

**ANALISIS *HOSTING CAPACITY PHOTOVOLTAIC* PADA PENYULANG
HUJAN 20 kV PT. PLN UP3 TANJUNG KARANG**

(Skripsi)

Oleh

RIKA SEPTI RIANI

2115031047



**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2025

ABSTRAK

ANALISIS *HOSTING CAPACITY PHOTOVOLTAIC* PADA PENYULANG HUJAN 20 kV PT. PLN UP3 TANJUNG KARANG

Oleh:

Rika Septi Riani

Energi surya merupakan sumber energi terbarukan yang potensial untuk mendukung target *Net Zero Emissions* Indonesia. Integrasi pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) berbasis *photovoltaic* (PV) ke sistem distribusi perlu dianalisis agar tidak melebihi batas operasional jaringan. Penentuan kapasitas hosting (*hosting capacity*) PV pada penyulang Hujan 20 kV menggunakan metode teorema persamaan garis dan selanjutnya disimulasikan menggunakan *software* ETAP 16.00. Hasil menunjukkan bahwa total kapasitas PV yang dapat diinjeksikan tanpa mengganggu kinerja sistem adalah 125,60 kWp. Penambahan PV meningkatkan profil tegangan, mengurangi rugi-rugi daya, dan menurunkan beban termal saluran. Penelitian ini memberikan rekomendasi teknis untuk integrasi PV yang aman dan efisien dalam sistem distribusi.

Kata Kunci: *Hosting capacity*, *Photovoltaic*, Sistem distribusi, Energi surya, ETAP 16.00

ABSTRACT

ANALYSIS OF PHOTOVOLTAIC HOSTING CAPACITY ON 20 kV RAINFALL FEEDERS PT. PLN UP3 TANJUNG KARANG

By:

Rika Septi Riani

Solar energy is a potential renewable energy source to support Indonesia's Net Zero Emissions target. The integration of photovoltaic (PV)-based solar power plants (PLTS) into the distribution system needs to be analyzed so as not to exceed the operational limits of the network. Determination of the PV hosting capacity on the 20 kV Hujan feeder uses the line equation theorem method and is then simulated using ETAP 16.00 software. The results show that the total PV capacity that can be injected without disrupting system performance is 125.60 kWp. The addition of PV improves the voltage profile, reduces power losses, and reduces the thermal load of the line. This study provides technical recommendations for safe and efficient PV integration in the distribution system.

Keywords: Hosting capacity, Photovoltaic, Distribution system, Solar energy, ETAP 16.00

**ANALISIS *HOSTING CAPACITY PHOTOVOLTAIC* PADA PENYULANG
HUJAN 20 kV PT. PLN UP3 TANJUNG KARANG**

Oleh
RIKA SEPTI RIANI

Skripsi
Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK
Pada
Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Lampung



**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2025

Judul Skripsi

: **ANALISIS *HOSTING CAPACITY*
PHOTOVOLTAIC PADA PENYULANG
HUJAN 20 kV PT. PLN UP3 TANJUNG
KARANG**

Nama Mahasiswa

: **RIKA SEPTI RIANI**

Nomor Pokok Mahasiswa

: **2115031047**

Jurusan

: **Teknik Elektro**

Fakultas

: **Teknik**



MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

Ir. Herri Gusmedi, S.T., M.T., I.P.M.
NIP. 19710813 199903 1 003

Zulmiftah Huda, S.T., M.Eng
NIP. 19880624 201903 1 015

2. Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Elektro

Ketua Program Studi Teknik Elektro

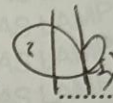
Herlinawati, S.T., M.T.
NIP. 19710314 199903 2 001

Sumadi, S.T., M.T.
NIP. 19731104 200003 1 001

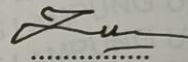
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Ir. Herri Gusmedi, S.T., M.T., I.P.M

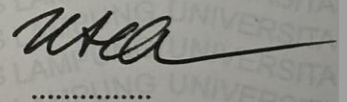


Sekretaris : Zulmiftah Huda, S.T., M.Eng



Penguji

Bukan Pembimbing : Osea Zebua, S.T., M.T.



2. Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung



Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.

NIP. 19750928 200112 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 03 Juni 2025

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain dan sepanjang sepengetahuan saya tidak terdapat atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana yang disebutkan dalam daftar pustaka. Selain itu, saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya tidak benar, maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 03 Juni 2025



Rika Septi Riani

NPM. 2115031047

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Tanjung Baru pada tanggal 08 September 2002, merupakan anak keempat dari empat bersaudara dari pasangan Bapak Ambari dan Ibu Umi Kalsum. Penulis memiliki tiga orang saudara, yaitu kakak laki-laki yang bernama Hendri Gunawan dan Hendra Gandi, kakak perempuan bernama Ria Anjelina. Penulis memulai jenjang pendidikan Tingkat dasar di SD Negeri 3 Tanjung Baru yang diselesaikan pada tahun 2014, lalu dilanjutkan pendidikan tingkat pertama di SMP Negeri 2 Bukit Kemuning yang diselesaikan pada tahun 2017 dan dilanjutkan menempuh Pendidikan Tingkat atas di SMK Negeri 1 Bukit Kemuning yang diselesaikan pada tahun 2020.

Penulis diterima di Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN pada tahun 2021. Selama menjadi mahasiswa, penulis tergabung dalam Asisten Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi pada tahun 2024. Berperan aktif menjadi asisten Praktikum Teknik Tegangan Tinggi tahun 2024. Penulis juga tergabung dalam Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro (Himatro) sebagai anggota department Sosial dan kewirausahaan dan menjadi sekretaris department biro usaha mandiri (BUM) diorganisasi Fossi FT Universitas Lampung, serta menjadi sekretaris dewan DPM FT Universitas Lampung.

Penulis telah melakukan kerja praktik di Kantor PT. PLN (Persero) UP3 Tanjung Karang, Lampung selama 40 hari. Penulis mengambil tugas akhir dengan judul **“ANALISIS *HOSTING CAPACITY PHOTOVOLTAIC* PADA PENYULANG HUJAN 20 kV PT. PLN UP3 TANJUNG KARANG”**



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

KUPERSEMBAHKAN SKRIPSI INI KEPADA:

Ayah dan Mamah

Alm. AMBARI DAN UMI KALSUM

Serta

SAUDARA-SAUDARI DAN KEPONAKANKU

KELUARGA BESAR, DOSEN, SAHABAT, TEMAN

dan

ALMAMATER





MOTTO dan QUOTES

**Allahumma inni as-aluka ‘ilman naafian, wa rizqan tayyiban, wa’amalan
mutaqobbalan”**

**-Ya Allah, aku memohon kepadamu ilmu yang bermanfaat, rezeki yang baik
dan amal yang diterima-**

**“Perjalanan ini bukan sekadar tentang gelar, tapi tentang jatuh bangun,
keyakinan dan doa yang tak pernah putus. Dari titik lelah sampai titik lega
akhirnya sarjana juga.”**

-Rika Septi Riani

**"Dari halaman pertama sampai halaman terakhir skripsi ini terdapat lelah,
tawa dan air mata kini terbingkai dalam satu kata SELESAL."**

-Rika Septi Riani

**"Bukan karena aku paling pintar, tapi karena aku tidak berhenti. Ini adalah
bukti bahwa proses yang terus dijalani akan menemukan jalannya sendiri
menuju akhir."**

-Rika Septi Riani



SANWANCANA

Puji Syukur kepada Allah *subhanahu wa ta'ala* atas limpahan Rahmat dan nikmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik. Shalawat dan salam senantiasa kita curahkan kepada Nabi Muhammad *shallallahu 'alaihi wa sallam*.

Tugas akhir dengan judul “Analisis *Hosting Capacity Photovoltaic* pada Penyulang Hujan 20 kV PT. PLN UP3 Tanjung Karang” merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.

Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Cinta pertamaku Alm. Abah Ambari dan pintu surgaku Mamah Umi Kalsum. Terimakasih atas segala pengorbanan dan tulus kasih yang diberikan, beliau memang tidak sempat merasakan pendidikan sampai bangku perkuliahan. Namun mampu mendidik, memotivasi, mendoakan, memfasilitasi dan memberikan dukungan sehingga penulis mampu menyelesaikan studinya sampai meraih gelar sarjana.
2. Saudara-saudari tercinta Hendri Gunawan, Hendra Gandi, Ria Anjelina, Nyayu Maria Ulfa, Rika Anggraini, Khodim serta keponakan penulis yang selalu mendoakan, mendukung dan memfasilitasi penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini di waktu yang tepat.
3. Ibu Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., I.P.M., selaku Rektor Universitas Lampung.
4. Bapak Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.

5. Ibu Herlinawati, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
6. Bapak Sumadi, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
7. Bapak Ir. Herri Gusmedi, S.T., M.T., I.P.M. selaku dosen pembimbing utama yang selalu membimbing, mengarahkan dan mensupport penulis dengan penuh kesabaran. Memberikan semangat dan nasehat sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
8. Bapak Zulmiftah Huda, S.T., M.Eng. selaku dosen pembimbing pendamping yang telah memberikan arahan dan saran kepada penulis dengan baik.
9. Bapak Osea Zebua, S.T., M.T selaku dosen penguji yang telah memberikan kritik dan saran yang membangun kepada penulis.
10. Bapak Ir. Noer Soedjarwanto, IR, MT selaku dosen Pembimbing Akademik (PA) yang telah memberikan arahan serta nasehat selama penulis menjadi Mahasiswa Teknik Elektro.
11. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung yang telah membimbing dan memberikan ilmu kepada penulis selama perkuliahan.
12. Staff administrasi Jurusan Teknik Elektro dan Fakultas Teknik, Universitas Lampung yang telah membantu penulis dalam hal administrasi.
13. Bapak Ibu Dosen Laboratorium Sistem Tenaga Listrik dan Teknik Tegangan Tinggi yang telah memberikan support kepada penulis.
14. Bapak Riki Khomarudin yang telah membantu memberikan referensi jurnal.
15. Yanti, Rafika, Desta dan Umi Sahabat dari PAUD yang selalu mensupport dan menjadi tempat berkeluh kesah penulis.
16. Seluruh Keluarga Besar Laboratorium Sistem Tenaga Listrik, Teknik Tegangan Tinggi dan konversi yang sudah membersamai penulis selama menjadi Asisten Lab dan saat mengerjakan Tugas Akhir ini, terkhususnya Nadia dan Frissa yang selalu memberikan semangat kepada penulis, Ruli partner setiap seminar dan Arya yang membantu memperbaiki laptop ketika rusak.

