

**ANALISIS ALIRAN DAYA PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA
SURYA (PLTS) TERPASANG GEDUNG LABTEK INSTITUT TEKNOLOGI
SUMATERA 1 MWP DAN PERBANDINGANNYA MENGGUNAKAN
SOFTWARE ETAP VERSI 19.0.1 DAN FUSION SOLAR**

Skripsi

Oleh

Dameria Simamora
2117041069



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

**ANALISIS ALIRAN DAYA PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA
(PLTS) TERPASANG GEDUNG LABTEK INSTITUT TEKNOLOGI SUMATERA 1
MWP DAN PERBANDINGANNYA MENGGUNAKAN *SOFTWARE* ETAP VERSI
19.0.1 DAN FUSION SOLAR**

Oleh:

Dameria Simamora

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA SAINS**

Pada

**Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Lampung**



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

ABSTAK

ANALISIS ALIRAN DAYA PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) TERPASANG GEDUNG LABTEK INSTITUT TEKNOLOGI SUMATERA 1 MWP DAN PERBANDINGANNYA MENGGUNAKAN SOFTWARE ETAP VERSI 19.0.1 DAN FUSION SOLAR

Oleh

Dameria Simamora

Telah dilakukan penelitian menganalisis aliran daya pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya terpasang ITERA terhadap Gedung Labtek 3 menggunakan software *Electrical Transient Analyzer Program* (ETAP). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis distribusi daya dari PLTS ke Gedung labtek. Aplikasi ini bekerja dengan otomatis menampilkan simulasi untuk mengetahui distribusi daya aktif dan reaktif, kestabilan tegangan, serta efisiensi sistem pada berbagai kondisi operasi. Sehingga, dapat membandingkan simulasi dengan aktual. Penelitian ini menggunakan metode penelitian *Research and Development* dengan persiapan *software*, Data yang diperoleh dari lapangan. Hasil penelitian yang didapatkan menunjukkan bahwa analisis daya Gedung labtek hasil simulasi menunjukkan kondisi tertinggi, PLTS menghasilkan 800 kW dengan kebutuhan beban kecil, menyebabkan aliran daya mode eksporting ke PLN. Kondisi normal, PLTS dan beban kecil, menunjukkan keseimbangan antara kebutuhan konsumsi gedung dan suplai dari pembangkit. Kondisi minimum, sistem berada dalam mode ekspor. PLN menerima daya negatif (-753 kW). Sedangkan data actual, Desember 2024, tercatat energi impor sebesar 139.334,4 kWh, ekspor hanya 3.270,4 kWh. Besar rugi daya (*losses*) daya dalam kondisi normal sebesar 47,1 kW untuk daya aktif dan 27,5 kVAr untuk daya reaktif. Total losses dalam kondisi Tertinggi di 38,7 kW untuk daya aktif dan 31,8 kVAr untuk daya reaktif, serta dalam kondisi terendah total *losses* 40,6 kW untuk daya aktif dan 37,7 kVAr untuk daya reaktif. Analisis faktor daya ($\cos \phi$) actual telah memenuhi standar yaitu $0,85 \leq 1$. Namun, hasil simulasi ETAP menampilkan factor daya yang lebih kecil yang diakibatkan oleh PLTS tidak memberikan supply reactive power.

Kata Kunci : *Load Flow, ETAP, Segitiga Daya, Losses*

ABSTRACT

LOAD FLOW ANALYSIS IN SOLAR POWER PLANTS (PLTS) INSTALLED IN LABTEK BUILDING OF SUMATERA INSTITUTE OF TECHNOLOGY 1 MWP AND ITS COMPARISON USING ETAP SOFTWARE VERSION 19.0.1 AND FUSION SOLAR

