To Bus	Tegangan			
			Sebelum Pemasangan PV		Sesudah Pemasangan PV	
			% bus voltage	KV	% bus voltage	KV
T1	1	2	100,00	150,00	100	150
SEC 1 WLI 02	2	3	100,00	20,00	100	20
SEC 2 WLI 02	3	4	100,00	20,00	100	20
SEC 3 WLI 02	4	5	100,00	20,00	100	20
SEC 4 WLI 02	5	6	99,90	19,99	99,9	19,99
SEC 5 WLI 02	6	7	100,00	20,00	100	20
SEC 6 WLI 02	7	9	98,90	19,79	99,7	19,942
SEC 7 WLI 02	9	11	98,9	19,77	99,7	19,927
SEC 8 WLI 02	9	12	98,9	19,77	99,7	19,927
SEC 9 WLI 02	7	8	98,9	19,79	99,6	19,942
SEC 10 WLI 02	8	10	98,6	19,71	99,6	19,946
SEC 11 WLI 02	10	15	97,8	19,55	99,8	19,953
SEC 12 WLI 02	15	18	97,50	19,51	99,8	19,909
SEC 13 WLI 02	10	14	97,80	19,55	99,8	19,953
SEC 14 WLI 02	10	13	97,80	19,55	100	19,953
SEC 15 WLI 02	13	16	97,60	19,52	99,5	20
SEC 16 WLI 02	16	17	96,90	19,38	99,3	19,853
TOTAL			98,87	27,41	99,79	27,61

Setelah pemasangan *Photovoltaic* pada Section 15 WLI02 di Bus 13 memiliki penurunan tegangan dari 19,52 kV menjadi 20,00 kV. Nilai persentase tegangan pada Section 15 WLI02 dari 97,6% setelah pemasangan PV menjadi 99,5%. Kenaikan tegangan tidak hanya terjadi di Section 15 WLI02 saja, tetapi dapat memperbaiki nilai tegangan pada bus lain. Nilai

rata – rata persentase tegangan pada masing -masing bus sebelumnya 98,87% kemudian bertambah dari menjadi 99,79% sedangkan nilai tegangan rata – rata dalam volt dari 27,41 kV menjadi 27,61 kV. Dari Tabel 4.10 dan 4.11 penambahan PV di Bus 13 dapat dilihat pada *Single Line Diagram* pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Load Flow Analysis Penambahan PV di Bus 13

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan untuk mengetahui pengaruh penentuan Photovoltaic dan kapasitas pembangkit tersebar pada sistem distribusi WLI02, kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Pemasangan *Distributed Generation* (PV) Skenario 1 – Section 3 memiliki pengurangan rugi – rugi daya aktif dari 195,10 kW menjadi 142,70 kW, sedangkan nilai rata – rata persentase tegangan sebelumnya sebesar 95,27% menjadi 97,17% sedangkan nilai tegangan rata – rata dalam volt dari 26,70 kV menjadi 27,07 kV.
2. Pemasangan *Distributed Generation* (PV) Skenario 2 – Section 6 memiliki pengurangan rugi – rugi daya aktif dari 142,70 kW menjadi 68,00 kW, sedangkan nilai rata – rata persentase tegangan sebelumnya sebesar 97,18% menjadi 98,79% sedangkan nilai tegangan rata – rata dalam volt dari 27,07 kV menjadi 27,41 kV.
3. Pemasangan *Distributed Generation* (PV) Skenario 3 – Section 15 memiliki pengurangan rugi – rugi daya aktif dari 68,00 kW menjadi 16,20 kW, sedangkan nilai rata – rata persentase tegangan sebelumnya sebesar 98,87% menjadi 99,79% sedangkan nilai tegangan rata – rata dalam volt dari 27,41 kV menjadi 27,61 kV.
4. Dari 3 skenario yang telah dilakukan dalam simulasi pemasangan *Distributed Generation* pada sistem WLI02, pemasangan PV di 3 lokasi berbeda dapat mengurangi rugi-rugi daya dan memperbaiki profil tegangan pada feeder.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil pembahasan dan kesimpulan, penulis menyarankan sebagai berikut :

1. Penelitian selanjutnya diharapkan untuk mengkaji lebih banyak sumber maupun referensi yang terkait dengan simulasi *Load Flow Analysis* dan data perhitungan agar hasil penelitian dapat lebih baik dan lebih lengkap.
2. Penelitian selanjutnya dapat mengimplementasikan hasil simulasi pada sistem jaringan distribusi secara langsung, sehingga dapat menggunakan *Distributed Generation (DG) Photovoltaic* sebagai solusi untuk memperbaiki profil tegangan dan mengurangi rugi daya.
3. Penelitian selanjutnya dapat mengkaji PLTS on grid dengan kapasitas diatas 1 Mega perlu ditambahkan generator untuk mensuplai penyerapan daya aktif.



DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. Y. Atmaja, Sarjiya, and L. M. Putranto, "Pengembangan Metode Penentuan Kapasitas Hosting untuk Penetrasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap di Jaringan Distribusi Tegangan Rendah," *Univ. Gadjah Mada*, pp. 1–9, 2019.
- [2] D. N. Nurmala Putri, E. Widiono Suwondo, S. Abduh, H. H. Arifin, A. Syatriawan, and C. G. Irianto, "Hosting Capacity Analysis for *Photovoltaic* Rooftop in Indonesia," *Proc. 2nd Int. Conf. High Volt. Eng. Power Syst. Towar. Sustain. Reliab. Power Deliv. ICHVEPS 2019*, no. May 2018, pp. 1–5, 2019, doi: 10.1109/ICHVEPS47643.2019.9011093.
- [3] J. E. Elektrik, "Analisa Teknologi Fotovoltaik Sebagai Distributed Generation (Dg) Pada Sistem Distribusi Menggunakan Software Electric Transient And Analysis Program (ETAP)," vol. 08, pp. 11–17, 2019.
- [4] U. Malikussaleh and U. Mataram, "Simulasi Dan Analisa Pemasangan Distributed Generation Pada Sistem Distribusi 20 Kv Menggunakan ETAP," no. 72, pp. 443–454, 2022.
- [5] A. Gifson and M. P. Pambudi, "Rancang bangun pembangkit listrik tenaga surya (plts) on grid di ecopark ancoul," vol. 22, no. 1, pp. 23–33, 2020.
- [6] R. Khomarudin, J. T. Putra, R. Syahputra, and A. N. N. Chamim, "Hosting Capacity Distribution System Yogyakarta with Ant Lion Optimization: A Case Multiobjective," *J. Ilm. Tek. Elektro Komput. dan Inform.*, vol. 7, no. 1, p. 88, 2021, doi: 10.26555/jiteki.v7i1.20473.
- [7] M. Zainuddin and H. Annur, "Optimasi Penempatan dan Kapasitas PLTS on grid Pada Sistem Distribusi Radial Menggunakan Metode Algoritma Genetika Multi Konstrain," *J. Rekayasa Elektr.*, vol. 15, no. 1, 2019, doi: 10.17529/jre.v15i1.12507.
- [8] N. W. Budiantari, W. G. Ariastina, and I. W. S. I.W.Sukerayasa, "Analisis Hosting Capacity Pada Jaringan Tegangan Menengah Untuk Suplai Daya Listrik Daerah Pedesaan," *J. SPEKTRUM*, vol. 9, no. 2, p. 39, 2022, doi: 10.24843/spektrum.2022.v09.i02.p5.
- [9] Y. A. Augusta, "Optimasi Penempatan dan Kapasitas Multi DG pada Sistem Distribusi dengan Metode Flower Pollination Algorithm," pp. 1–19, 2018.
- [10] F. Capitanescu, L. F. Ochoa, H. Margossian, and N. D. Hatziargyriou, "Assessing the potential of network reconfiguration to improve distributed generation hosting capacity in active distribution systems," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 30, no. 1, pp. 346–356, 2015, doi: 10.1109/TPWRS.2014.2320895.

- [11] D. K. Tabarok, A. Saleh, and B. S. Kaloko, "Optimasi Penempatan Distributed Generation (DG) dan Kapasitor pada Sistem Distribusi Radial Menggunakan Metode Genetic Algorithm (GA) (Studi Kasus pada Penyulang Watu Ulo Jember)," *Berk. Sainstek*, vol. 5, no. 1, p. 35, 2017, doi: 10.19184/bst.v5i1.5373.