17. Sahabat KKN Negeri Agung khususnya Tiara, Nadira dan Dinda yang selalu memberikan semangat kepada penulis.
18. Sahabat Fossi FT 2023 yang selalu memberikan semangat kepada penulis.
19. Keluarga Besar Himatro Unila dan Excalto Akt 21 yang telah menemani penulis selama perkuliahan.
20. Diri Sendiri, Rika Septi Riani. Apresiasi yang sebesar-besarnya karena telah bertanggungjawab untuk menyelesaikan apa yang telah kamu mulai. Terimakasih karena terus berusaha dan tidak menyerah walaupun ada banyak hal yang membuat kamu berfikir untuk menyerah serta senantiasa menikmati setiap proses ini yang terbilang tidak mudah dan penuh air mata. Terimakasih sudah bertahan.

Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini masih banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan adanya kritik dan saran yang membangun. Penulis berharap skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi para pembaca serta menjadi referensi untuk penelitian selanjutnya.

Bandar Lampung, Juni 2025

Rika Septi Riani

DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN COVER.....	i
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xviii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	2
1.3 Rumusan Masalah	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Hipotesis.....	3
1.7 Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Penelitian Terdahulu.....	5
2.2 Sistem Tenaga Listrik.....	6
2.3 Sistem Distribusi Tenaga Listrik	7
2.3.1 Sistem Jaringan Distribusi Primer atau Sistem Jaringan Menengah (JTM)	7
2.3.2 Sistem Jaringan Distribusi Sekunder atau Jaringan Tegangan Rendah (JTR).....	9

2.4 Panel Surya.....	9
2.5 Pembangkit Listrik Tenaga Surya.....	12
2.5.1 Sistem Pemasangan Panel Surya	12
2.6 Komponen Sistem PLTS	15
2.6.1 Modul Surya	15
2.6.2 Inverter.....	16
2.6.3 Baterai.....	16
2.6.4 MPPT with DC/DC Converter.....	17
2.6.5 Kwh Exim.....	18
2.7 Hosting Capacity PV	18
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	21
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	21
3.2 Alat dan Bahan	22
3.3 Metodologi Penelitian	22
3.4 Diagram Alir Penelitian.....	24
3.5 Analisis Pendekatan Matematis <i>Hosting Capacity</i> PV.....	25
3.5.1 Perhitungan Penurunan Tegangan Menggunakan Teorema KVL.....	25
3.5.2 Persamaan Aliran Daya.....	26
3.5.3 Pendekatan Teorema Persamaan Garis	27
3.5.4 Persamaan <i>Hosting Capacity</i>	29
3.5.5 Batasan.....	29
3.5.6 Rumus Rugi-rugi Daya (<i>Losses</i>)	30
3.5.7 Rumus Beban Saluran (<i>Thermal Loading</i>)	30
3.5.8 Tegangan Jatuh (<i>Voltage Drop</i>).....	30
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN	32
4.1 Data Penyulang Hujan.....	32

4.1.1 <i>Single Line Diagram</i> Penyulang Hujan	32
4.1.2 Parameter	33
4.1.3 Spesifikasi Panel Surya.....	35
4.2 Perhitungan <i>Hosting Capacity</i>	35
4.3 Perbandingan profil tegangan bus sebelum dan sesudah injeksi PV (<i>photovoltaic</i>)	37
4.3.1 Profil tegangan bus sebelum injeksi PV (<i>photovoltaic</i>).....	37
4.3.2 Profil tegangan bus setelah injeksi PV (<i>photovoltaic</i>).....	38
4.4 <i>Performace index</i> (PI) sebelum dan sesudah injeksi <i>Photovoltaic</i>	40
4.5 Analisis dampak Injeksi PLTS dengan <i>Hosting Capacity</i>	60
4.5.1 Profil Tegangan (<i>Voltage Profile</i>)	61
4.5.2 Rugi-rugi Daya (<i>Losses</i>)	63
4.5.3 Beban Saluran (<i>Thermal Loading</i>)	64
BAB V PENUTUP	66
5.1 Kesimpulan.....	66
5.2 Saran.....	66
DAFTAR PUSTAKA	68
LAMPIRAN	71

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2. 1 Sistem Tenaga Listrik	7
Gambar 2. 2 Sistem Jaringan Radial	8
Gambar 2. 3 Sistem Loop	8
Gambar 2. 4 Sel PV	9
Gambar 2. 5 Modul PV	10
Gambar 2. 6 Perkembangan Teknologi PV	10
Gambar 2. 7 Rangkaian Panel Surya	11
Gambar 2. 8 Pembangkit Listrik Tenaga Surya	12
Gambar 2. 9 Sistem PLTS On-Grid	13
Gambar 2. 10 Sistem PLTS Off-Grid	14
Gambar 2. 11 Sistem PLTS Hybrid	15
Gambar 2. 12 Modul Surya	15
Gambar 2. 13 Inverter	16
Gambar 2. 14 Baterai	17
Gambar 2. 15 MPPT with DC/DC Converter	17
Gambar 2. 16 Kwh Exim	18
Gambar 2. 17 Deskripsi dasar Hosting Capacity	19
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian	24
Gambar 3. 2 Injeksi PV	25
Gambar 3. 3 PV yang diinjeksi dengan persamaan garis	27
Gambar 3. 4 PV ditambahkan	28
Gambar 4. 1 Single Line Diagram Penyulang Hujan	32
Gambar 4. 2 Profil Tegangan	61
Gambar 4. 3 Rugi-rugi daya (Losses)	63
Gambar 4. 4 Beban saluran (Thermal Loading)	64

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2. 1 Efisiensi konversi berbagai teknologi modul PV	11
Tabel 3. 1 Jadwal Penelitian.....	21
Tabel 4. 1 Bus yang mengalami undervoltage	33
Tabel 4. 2 Penempatan posisi pemasangan PV	34
Tabel 4. 3 Spesifikasi Panel Surya	35
Tabel 4. 4 Perhitungan Hosting Capacity.....	35
Tabel 4. 5 Profil tegangan bus sebelum injeksi PV (photovoltaic)	37
Tabel 4. 6 Profil tegangan bus setelah injeksi PV (photovoltaic)	38
Tabel 4. 7 Performace index (PI) sebelum dan sesudah injeksi Photovoltaic	40

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pemerintah Indonesia telah menetapkan target penggunaan energi terbarukan minimal 23% dalam bauran energi pada tahun 2025 dan meningkat menjadi 28% pada tahun 2038 [1]. Selain itu, Indonesia juga berkomitmen untuk mencapai *Net Zero Emissions* (NZE) pada tahun 2060. Salah satu sumber energi yang dapat berkontribusi dalam pencapaian target energi terbarukan tersebut adalah energi surya. Pembangkit listrik tenaga surya menggunakan teknologi *photovoltaic* memiliki beberapa keunggulan, seperti ketersediaannya sepanjang tahun dan pemanfaatan energi bersih.[1]

Potensi tenaga surya di Indonesia diperkirakan mencapai 207,8 GW (4,8 kWh/m²/hari). Namun, kapasitas terpasang pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) di Indonesia saat ini hanya 0,27% dari potensi tersebut (201,09 MW). Berdasarkan data ini, dapat disimpulkan bahwa pemanfaatan pembangkit listrik tenaga surya di Indonesia masih sangat rendah dibandingkan dengan potensinya. Pemanfaatan energi surya tertinggal dibandingkan sumber energi lain di Indonesia, seperti energi panas bumi sebesar 4,9%, energi air sebesar 6,4%, dan bioenergi sebesar 5,1%. Namun, pemerintah Indonesia memproyeksikan bahwa pada tahun 2030, kapasitas terpasang tenaga surya akan meningkat sebesar 4,7 GW (2,29%) dari total potensi energi surya nasional.[1]

Salah satu solusi adalah memasang panel surya sebagai *Distributed Generation* (DG) dalam jaringan distribusi 20 kV. Pemasangan panel surya sebagai DG di sistem distribusi menawarkan banyak manfaat, seperti peningkatan efisiensi dan kualitas daya, serta peningkatan keandalan dan tingkat tegangan. Namun, diperlukan pengendalian

dan pengelolaan yang tepat untuk memastikan bahwa pemasangan panel surya tidak melanggar batas operasional sistem kelistrikan, seperti batas tegangan, beban saluran, aliran daya balik, faktor daya di gardu induk, dan kondisi hubung singkat. Oleh karena itu, analisis *Hosting Capacity* (HC) diperlukan untuk pemasangan panel surya. Analisis *Hosting Capacity* digunakan untuk menentukan penempatan dan kapasitas daya optimal dari kapasitas panel surya. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis *hosting capacity* penyulang Hujan 20 kV sehingga integrasi PV yang aman dan efisien. Dengan menggunakan perangkat lunak ETAP 16.00, penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi teknis untuk pengembangan energi surya yang berkelanjutan.

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

Menentukan posisi *photovoltaic* dan nilai *hosting capacity photovoltaic* (PV) yang dapat injeksikan pada penyulang hujan serta menganalisis profil tegangan (*voltage profile*), beban saluran (*thermal loading*) dan rugi-rugi daya (*losses*) setelah penambahan *photovoltaic* (PV).

1.3 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

PLTS memiliki sifat intermitensi dimana output dari *photovoltaic* sangat fluktuatif yang dapat mengganggu kestabilan sistem maka diperlukan perhitungan untuk menentukan kapasitas daya injeksi *photovoltaic* di bus dengan tanpa mengganggu sistem eksistim yang dikenal dengan *hosting capacity*. Pemasangan panel surya sebagai *Distributed Generation* (DG) dapat meningkatkan efisiensi dan kualitas daya pada sistem distribusi, Namun diperlukan analisis untuk menentukan *hosting capacity photovoltaic* yang dapat diinjeksikan pada penyulang hujan tanpa mengganggu kinerja jaringan distribusi.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Tidak mempertimbangkan faktor intermitten dari *photovoltaic* (PV).
2. Sistem dalam kondisi Steady state.

1.5 Manfaat Penelitian

Melalui penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman tentang *hosting capacity photovoltaic* pada sistem distribusi tenaga listrik, serta meningkatkan adopsi *renewable* energi pada sistem grid konvensional.

1.6 Hipotesis

Hipotesis dari penelitian ini adalah bahwa dengan menggunakan metode pendekatan teorema persamaan garis, dapat menentukan *hosting capacity* PV yang dapat diinjeksikan pada penyulang Hujan 20 kV tanpa mengganggu kinerja sistem. Penambahan PV pada penyulang memiliki batas *hosting capacity* yang dipengaruhi oleh regulasi tegangan. Dalam hal ini, peningkatan kapasitas PV berbanding lurus dengan kenaikan profil tegangan dan berbanding terbalik dengan rugi-rugi daya pada jaringan hingga mencapai titik optimal.