By

Dameria Simamora

This Research has analyze the load flow of the installed Solar Power Plant (PLTS) system at ITERA towards the Labtek 3 Building using the Electrical Transient Analyzer Program (ETAP) software. The aim of this research is to evaluate the power distribution from the PLTS to the building. The software automatically simulates the system to display the distribution of active and reactive power, voltage stability, and overall system efficiency under various operating conditions, enabling a comparison between simulation results and actual data. This research follows a Research and Development method, involving software setup and field data collection. The findings indicate that the highest simulated condition shows the PLTS generating 800 kW with low building load demand, resulting in power flow in exporting mode to the grid (PLN). Under normal conditions, with balanced PLTS output and building load, the system achieves equilibrium between consumption and supply. In the minimum condition, the system still operates in exporting mode, where PLN receives negative power flow (-753 kW). Actual data for December 2024 recorded an imported energy of 139,334.4 kWh, while the exported energy was only 3,270.4 kWh. Power losses under normal conditions were measured at 47.1 kW for active power and 27.5 kVAr for reactive power. In the highest load condition, the total losses were 38.7 kW (active) and 31.8 kVAr (reactive), while in the lowest condition, losses amounted to 40.6 kW (active) and 37.7 kVAr (reactive). The actual power factor ($\cos \phi$) meets the standard range of 0.85 to ≤ 1 . However, the ETAP simulation results show a smaller power factor which is caused by the PLTS not providing a reactive power supply.

Keywords: Load Flow, ETAP, Power Triangle, Losses

Judul Skripsi : **Analisis Aliran Daya Pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Terpasang Gedung Labtek Institut Teknologi Sumatera 1 MWP Dan Perbandingannya Menggunakan Software Etap 19.0.1 Dan Fusion Solar**

Nama Mahasiswa : **Dameria Simamora**

Nomor Pokok Mahasiswa : 2117041069

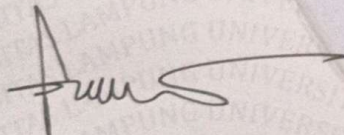
Jurusan : Fisika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

MENYETUJUI

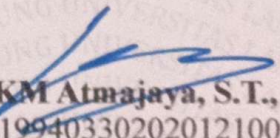
1. Komisi Pembimbing

Pembimbing I



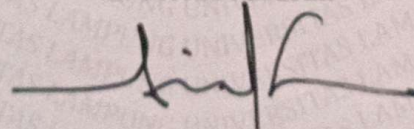
Dr. Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T.
NIP.198010102005011002

Pembimbing II



Gde KM Atmajaya, S.T., M.T.
NIP. 199403302020121009

2. Ketua Jurusan

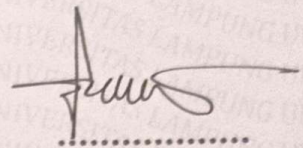


Arif Sutono, S.Si., M.Si., M.Eng.
NIP. 197109092000121001

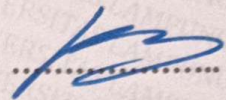
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : **Dr. Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T.**



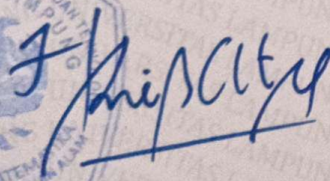
Sekretaris : **Gde KM Atmajaya, S.T., M.T.**



Penguji Bukan
Pembimbing : **Drs. Amir Supriyanto, M.Si.**



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Eng. Heri Satria., S.Si., M.Si.

NIP.197110012005011002

Tanggal Ujian Skripsi: 24 Juni 2025

PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini,

Nama : Dameria Simamora
NPM : 2117011069
Jurusan : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa skripsi saya yang berjudul “**Analisis Aliran Daya pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Terpasang Gedung Labtek Institut Teknologi Sumatera 1 MWP dan Perbandingannya Menggunakan Software ETAP Versi 19.0.1 dan Fusion Solar**” adalah benar karya saya sendiri, baik gagasan, hasil, dan analisisnya. Selanjutnya saya juga tidak keberatan jika sebagian atau seluruhnya data didalam skripsi tersebut digunakan oleh dosen atau program studi untuk kepentingan publikasi, sepanjang nama saya disebutkan dan terdapat kesepakatan sebelum dilakukan publikasi.

Bandarlampung, 12 Juni 2025

Penulis,



Dameria Simamora

NPM. 2117041069

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama Dameria Simamora, dilahirkan di Kabupaten Kota Pekanbaru, Provinsi Pekanbaru pada tanggal 08 November 2002. Penulis merupakan anak pertama dari pasangan Bapak (Alm) Midun Simamora dan Ibu Lenni Tambunan. Penulis menyelesaikan pendidikan di SDN 3 Saitnihuta tahun 2015, SMPN 2 Dolok Sanggul pada tahun 2018, SMAN 1 Dolok Sanggul pada tahun 2021.