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan proposal tugas akhir ini untuk memberikan gambaran sederhana terkait pembahasan yang ada di dalam tugas akhir dan memudahkan dalam memahami isi tugas akhir. Adapun sistematika penulisan sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang, tujuan penelitian, manfaat penelitian, rumusan masalah, hipotesis dan sistematika penulisan.

BAB II

Bab ini berisi teori pendukung penelitian yang merupakan pengantar dalam pemahaman terkait penelitian yang diperoleh dari berbagai sumber ilmiah, seperti

jurnal, proseding, dan buku yang digunakan sebagai panduan dalam penulisan laporan tugas akhir ini.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi tentang waktu dan tempat penelitian, alat dan bahan yang digunakan dalam menyelesaikan penelitian, metode yang digunakan dalam penelitian dan pelaksanaan serta pengamatan dalam pengerjaan tugas akhir.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi tentang data hasil dan pembahasan data simulasi dan analisis data yang didapat dari penelitian tugas akhir ini.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi Kesimpulan yang dipeoleh dari pembahasan pada laporan tugas akhir dan saran yang berhubungan dengan pokok pembahasan tugas akhir ini.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Seiring perkembangan teknologi, terdapat beberapa penelitian-penelitian lain yang berhubungan dengan *hosting capacity*. Penelitian terdahulu menunjukkan pentingnya analisis *hosting capacity* dalam sistem distribusi yang terintegrasi dengan energi terbarukan, terutama *Photovoltaic* (PV). Berdasarkan jurnal yang berjudul “*Mathematical Hosting Capacity Calculation due to Arise Voltage using The Equation of Line Approach*” (Riki Khomarudin dan rekan-rekannya, 2022) mengembangkan metode perhitungan *hosting capacity* dengan pendekatan persamaan garis, yang memungkinkan penentuan kapasitas maksimum PV yang dapat diintegrasikan tanpa melanggar batasan kualitas daya [2]. Studi ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menekankan dampak injeksi daya terhadap profil *voltage* dan *thermal overload* dalam jaringan distribusi [3]. Selain itu, penggunaan perangkat lunak seperti DIGSILENT untuk memvalidasi hasil perhitungan semakin memperkuat keakuratan analisis ini. Secara keseluruhan, penelitian-penelitian ini memberikan pemahaman yang lebih baik tentang pengelolaan *hosting capacity* dalam konteks peningkatan penggunaan energi terbarukan.

Berdasarkan jurnal yang berjudul “*State-Of-The-art hosting capacity in modern power system with distributed generation*”(Sherif M. Ismael dan rekan-rekannya, 2019) menunjukkan bahwa pengembangan energi terbarukan dipicu oleh faktor teknis, ekonomi, dan sosial, namun penetrasi berlebihan sistem pembangkit terdistribusi *Distributed Generation* (DG) dapat menyebabkan masalah seperti overvoltage, rugi

daya tinggi, dan kegagalan proteksi. *Hosting Capacity* (HC) menjadi penting untuk diukur dan ditingkatkan, karena kegagalan dalam hal ini dapat mengganggu kinerja sistem. Penelitian sebelumnya menyoroti perkembangan historis *Hosting Capacity* (HC) dan batasan kinerjanya, serta teknik peningkatan yang diperlukan. Keberhasilan integrasi *Distributed Generation* (DG) sangat bergantung pada penilaian *Hosting Capacity* (HC) yang akurat dan penerapan teknik peningkatan yang tepat.[3]

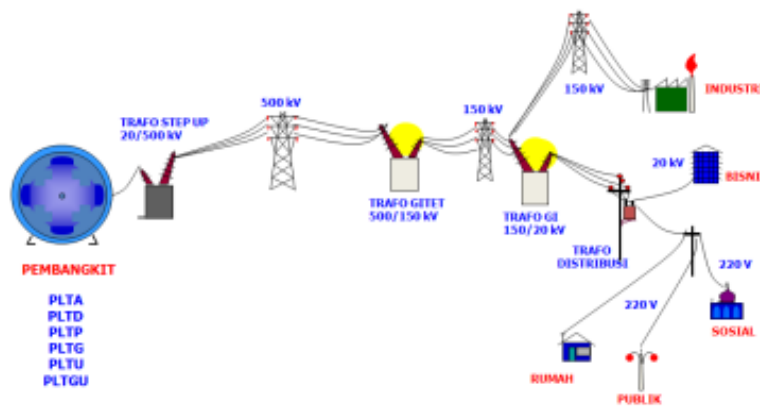
Berdasarkan jurnal yang berjudul “Analisa *Hosting Capacity Photovoltaic* pada *Feeder Adinegoro* 20 kV kota Padang” (Muhammad Fachreyza Indora dan rekan-rekannya, 2024) melakukan penelitian yang mengkaji *hosting capacity* yang berfokus pada dampak pemasangan PV terhadap profil tegangan dan rugi daya menggunakan metode simulasi aliran daya. Pada penelitian ini tidak terdapat perhitungan *hosting capacity*. [4]

Berdasarkan jurnal yang berjudul “*Determination of PV Hosting Capacity on the 20 kV Distribution Network considering Network Configuration*” penelitian ini menekankan pentingnya penentuan *hosting capacity* untuk integrasi sistem fotovoltaiik (PV) ke dalam jaringan distribusi 20 kV. Metode seperti algoritma particle swarm optimization (PSO) telah digunakan untuk memaksimalkan penetrasi PV dengan mempertimbangkan kendala seperti profil tegangan, pembebanan saluran, dan faktor daya di gardu induk. Studi menggunakan sistem IEEE 33 Bus untuk mengidentifikasi lokasi optimal dan penetrasi maksimum PV, serta menyoroti pentingnya konfigurasi ulang jaringan dan ketersediaan lahan. Empat skenario yang berbeda telah disimulasikan, menunjukkan bahwa pendekatan sistematis diperlukan untuk analisis dan perencanaan integrasi PV dalam jaringan listrik.[1]

2.2 Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik adalah suatu sistem yang terdiri dari lima sub-sistem utama yaitu pusat pembangkit, saluran transmisi, gardu induk, jaringan distribusi, dan beban [5]. Tujuan utama dari sistem tenaga listrik adalah menyediakan listrik kepada konsumen secara andal dan ekonomis [6]. Pada sistem pembangkitan tegangan yang digunakan

sebesar 20 kV kemudian dihubungkan pada saluran transmisi, level tegangan akan dinaikkan menggunakan transformator penaik tegangan atau *step uptransformer* menjadi 500 kV kemudian pada jaringan distribusi diturunkan menggunakan *step downtransformer* dimana level tegangannya terbagi menjadi dua macam, yaitu jaringan tegangan menengah (JTM) 20 kV dan jaringan tegangan rendah (JTR) 380/220V.



Gambar 2. 1 Sistem Tenaga Listrik

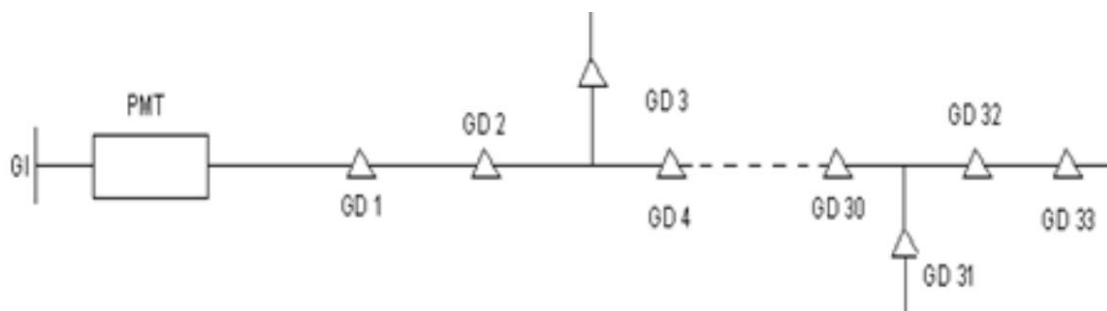
2.3 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Sistem Distribusi Tenaga Listrik adalah bagian dari sistem tenaga yang dimulai dari PMT incoming di Gardu Induk hingga mencapai alat penghitung dan pembatas (APP) di instalasi konsumen. Sistem ini berfungsi untuk menyalurkan tenaga listrik dari Gardu Induk yang berperan sebagai pusat beban ke pelanggan, termasuk bisnis, tempat tinggal dan rumah [7][8]. Penyaluran dapat dilakukan secara langsung atau melalui gardu distribusi, sesuai dengan standar pelayanan yang berlaku. Sistem distribusi ini terbagi menjadi dua jenis yaitu:

2.3.1 Sistem Jaringan Distribusi Primer atau Sistem Jaringan Menengah (JTM)

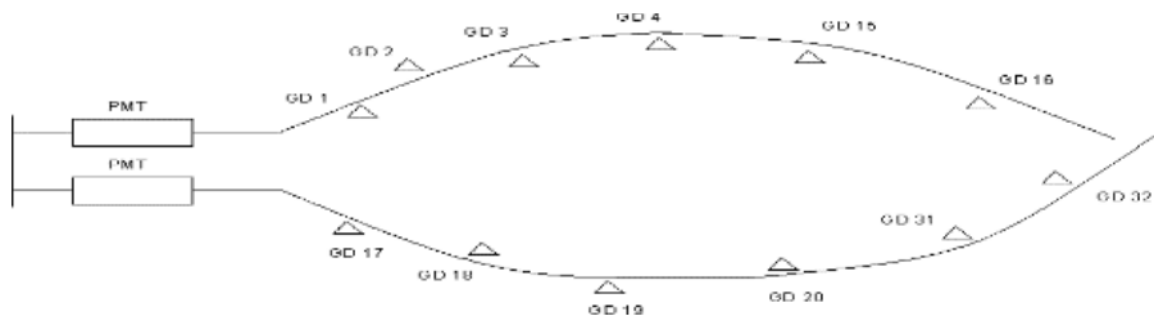
Distribusi Primer adalah jaringan distribusi yang menggunakan tegangan menengah 20 kV. Penyaluran pada jaringan ini dimulai dari Gardu Induk (bagian sisi sekunder trafo

daya) menuju Gardu Distribusi (bagian sisi primer trafo distribusi). Tegangan tinggi terlebih dahulu diturunkan menjadi tegangan menengah 20 kV dengan menggunakan transformator step-down. Secara umum, jaringan primer terdiri dari jaringan tiga fasa yang menggunakan tiga atau empat kawat/kabel sebagai penghantar, dengan tegangan sebesar 6 kV, 12 kV, atau 20 kV. Saluran pada jaringan distribusi primer biasanya dirancang secara radial, dimulai dari sumber jaringan menuju titik-titik cabang hingga mencapai beban yang dilayani.



Gambar 2. 2 Sistem Jaringan Radial

Sistem loop adalah sistem distribusi dengan konfigurasi tertutup yang membentuk pola cincin, memungkinkan beban menerima pasokan dari dua arah saluran. Sistem ini meningkatkan kontinuitas penyediaan daya serta kepuasan pelanggan.



Gambar 2. 3 Sistem Loop

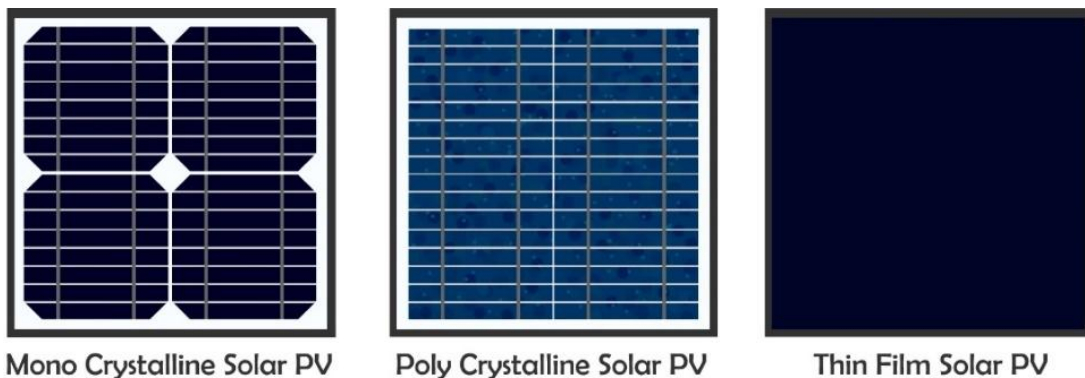
2.3.2 Sistem Jaringan Distribusi Sekunder atau Jaringan Tegangan Rendah (JTR)

Distribusi Sekunder dimulai dari Gardu Distribusi (bagian sisi sekunder trafo distribusi) hingga ke Konsumen Tegangan Rendah dengan tegangan 380/220V.

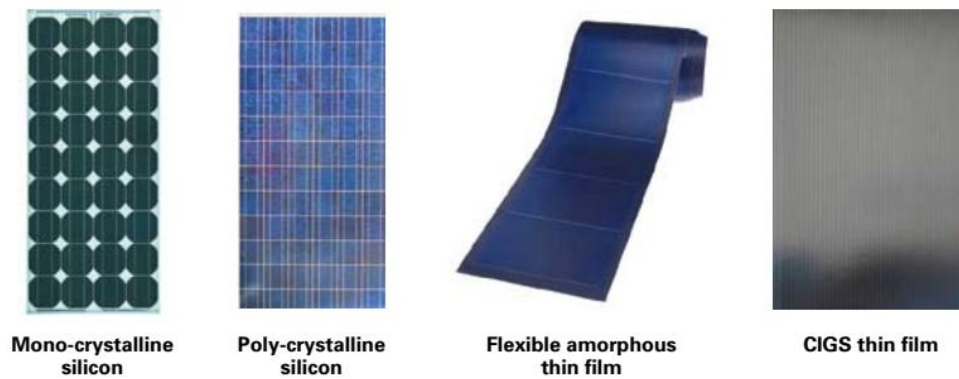
Komponen yang terdapat dalam Jaringan Distribusi mencakup Gardu Injeksi, transformator daya, transformator distribusi, panel pemutus sirkuit, penyulang, serta sistem perlindungan yang melibatkan relai, unit arus searah (DC), isolator gantung, isolator saluran, saluran, dan lain sebagainya. Penyulang berperan sebagai elemen penting yang menyalurkan tenaga listrik dari Gardu Injeksi ke konsumen melalui transformator distribusi. Keandalan operasi penyulang sangat penting untuk menjamin pasokan listrik yang stabil dan terpercaya bagi pelanggan.

2.4 Panel Surya

Sel surya atau panel surya adalah alat yang digunakan untuk menyerap dan mengubah sinar matahari menjadi energi listrik. Di dalam sinar matahari terkandung energi dalam bentuk foton. Ketika foton ini mengenai permukaan sel surya, maka elektronnya akan tereksitasi dan menimbulkan aliran Listrik, peristiwa ini disebut *photovoltaic*. Sel PV terbuat dari bahan semikonduktor peka cahaya.[9]

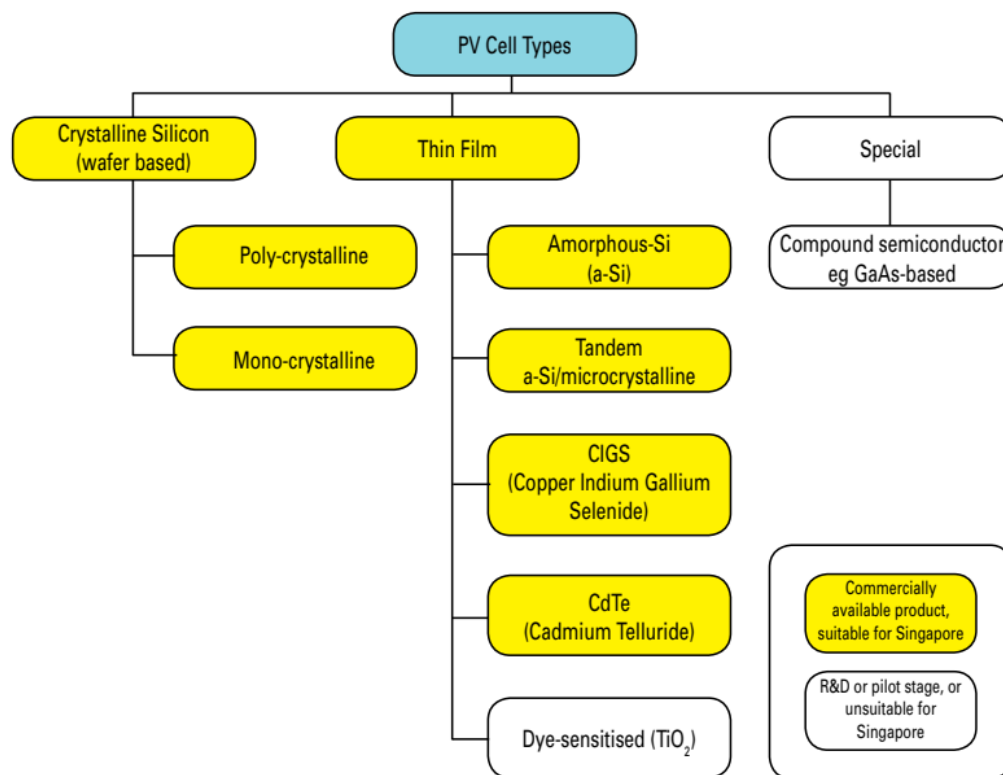


Gambar 2. 4 Sel PV



Gambar 2. 5 Modul PV

Crystalline cells dibuat dari bahan baku silicon ultra murni seperti yang digunakan dalam chip semikonduktor. Sel ini menggunakan lapisan silicon yang tebalnya biasanya 150-200 mikron (seperlima milimeter). Sedangkan Thin Film dibuat dengan melapisi lapisan bahan semikonduktor setebal 0,3 hingga 2 mm pada substrat kaca atau baja tahan karat.



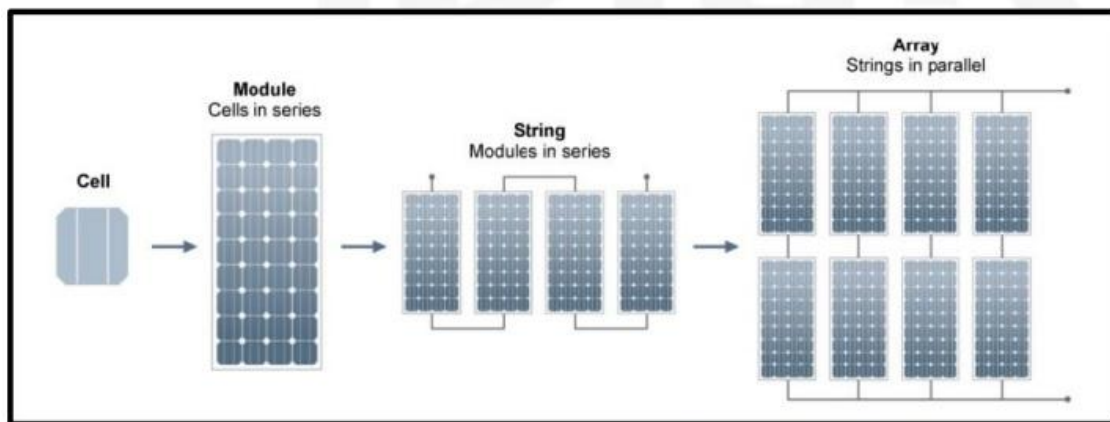
Gambar 2. 6 Perkembangan Teknologi PV

Tabel 2. 1 Efisiensi konversi berbagai teknologi modul PV

<i>Technologi</i>	<i>Modul</i>	<i>Temperature</i>
<i>Mono-crystalline Silicon</i>	12,5 – 15 %	-0,4 to – 0,5
<i>Poly- crystalline Silicon</i>	11 – 14 %	-0,4 to – 0,5
<i>Copper Indium Gallium Selenide</i>	10 – 13 %	-0,32 to -0,36
<i>Cadmium Telluride (CdTe)</i>	9 – 12 %	-0,25
<i>Amorphous Silicon (a-Si)</i>	5 – 7 %	-0,21

Sebagian besar teknologi *thin film* memiliki koefisien suhu negative yang lebih rendah dibandingkan dengan *crystalline*, dengan kata lain *thin film* cenderung kehilangan lebih sedikit kapasitas terukurnya saat suhu meningkat. Modul Pv memiliki suhu sel 25%. Kinerja sel fotovoltaik menurun seiring dengan meningkatnya suhu sel.