Penulis diterima di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung pada tahun 2021 melalui jalur SBMPTN. Penulis juga aktif dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Fisika (HIMAFI) FMIPA UNILA sebagai anggota pengurus Bidang KRT (Kesekretariatan) pada periode 2022. Penulis menyelesaikan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di PLN NP UP Tarahan, dengan judul **“Analisis Kinerja Kondensor Unit 3 PLTU Tarahan Menggunakan Metode Log Mean Temperature Difference (LMTD)”**. Penulis juga melakukan pengabdian terhadap masyarakat dengan mengikuti program Kuliah Kerja Nyata (KKN) Universitas Lampung pada tahun 2024 di Desa Tanjung Harapan, Kecamatan Marga Tiga, Kab. Lampung Timur.

Penulis juga terlibat dalam kegiatan ilmiah sebagai peserta MBKM Penelitian Universitas Lampung pada tahun 2024 dengan topik mengenai **“Produksi Prototype Pembangkit Energi Listrik Elektrokimia Air Laut Dengan Sistem Otomatisasi Pengisian Air Laut, dan Charging untuk Regenerasi Anoda”**. Kemudian untuk tugas akhirnya penulis melakukan penelitian

“Analisis Aliran Daya pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Terpasang Institut Teknologi Sumatera 1MWP dan Perbandingannya Menggunakan Software ETAP Versi 19.0.1 dan Fusion Solar” sebagai tugas akhir di Institut Teknologi Sumatera (ITERA).

MOTTO

“Stay Pretty. Be Educated. Dress Well. Get Money.”

“Orang- orang yang menabur dengan mencururkan air mata, akan menuai dengan bersorak-sorai. Orang yang berjalan maju dengan menangis sambil menabur benih, pasti pulang dengan sorak- sorai sambil membawa berkas-berkasnya”

(Mazmur 126:5-6)

“Dan apa saja yang kamu minta dalam doa dengan penuh kepercayaan, kamu akan menerimanya”

(Matius 21:22)

“Bersukacitalah dalam pengharapan, sabarlah dalam kesesakan dan bertekunlah dalam doa”

(Roma 12:12)

PERSEMBAHAN

**Puji Syukur Kehadirat, dan Rahmat Tuhan Yesus Kristus yang Selalu
Menyertai Dimanapun dan Kapanpun Saya Berada**

Karya ini dipersembahkan untuk kedua orang tuaku :

(Alm) Bapak Midun Simamora & (Alm) Ibu Lenni Tambunan

Terimakasih telah merawat dan mempertimbangkan masa depan penulis, serta kesempatan hidup setara dengan oranglain bahkan mampu menyelesaikan pendidikan tingkat Universitas Sebagai Sarjana walaupun sudah tidak bisa
membersamai lagi.

Oppungku Rasmi Br. Purba serta Keluarga Besar Simamora

Terimakasih Banyak atas segala dukungan Materi dan Pikiran dan kepercayaan yang telah diberikan sehingga dapat tetap bertahan dalam setiap keadaan suka dan duka

Keluarga Besar dan Teman- Teman Jurusan Fisika FMIPA UNILA

Atas kebersamaan dan dukungan selama perkuliahan

Serta Almamater Tercinta

UNIVERSITAS LAMPUNG

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yesus Kristus yang telah memberikan kesehatan, kemampuan, rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **“Analisis Aliran Daya Pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Terpasang Gedung Labtek Institut Teknologi Sumatera 1MWP Dan Perbandingannya Menggunakan Software ETAP Versi 19.0.1 Dan Fusion Solar”**. Tujuan penulisan skripsi ini adalah sebagai salah satu persyaratan untuk mendapatkan gelar Sarjana Prodi Fisika FMIPA Universitas Lampung dan juga melatih mahasiswa untuk berpikir cerdas dan kreatif dalam menulis karya ilmiah.

Dengan segala kerendahan hati, penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penelitian dan penulisan skripsi ini. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan untuk memperbaiki penulisan di masa mendatang. Penulis mohon maaf atas segala kekurangan yang ada. Semoga skripsi ini bermanfaat dan menambah pengetahuan bagi penulis maupun pembaca.