Modul surya terbentuk dari sel sel PV atau sel surya yang disusun dan saling terhubung secara seri maupun paralel. Modul umumnya terdiri dari 36 sel surya atau 33 sel dan 72 sel. Modul surya dapat dihubungkan secara seri dan paralel sehingga dapat menghasilkan tegangan dan arus yang diperlukan. Beberapa modul surya yang saling dihubungkan disebut Rangkaian panel surya. Panel surya yang dihubungkan secara baris dan kolom disebut dengan *array*. Sehingga dapat dikatakan *array* merupakan susunan dari panel surya yang terdiri dari beberapa modul surya, yang didalam modul surya terdapat beberapa sel surya.[10]



Gambar 2. 7 Rangkaian Panel Surya

2.5 Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah jenis pembangkit yang mengonversi energi matahari menjadi energi listrik, sebagai sumber energi alternatif yang ramah lingkungan dan terbarukan[11]. Sel surya, atau sering disebut sebagai sel fotovoltaik, berasal dari bahasa Inggris "*photovoltaic*." Istilah ini terbentuk dari kata "*photo*," yang berarti cahaya, dan "*volt*," satuan untuk tegangan listrik. Sel surya adalah perangkat semikonduktor dengan permukaan luas yang terdiri dari susunan dioda tipe "p" dan "n," yang berfungsi mengubah energi matahari menjadi energi listrik. Sel surya memanfaatkan efek fotovoltaik untuk menyerap sinar matahari dan menghasilkan arus yang mengalir di antara dua lapisan bermuatan berlawanan[12].



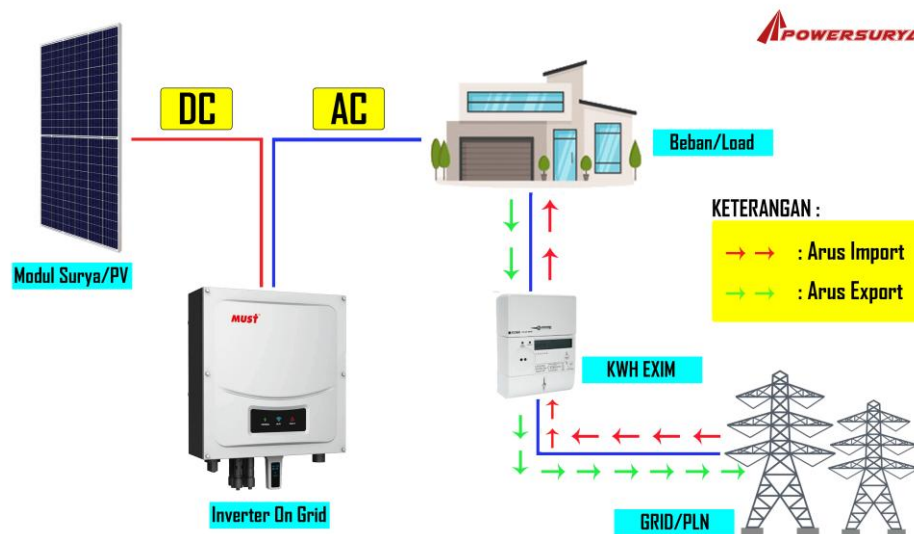
Gambar 2. 8 Pembangkit Listrik Tenaga Surya

2.5.1 Sistem Pemasangan Panel Surya

Dalam teknologi pembangkit listrik tenaga surya, terdapat tiga jenis sistem PLTS yang paling umum dikenal, yaitu: PLTS off-grid, PLTS on-grid, dan PLTS hybrid yang menggabungkan teknologi lainnya. Klasifikasi ini didasarkan pada cara penyimpanan energi serta keberadaan infrastruktur jaringan distribusi.

a. Sistem On-Grid

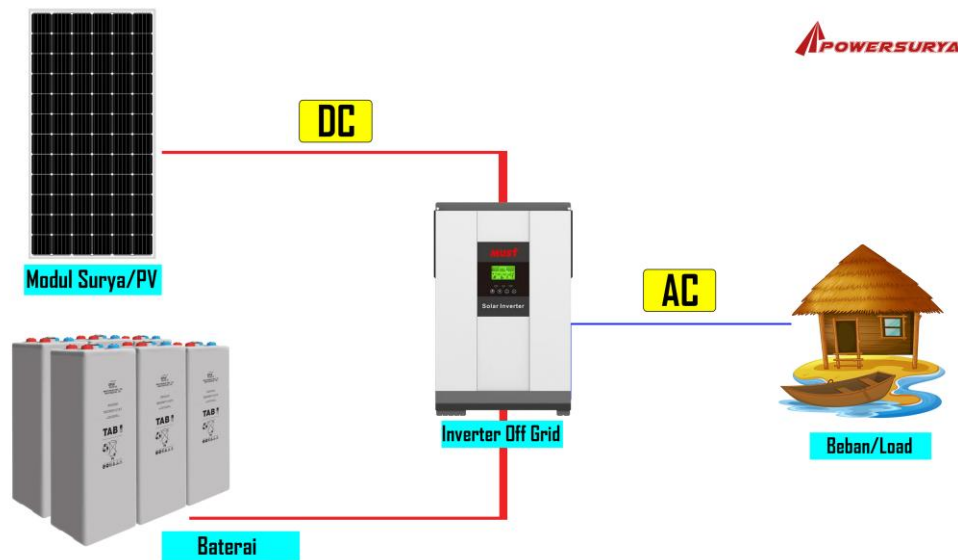
Sistem On-Grid menggunakan panel surya untuk menghasilkan listrik yang ramah lingkungan, bebas emisi, dan hemat biaya. Sistem ini terhubung langsung dengan jaringan listrik PLN[13]. Energi yang dihasilkan panel surya dimanfaatkan untuk memaksimalkan produksi listrik, dan jika produksi tersebut melebihi kebutuhan, kelebihan energinya akan dikirim kembali ke jaringan PLN. Namun, sistem ini tidak dapat berfungsi sebagai sumber daya cadangan selama terjadi pemadaman listrik dari PLN karena tidak dilengkapi dengan baterai dan sepenuhnya bergantung pada jaringan PLN.



Gambar 2. 9 Sistem PLTS On-Grid

b. Sistem Off-Grid

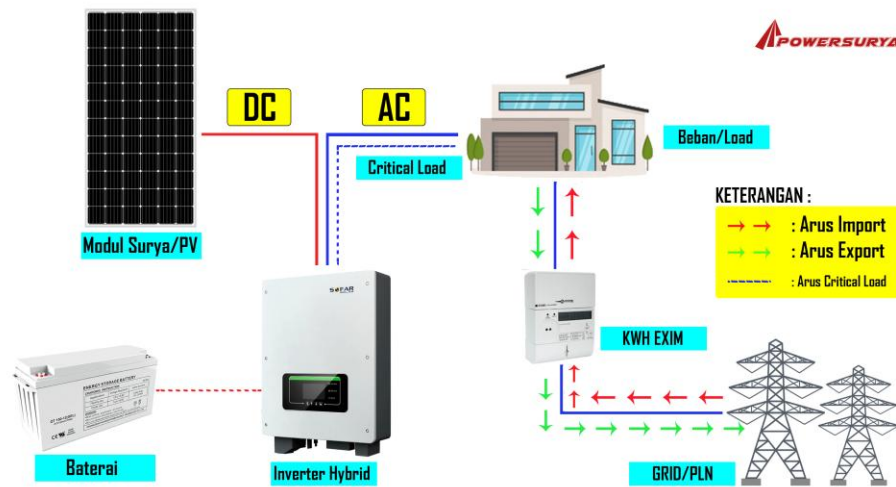
Sistem Off-Grid, juga dikenal sebagai Sistem PV Mandiri, sepenuhnya memanfaatkan energi matahari melalui modul fotovoltaik. Berbeda dengan Sistem On-Grid, sistem ini tidak memerlukan koneksi ke jaringan PLN karena energi yang dihasilkan disimpan dalam baterai. Dengan demikian, sistem Off-Grid tetap dapat beroperasi tanpa gangguan meskipun terjadi pemadaman listrik dari PLN. Keandalan pasokan listriknya membuat sistem ini menjadi solusi ideal bagi industri maupun daerah yang belum memiliki akses ke jaringan PLN.



Gambar 2. 10 Sistem PLTS Off-Grid

c. Sistem Hybrid

Sistem Hybrid merupakan gabungan dari dua atau lebih jenis pembangkit listrik yang memanfaatkan berbagai sumber energi untuk meningkatkan efisiensi dan keandalan. Sistem ini dirancang untuk mengoptimalkan kelebihan dari masing-masing sumber energi sehingga dapat meningkatkan keandalan operasional sekaligus efisiensi ekonomi. Contoh penerapan Sistem Hybrid meliputi kombinasi PLTS-Genset, PLTS-Mikrohidro, dan PLTS-Tenaga Angin. Dari berbagai aplikasi yang ada, PLTS-Genset menjadi pilihan yang paling umum, terutama pada genset mandiri yang tidak terhubung dengan jaringan listrik.



Gambar 2. 11 Sistem PLTS Hybrid

2.6 Komponen Sistem PLTS

Adapun komponen yang terdapat dalam system PLTS adalah sebagai berikut:

2.6.1 Modul Surya

Modul surya adalah kumpulan beberapa sel surya yang saling terhubung dan berfungsi mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik DC. Besarnya listrik yang dihasilkan oleh modul surya bergantung pada intensitas iradiasi matahari yang diterima. Saat cuaca mendung, modul surya tetap dapat menghasilkan listrik, namun dengan daya yang lebih kecil karena intensitas iradiasi yang berkurang.



Gambar 2. 12 Modul Surya

2.6.2 Inverter

Inverter adalah perangkat yang berfungsi mengonversi arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC). Dalam sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), modul surya menghasilkan arus DC yang kemudian diubah menjadi arus AC oleh inverter, agar sesuai dengan kebutuhan peralatan listrik yang umumnya menggunakan arus AC.[14]



Gambar 2. 13 Inverter

Inverter dilengkapi dengan fitur Maximum Power Point Tracker (MPPT) yang berfungsi untuk mengontrol dan mengoptimalkan daya yang dihasilkan oleh modul surya sebelum dialirkan ke beban atau jaringan listrik. Hal ini penting karena tegangan DC yang dihasilkan oleh panel surya cenderung tidak stabil, tergantung pada intensitas iradiasi matahari yang diterima. Pada sistem PLTS, inverter satu fasa umumnya digunakan untuk beban dengan kapasitas kecil, sedangkan inverter tiga fasa biasanya diterapkan pada sistem dengan beban besar atau yang terhubung ke jaringan listrik (grid).

2.6.3 Baterai

Baterai merupakan salah satu komponen yang ada pada sistem PLTS dengan tujuan untuk menyimpan kelebihan energi listrik yang dihasilkan oleh PV. Energi Listrik yang tersimpan di baterai berfungsi sebagai cadangan energi yang dikirimkan ke beban Listrik rumah tangga saat sistem PV tidak bekerja, seperti pada saat malam hari,

kondisi cuaca buruk ataupun saat sedang pemeliharaan PV [1]. Satuan kapasitas energi yang disimpan pada baterai yaitu *ampere hour* (Ah) yang berarti arus maksimum yang dapat dikeluarkan oleh baterai selama satu jam. Namun baterai tidak boleh dikosongkan hingga titik maksimumnya dalam proses pengosongan (*Discharge*), hal ini untuk memaksimalkan usia pakai (*life time*) dari baterai. *Depth of Discharge (DOD)* yang merupakan istilah batas pengosongan dari baterai, biasanya ditentukan sebesar 80%



Gambar 2. 14 Baterai

2.6.4 MPPT with DC/DC Converter

Energi yang dihasilkan oleh susunan PV harus mencapai Tingkat maksimum dalam setiap kondisi operasional. Metode MPPT (Maximum Power Point Tracking) diterapkan untuk mengoptimalkan keluaran daya dari susunan PV dengan mengubah rasio pada tugas converter DC/DC.[15]



Gambar 2. 15 MPPT with DC/DC Converter

2.6.5 Kwh Exim

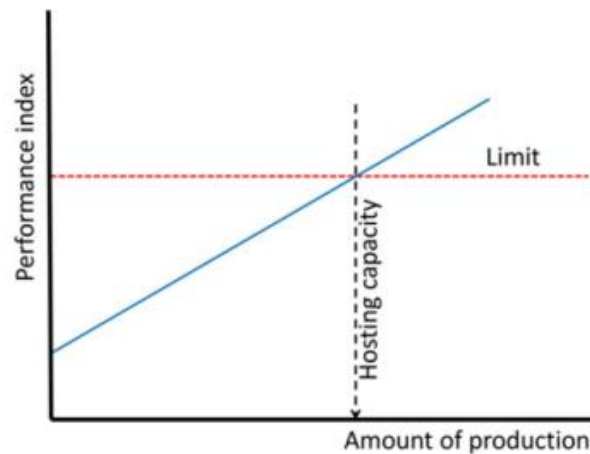
Kwh meter Exim adalah perangkat yang terpasang pada PLTS atap, yang digunakan untuk *export-import* pemakaian Listrik. Meteran exim berfungsi untuk mencatat berapa besar kapasitas daya yang diekspor pemilik PLTS kepada jaringan dan berapa besar kapasitas daya yang dikonsumsi oleh pemilik PLTS dari jaringan.



Gambar 2. 16 Kwh Exim

2.7 Hosting Capacity PV

Hosting Capacity Photovoltaic (PV) adalah jumlah maksimum daya listrik dari panel surya (PV) yang dapat diinjeksikan pada jaringan listrik tanpa mengganggu kinerja sistem seperti penurunan kualitas daya, tegangan berlebih (*over voltage*), beban berlebih (*overloading*), *thermal overloads*, rugi-rugi daya meningkat atau gangguan pada sistem [4], [16], [17]. *Hosting Capacity* (HC) merupakan konsep sistem tenaga yang spesifik, terukur, praktis, dan adil yang menggunakan parameter teknis sebagai kriteria evaluasi penetrasi DG [18]. Meskipun tujuan utama dari integrasi *Distributed generation* (DG) seperti *Photovoltaic* dalam sistem tenaga adalah untuk menyuplai energi, penempatan dan pengoperasian *Photovoltaic* dapat memberikan banyak manfaat seperti meningkatkan keandalan, mengurangi rugi-rugi daya dan dapat memperbaiki profil tegangan.[19]



Gambar 2. 17 Deskripsi dasar Hosting Capacity

Gambar tersebut menggambarkan konsep Hosting Capacity (HC) melalui beberapa komponen utama. Sumbu horizontal (X) mewakili jumlah produksi, yang dapat berupa produksi daya, energi, atau beban listrik. Sumbu vertikal (Y) menunjukkan indeks kinerja atau (Performance Index), yang mencakup aspek-aspek seperti kualitas daya, stabilitas jaringan, atau efisiensi operasional. Garis biru diagonal memperlihatkan hubungan antara jumlah produksi dengan kinerja sistem, di mana semakin besar jumlah produksi, semakin tinggi pula indeks kinerja hingga mencapai titik tertentu. Sementara itu, garis horizontal merah menandakan batas toleransi atau kapasitas maksimum yang dapat ditangani sistem sebelum mengalami penurunan kinerja yang signifikan. Terakhir, garis vertikal putus-putus menunjukkan kapasitas tampung atau *Hosting Capacity* (HC), yaitu jumlah maksimum produksi yang dapat diterima sistem tanpa melampaui batas kinerja yang telah ditentukan.[20]

PI adalah angka yang digunakan untuk menunjukkan kondisi jaringan listrik. Jika PI rendah, artinya sistem dalam kondisi aman. Jika PI tinggi, berarti ada masalah seperti jalur listrik yang kelebihan beban.[21]

$$PI = \sum_{l \text{ all branches}} \left(\frac{P_{\text{flow } l}}{P_l^{\text{max}}} \right)^{2n} \quad (2.1)$$

Keterangan :

PI = "Performance Index" atau "Indeks Kinerja".

Σ = Simbol sigma dalam matematika yang menandakan penjumlahan.

$P_{\text{flow } l}$ = Merupakan laju aliran (flow rate) pada cabang ke- l .

P_l^{max} = Merupakan laju aliran maksimum yang mungkin terjadi pada cabang ke- l .

n = Sebuah konstanta yang nilainya ditentukan berdasarkan sistem yang sedang dianalisis. Nilainya dapat bervariasi tergantung pada karakteristik sistem.

$$PI = \sum_{l=1}^{\text{all branches}} \left(\frac{P_{\text{flow } l}}{P_l^{\text{max}}} \right)^{2n} + \sum_{i=1}^{\text{all buses}} \left(\frac{\Delta|E_i|}{\Delta|E|^{\text{max}}} \right)^{2m} \quad (2.2)$$

Keterangan :

$\Delta|E_i|$ = Merupakan perubahan tegangan pada bus ke- i .

$\Delta|E|^{\text{max}}$ = Merupakan perubahan tegangan maksimum yang diizinkan pada bus ke- i

3.2 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Laptop Lenovo dengan spesifikasi *Intel (R) Core (TM) i3-10110U @ 2.10GHz 2.59 GHz, System type 64-bit operating system, x64-based processor.*
2. Software Etap 16.00
3. Microsoft Excel

3.3 Metodologi Penelitian

Adapun penelitian ini dilakukan dengan langka-langkah sebagi berikut:

1. Pengumpulan Data & Studi Literatur

Pada tahap ini, penulis mempelajari dan mengumpulkan referensi sebagai pendukung dan acuan dalam melaksanakan penelitian. Dalam studi literatur penulis memperoleh jurnal Internasional maupun nasional, buku, skripsi dan artikel ilmiah. Mengumpulkan data terkait dengan sistem distribusi yang akan dianalisis.

2. Studi Bimbingan

Studi bimbingan dilakukan dengan diskusi untuk menyelesaikan persoalan-persoalan selama penelitian bersama dosen pembimbing secara berkala. Dengan adanya studi bimbingan penulis banyak mendapatkan pengetahuan serta arahan dalam pengerjaan penelitian ini.

3. Pembuatan *Single Line Diagram*

Pembuatan *Single Line Diagram* (SLD) jaringan distribusi menggunakan *software* ETAP 16.00.

4. Menghitung ΔV untuk Setiap Bus Menggunakan Teorema Persamaan Garis

Melakukan perhitungan perubahan tegangan (ΔV) untuk setiap bus jaringan menggunakan teorema persamaan garis.

5. Menghitung P_{dg} untuk Setiap Bus

Menghitung daya (P_{dg}) yang dapat diinjeksikan pada bus.

6. Run Data di Etap

Menjalankan data jaringan distribusi ke dalam *software* etap 16.00 untuk melakukan simulasi aliran daya. Serta memeriksa apakah hasil seimulasi menunjukkan bahwa sistem dalam keadaan *secure* atau tidak.

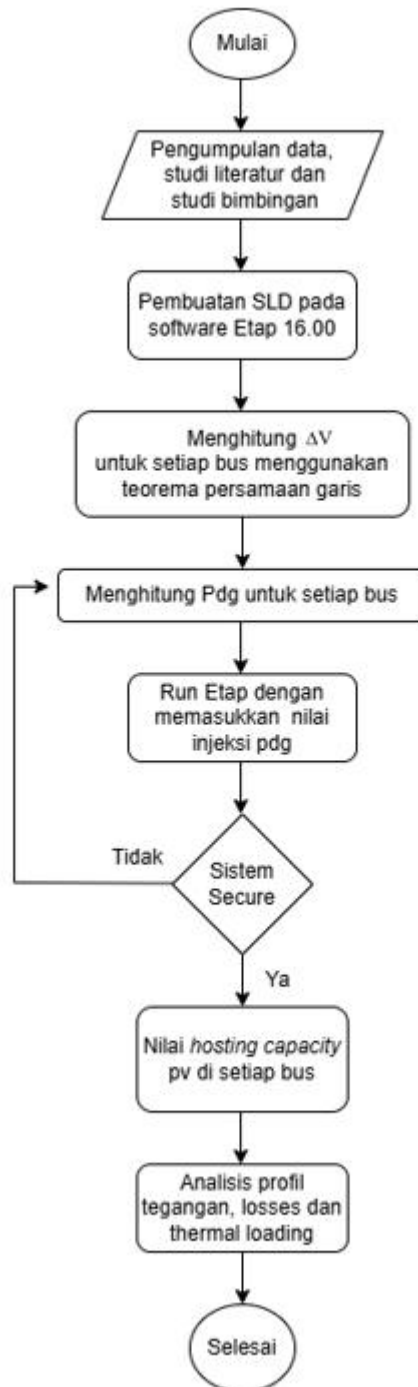
7. Nilai *Hosting Capacity* PV di Setiap Bus

Menentukan nilai *Hosting Capacity* PV di setiap bus yang ada dalam jaringan distribusi.

8. Pembuatan Laporan

Pada tahap ini penulis menjelaskan rencana penelitian dalam bentuk laporan proposal dan laporan hasil yang dituangkan dalam sebuah laporan tugas akhir penelitian (skripsi). Laporan ini digunakan sebagai bentuk tanggungjawab penulis sebagai syarat kelulusan yang berupa tugas akhir penelitian.

3.4 Diagram Alir Penelitian

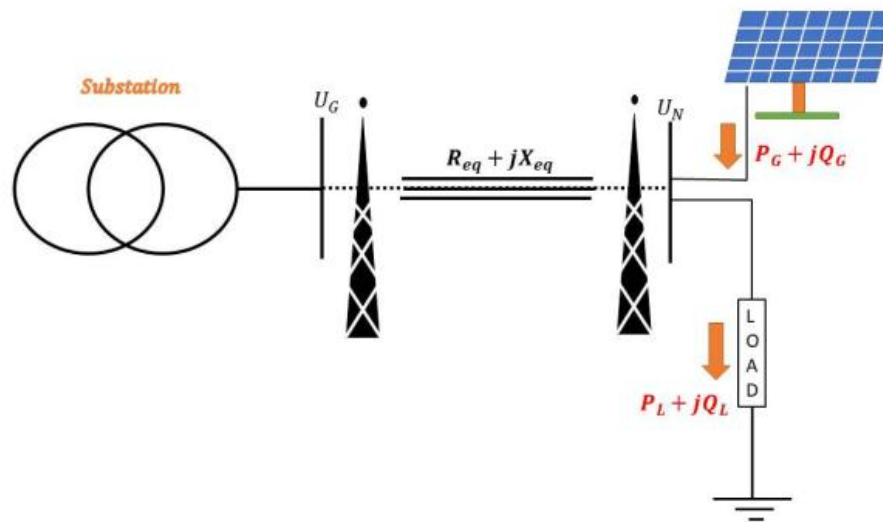


Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

3.5 Analisis Pendekatan Matematis *Hosting Capacity* PV

Bagian ini menjelaskan bagaimana menghitung *Hosting Capacity* dari pembangkitan terdistribusi *photovoltaic* (PDG) dengan menggunakan pendekatan matematis sebagai berikut:

3.5.1 Perhitungan Penurunan Tegangan Menggunakan Teorema KVL



Gambar 3. 2 Injeksi PV

Berdasarkan gambar 3.2 dapat diketahui bahwa kenaikan tegangan akibat injeksi daya dari PVDG (Photovoltaic Distributed Generation) di setiap pelanggan dapat dihitung menggunakan Persamaan (1). Kenaikan tegangan ini dihitung dari selisih tegangan antara bus utama (grid) dan bus yang terhubung dengan PV. Selisih tegangan tersebut, yang dilambangkan dengan ΔV , menunjukkan perbedaan tegangan antara kedua bus sesuai dengan Persamaan (1).[2]

$$\Delta V = U_G - U_n \quad (3.1)$$

Nilai ΔV adalah selisih tegangan antara bus slack dan bus jaringan. U_G adalah tegangan pada bus slack dan nilai ini konstan dengan sudut 0° . Z mewakili impedansi jaringan yang merupakan kombinasi dari resistansi seri R dan reaktansi seri X . Dengan

menggabungkan persamaan (1) ke dalam persamaan saat mempertimbangkan impedansi maka akan mendapatkan persamaan baru untuk formula ΔV dalam persamaan (2).

$$\Delta V \cdot |U_n| = P \cdot R + QX \quad (3.2)$$

3.5.2 Persamaan Aliran Daya

Persamaan aliran beban menggunakan teorema Newton Raphson digunakan untuk persamaan (3) dan matriks Jacobian dihitung dengan persamaan (4). Metode Newton-Raphson dipilih karena iterasinya paling sedikit dengan konvergensi kuadratik, sehingga akan mempercepat sistem komputasi.

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = [J] \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta V \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

Dimana

$$[J] = \begin{bmatrix} J1 & J2 \\ J3 & J4 \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

Matriks diferensial parsial disebut matriks Jacobian $[J]$. Elemen-elemen matriks Jacobian dihitung berdasarkan selisih daya aktif dan daya reaktif pada persamaan (5), persamaan (6), persamaan (7), dan persamaan (8).

$$J_1 = \frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = \sum_{j \neq i} |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (3.5)$$

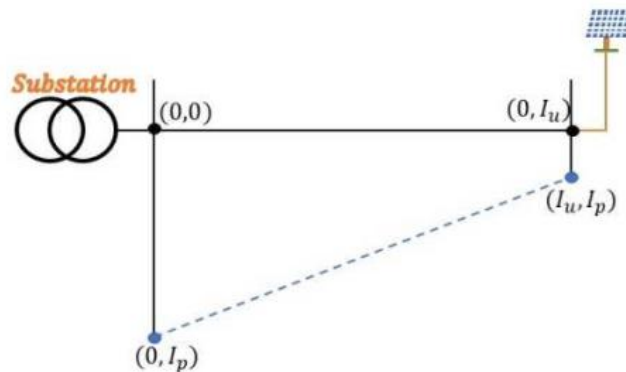
$$J_2 = \frac{\partial P_i}{\partial |V_i|} = 2|V_i| |Y_{ii}| \cos \theta_{ii} + \sum_{j \neq i} |V_i| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (3.6)$$

$$J_3 = \frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} = \sum_{j \neq i} |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (3.7)$$

$$J_4 = \frac{\partial Q_i}{\partial |V_i|} = -2|V_i| |Y_{ii}| \sin \theta_{ii} - \sum_{j \neq i} |V_i| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (3.8)$$

3.5.3 Pendekatan Teorema Persamaan Garis

Untuk menghitung tegangan yang berbeda karena penetrasi PV Surya di setiap pelanggan sebagai nilai (ΔV). Nilai ini dihitung dengan mempertimbangkan 2 pelanggan yang terhubung ke system seperti Gambar 2. Berdasarkan teorema Gunen, nilai (ΔV) diperoleh sebagai hasil dari perubahan tegangan saat PV ditambahkan. Makalah ini memberikan ide untuk menghitung perbedaan level tegangan berdasarkan titik dasar (I_p) dan titik akhir pengukuran beban (I_u) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3. 3 PV yang diinjeksi dengan persamaan garis

Gambar 3.3 gradien garis ditarik antara beban di ujung (I_u) dan beban di dasar (I_p). Panjang garis di ujung dan dasar mewakili (d) seperti yang disebutkan dalam persamaan (10). Di mana, nilai yang diperoleh adalah garis singgung antara dua arus beban di ujung dan arus beban di dasar menurut persamaan (9)

Nilai pada setiap titik pelanggan perpotongan $(0,0)$, $(0, I_p)$, $(I_p, 0)$, (I_u, I_p) diperoleh dari titik sumbu horizontal dan titik vertikal (x, y) pada garis di pangkal dan titik garis di ujung. Panjang garis sumbu x mewakili nilai arus beban pada bus.

Persamaan (9) menghitung nilai persamaan garis (y) dengan menjumlahkan arus ujung ditambah arus basis. Hasilnya akan dikalikan dengan mempertimbangkan impedansi dan jarak antar pelanggan. Pada persamaan (9), dibuat persamaan untuk fungsi turunan

dari nilai (y) untuk memperoleh nilai persamaan untuk fungsi turunan (y) pada persamaan (10). Pada persamaan (10), nilai (ΔV) diperoleh dari hasil turunan persamaan (y). Nilai hasil akhir (ΔV) diperoleh sebagai persamaan (10) di bawah ini.

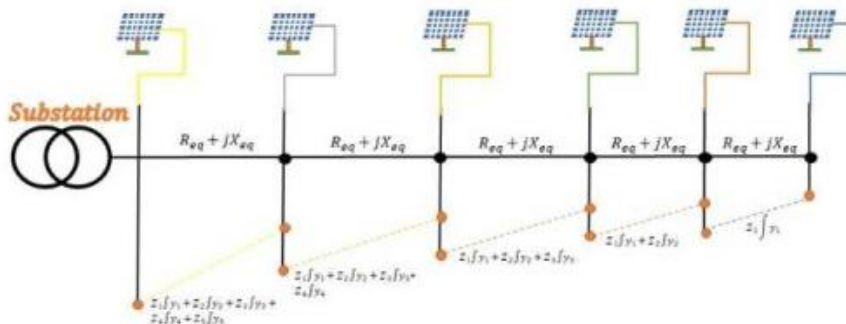
$$y = I_p + \frac{I_u - I_p}{x} d \quad (3.9)$$

$$\Delta V = Z \frac{d}{2} (I_p - I_u) \quad (3.10)$$

Pada persamaan (10) diperoleh nilai (ΔV) untuk satu titik pengukuran diakhir. Maka dengan menghitung (ΔV) yang diperoleh dari akumulasi setiap Solar PV yang terpasang di setiap pelanggan, maka digunakan seperti pada Gambar 3.4, persamaan (11) berikut. Persamaan (11) merupakan gabungan dari nilai satu perhitungan pada persamaan (10). Kemudian, kita jumlahkan untuk setiap pelanggan berdasarkan total pelanggan yang memasang PV.

Perhitungan pada persamaan (11) diperoleh dengan menghitung titik akhir pelanggan yang terhubung dengan PVDG. Jika ingin menggunakan 2 PV masuk ke sistem. Menggunakan perhitungan untuk fungsi integral pada pelanggan 4 dan fungsi integral pada pelanggan 5. Nilai ini diperoleh hingga mencapai pelanggan dengan akumulasi semua titik beban pelanggan dari pelanggan akhir.

$$\Delta V_{tot} = Z_1 \int y_1 + Z_2 \int y_2 + Z_3 \int y_3 + Z_4 \int y_4 + Z_5 \int y_5 \quad (3.11)$$



Gambar 3. 4 PV ditambahkan

3.5.4 Persamaan *Hosting Capacity*

Persamaan *Hosting Capacity* digunakan untuk menghitung jumlah *Photovoltaic Distributed Generation* (PDG) untuk setiap pelanggan. Besarnya *Hosting Capacity* pada setiap pelanggan bergantung pada nilai tegangan naik (ΔV) yang diperoleh pada persamaan (11). Perhitungan persamaan *Hosting Capacity* dituliskan seperti pada persamaan (12) di bawah ini.

Perhitungan *Hosting Capacity* memiliki beberapa persamaan untuk menentukan hasil profil tegangan. Persamaan (12) banyak digunakan dalam beberapa paper dengan pendekatan masing-masing. Persamaan *Hosting Capacity* dapat dipertimbangkan untuk menghitung *Hosting Capacity* s untuk setiap pelanggan dengan persamaan (12) di bawah ini.

$$P_{DG} = \frac{V_{grid}^x(\Delta V)}{R + X \tan \varphi} \quad (3.12)$$

Dimana P_{DG} adalah Daya Injeksi Pembangkit Terdistribusi *Photovoltaic* (PDG), V_{grid} adalah tegangan di sisi pelanggan ketika tidak ada *Photovoltaic*, R adalah resistansi jaringan, dan X adalah reaktansi jaringan.

3.5.5 Batasan

Batasan dalam penelitian ini adalah tegangan nominal sebagai standar media distribusi di Indonesia pada persamaan (13). Kemudian, penelitian ini juga mempertimbangkan pembebanan saluran agar tetap berada dalam batasan termal dengan persamaan (14).

$$0,9 \leq U_N \leq 1,05 \quad (3.13)$$

$$\text{BebanThermal} \leq 100\% \quad (3.14)$$

3.5.6 Rumus Rugi-rugi Daya (*Losses*)

Rugi-rugi daya (*losses*) merupakan energi Listrik yang hilang dalam bentuk panas Ketika arus listrik mengalir melalui penghantar (konduktor) yang memiliki hambatan (resistansi).

$$P_{\text{loss}} = I^2 \cdot R \quad (3.15)$$

Dimana P_{loss} adalah rugi-rugi daya, I adalah arus yang mengalir dan R adalah hambatan listrik dari penghantar.

3.5.7 Rumus Beban Saluran (*Thermal Loading*)

Beban Saluran (*Thermal Loading*) adalah ukuran seberapa besar arus listrik yang mengalir pada suatu saluran distribusi (seperti kabel atau konduktor) dibandingkan dengan kapasitas termal maksimumnya. Kapasitas termal ini dikenal sebagai *ampacity*, yaitu batas arus maksimum yang dapat dialirkan oleh saluran tanpa menyebabkan kenaikan suhu berlebih yang bisa merusak isolasi atau struktur fisik konduktor.

$$\text{Thermal Loading (\%)} = \left(\frac{I_{\text{actual}}}{I_{\text{derated}}} \right) \cdot 100 \quad (3.16)$$

Dimana I_{actual} adalah arus actual yang mengalir di saluran dan I_{derated} adalah kapasitas arus maksimum saluran berdasarkan kondisi nyata (*derated ampacity*).

3.5.8 Tegangan Jatuh (*Voltage Drop*)

Tegangan jatuh (*voltage drop*) adalah penurunan tegangan yang terjadi sepanjang konduktor akibat adanya impedansi (R dan X) pada jaringan listrik saat mengalirkan arus.[22]

$$VD = I (R \cos \theta + X \sin \theta) \quad (3.17)$$

Dimana VD adalah tenaga jatuh, I adalah arus, R adalah resistansi dan X adalah reaktansi serta θ adalah sudut antara tegangan dan arus (sudut beban).

Namun, perhitungan *voltage drop* dapat dikonversi ke dalam satuan per unit (p.u).

$$VD_{pu} \cong \frac{RP_r + XQ_r}{V_r V_B} \quad (3.18)$$

$$VD_{pu} \cong \frac{(S_{3\phi})(s)(r \cos \theta + x \sin \theta) \left(\left(\frac{1}{3} \right) \times 1000 \right)}{V_r V_B} pu \quad (3.19)$$

$$VD_{pu} = s \times K \times S_{3\phi} pu \quad (3.20)$$

Dimana P_r dan Q_r adalah daya nyata dan daya reaktif beban, V_r adalah tegangan beban, V_b adalah tegangan basis, s adalah jarak saluran, K adalah konstanta tegangan jatuh dan $S_{3\phi}$ adalah daya semu beban 3 fasa.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan pembahasan, diperoleh Kesimpulan sebagai berikut:

1. Metode pendekatan teorema persamaan garis, kapasitas optimal *Photovoltaic* (PV) yang dapat diintegrasikan pada penyulang Hujan 20 kV tanpa mengganggu kinerja sistem sebesar 125,6 kWp yang setara dengan 1,919% dari total beban sistem sebesar 6,544 MW.
2. Injeksi daya *Photovoltaic* (PV) berkontribusi dalam memperbaiki profil tegangan dengan meningkatkan tegangan bus, menjaga tegangan tetap berada dalam batas aman sesuai dengan tegangan nominal.
3. Pemasangan *Photovoltaic* (PV) dapat menurunkan rugi-rugi daya (*Losses*) di saluran karena kontribusi daya aktif dari *Photovoltaic* (PV) yang mengurangi arus dari sumber utama, secara efektif mengurangi rugi-rugi daya aktif di jaringan.
4. Integrasi *Photovoltaic* (PV) dapat menurunkan beban saluran (*thermal loading*) sistem distribusi karena berkurangnya arus akibat adanya kontribusi injeksi daya dari *photovoltaic* (PV) dan terjadi penurunan nilai *performance index* (PI) setelah injeksi daya PV.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil simulasi dan pembahasan, diperoleh saran sebagai berikut:

1. Penelitian ini menggunakan data simulasi yang bersifat tetap tanpa mempertimbangkan iradiasi matahari secara nyata, sehingga penelitian selanjutnya disarankan untuk menggunakan data iradiasi dan suhu secara real-

time dari kondisi lapangan agar analisis pengaruh *Photovoltaic* (PV) lebih akurat.

2. Sistem distribusi tenaga listrik di lapangan bersifat dinamis dengan beban dan suplai energi yang berubah-ubah, sehingga penelitian selanjutnya disarankan untuk menggunakan pendekatan time-series dan melakukan pemodelan variasi beban serta suplai *Photovoltaic* (PV) berdasarkan data aktual untuk menganalisis respon sistem terhadap kondisi operasional yang fluktuatif.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Hermawan, L. M. Putranto, H. R. Ali, and F. Saputra, "Determination of PV Hosting Capacity on the 20 kV Distribution Network considering Network Configuration," *Proc. - Int. Conf. Smart-Green Technol. Electr. Inf. Syst. ICSGTEIS*, pp. 202–207, 2023, doi: 10.1109/ICSGTEIS60500.2023.10424248.
- [2] R. Khomarudin, K. M. Banjar-Nahor, and N. Hariyanto, "Mathematical Hosting Capacity Calculation due to Arise Voltage using the Equation of Line Approach," *ICPERE 2022 - 5th Int. Conf. Power Eng. Renew. Energy, Proc.*, vol. 1, pp. 1–6, 2022, doi: 10.1109/ICPERE56870.2022.10037500.
- [3] S. M. Ismael, S. H. E. Abdel Aleem, A. Y. Abdelaziz, and A. F. Zobaa, "State-of-the-art of hosting capacity in modern power systems with distributed generation," *Renew. Energy*, vol. 130, pp. 1002–1020, 2019, doi: 10.1016/j.renene.2018.07.008.
- [4] P. M. Bateriai and L. Led, "Jurnal Ilmiah Setrum," vol. 8, no. 2, pp. 260–273, 2020.
- [5] I. S. M. E. Suropto, "Sistem Tenaga Listrik," *ELTEK, Vol 11 Nomor 01*, pp. 1–293, 2017.
- [6] B. Sultana, M. W. Mustafa, U. Sultana, and A. R. Bhatti, "Review on reliability improvement and power loss reduction in distribution system via network reconfiguration," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 66, pp. 297–310, 2016, doi: 10.1016/j.rser.2016.08.011.
- [7] Arman, T. Rijanto, Joko, and R. Harimurti, "Analisis Penempatan Recloser Terhadap Keandalan Sistem Tenaga Listrik Jaringan Distribusi 20kV di PT.PLN (Persero) ULP AMUNTAI," *J. Tek. Elektro*, vol. 13, no. 2, pp. 130–134, 2024.
- [8] M. H. Moradi and M. Abedini, "A combination of genetic algorithm and particle swarm optimization for optimal DG location and sizing in distribution systems," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 34, no. 1, pp. 66–74, 2012,

doi: 10.1016/j.ijepes.2011.08.023.

- [9] A. K. S. David Tan, "Handbook for Solar Photovoltaic Systems," *Energy Mark. Authority, Singapore Publ.*, pp. 4–9, 2011.
- [10] Tridinamika, "Energi Laut, Energi Yang Terbarukan".
- [11] H. B. Nurjaman and T. Purnama, "Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Sebagai Solusi Energi Terbarukan Rumah Tangga," *J. Edukasi Elektro*, vol. 6, no. 2, pp. 136–142, 2022, doi: 10.21831/jee.v6i2.51617.
- [12] G. Science and E. Outlook, "何霄嘉 1 , 郑大玮 2 , 许吟隆 3 (1.," *Anal. Krit. TERHADAP Perenc. PEMBANGKIT List. TENAGA SURYA TIPE Photovolt. SEBAGAI ENERGI Altern. MASA DEPAN Supari*, vol. 32, no. 2, pp. 58–65, 2020.
- [13] A. Deniarahman, Sultan, and I. M. A. Nrratha, "Perencanaan pembangkit listrik tenaga surya rooftop kapasitas 600 Wp on-grid," *Jeitech*, vol. 2, no. 2, pp. 22–33, 2024.
- [14] Ima Rochimawati, "Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya," *Strategy : Jurnal Teknik Industri*, vol. 1, no. 1. 2019. doi: 10.37753/strategy.v1i1.7.
- [15] K. K. Jaladi, S. Kumar, and L. M. Saini, "ANFIS controlled grid connected electric vehicle charging station using PV source," *2020 1st IEEE Int. Conf. Meas. Instrumentation, Control Autom. ICMICA 2020*, pp. 4–8, 2020, doi: 10.1109/ICMICA48462.2020.9242717.
- [16] S. Wang, S. Chen, L. Ge, and L. Wu, "Distributed Generation Hosting Capacity Evaluation for Distribution Systems Considering the Robust Optimal Operation of OLTC and SVC," *IEEE Trans. Sustain. Energy*, vol. 7, no. 3, pp. 1111–1123, 2016, doi: 10.1109/TSTE.2016.2529627.
- [17] Y. Y. Fu and H. D. Chiang, "Toward optimal multiperiod network reconfiguration for increasing the hosting capacity of distribution networks," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 33, no. 5, pp. 2294–2304, 2018, doi: 10.1109/TPWRD.2018.2801332.
- [18] S. M. Ismael, S. H. E. Abdel Aleem, A. Y. Abdelaziz, and A. F. Zobaa,

- “Practical Considerations for Optimal Conductor Reinforcement and Hosting Capacity Enhancement in Radial Distribution Systems,” *IEEE Access*, vol. 6, pp. 27268–27277, 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2835165.
- [19] M. S. S. Abad, J. Ma, D. Zhang, A. S. Ahmadyar, and H. Marzooghi, “Probabilistic Assessment of Hosting Capacity in Radial Distribution Systems,” *IEEE Trans. Sustain. Energy*, vol. 9, no. 4, pp. 1935–1947, 2018, doi: 10.1109/TSTE.2018.2819201.
- [20] S. Mina Mirbagheri, D. Falabretti, V. Ilea, and M. Merlo, “Hosting Capacity Analysis: A Review and a New Evaluation Method in Case of Parameters Uncertainty and Multi-Generator,” *Proc. - 2018 IEEE Int. Conf. Environ. Electr. Eng. 2018 IEEE Ind. Commer. Power Syst. Eur. IEEEIC/I CPS Eur. 2018*, pp. 1–6, 2018, doi: 10.1109/IEEEIC.2018.8494572.
- [21] D. R. Tobergte and S. Curtis, *Power Generation Operation and Control 3rd ed*, vol. 53, no. 9. 2014.
- [22] T. Gonen, “Electric Power Distribution Engineering,” *Electric Power Distribution Engineering*. 2015. doi: 10.1201/b16455.

LAMPIRAN