Bandar Lampung, 25 Maret 2025
Penulis,

Dameria Simamora

SANWACANA

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yesus Kristus yang telah memberikan kesehatan, kemampuan, rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **“Analisis Aliran Daya Pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Terpasang Gedung Labtek Institut Teknologi Sumatera 1 MWP Dan Perbandingannya Menggunakan Software ETAP Versi 19.0.1 Dan Fusion Solar”**. Dalam kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu penulis. Penulisan skripsi ini tidak dapat terwujud tanpa adanya bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis berterima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T sebagai Dosen Pembimbing I, yang telah memberikan arahan, bimbingan dan dorongan selama penyusunan skripsi ini.
2. Bapak Gde KM Atmajaya, S.T., M.T sebagai Dosen Pembimbing II, yang telah membantu, memberikan arahan, bimbingan dan saran penulis dalam menyusun skripsi ini
3. Bapak Drs. Amir Supriyanto, M.Si sebagai Dosen Pembahas, yang telah memeberikan arahan kritikan, saran dan dukungannya selama penulis mengerjakan skrips ini.
4. Bapak Iqbal Firdaus, S.Si., M.Si. sebagai Dosen Pembimbing Akademik yang selalu memberikan arahan dan nasehat selama menjalani perkuliahan.
5. Bapak Dr. Eng. Heri Satria., S.Si., M.Si sebagai ketua Dekan FMIPA UNILA.
6. Bapak Arif Surtono., S.Si., M.Si. M. Eng sebagai Ketua Jurusan Fisika FMIPA UNILA.
7. Bapak dan Ibu Dosen serta Staff Jurusan Fisika FIMPA UNILA yang telah

banyak memberikan ilmu, pengalaman, dan motivasi selama masa perkuliahan.

8. Orangtua Penulis sebagai wali khususnya Manro Simamora & Murni Simbolon, yang telah memberikan segala dukungan materi, motivasi, serta kepercayaan penuh kepada penulis untuk menyelesaikan studi.
9. Oppungku Rasmi Br. Purba yang telah memberikan kesempatan, kepercayaan, serta motivasi kepada penulis dalam keadaan suka dan duka.
10. Ridwan Kornelius Purba, yang telah membantu, menemani, memotivasi, menolong dan memberikan waktu kepada penulis dalam keadaan suka dan duka selama menyelesaikan studi.
11. Kak Hasbi, yang telah memberikan ide, gagasan, dan mengajari penulis dalam menyusun Skripsi.
12. Nurma Novita & Sulistiawati, sebagai rekan tim penelitian penulis yang telah membantu, bekerjasama, dan memberikan waktu bagi penulis untuk menyelesaikan Skripsi ini.
13. Cindy Putri Patricia Simamora, yang telah membantu penulis dalam menangani masalah materi, memberikan dukungan dan memotivasi penulis dalam menyelesaikan studi ini.
14. Dina Lasma Ida Simamora, yang telah memberikan kepercayaan, dukungan, dan materi dalam masa kritis selama penulis menyelesaikan studi.
15. Rohani Sianturi, yang telah menyambut penulis pertama kalinya hadir di Bandar Lampung dan mengajari, membimbing serta penuh kesabaran mengajari penulis beradaptasi.
16. Teman-teman penulis “Tim Semangat Ea” Angelika, Flora, Febryanti, Diah, Putri Jelita, Hanindya, Nina dan Grace yang telah membantu, mendukung, menemani penulis selama menyelesaikan studi.
17. Fisika Angkatan 21, rekan-rekan seperjuangan yang telah menemani penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Penulis ucapkan banyak terima kasih kesemua berbagai pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan skripsi ini. Semoga Tuhan Yesus memberikan imbalan balasan seluruh kebaikan atas bantuan semua pihak dan semoga Tuhan Yesus selalu mempermudah semua urusannya dalam membantu penulis menyelesaikan skripsi ini

Bandar Lampung, 26 Mei 2025

Dameria Simamora

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK.....	i
ABSTRACT.....	ii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iv
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
PERNYATAAN.....	vi
RIWAYAT HIDUP.....	vii
MOTTO.....	ix
PERSEMBAHAN.....	x
KATA PENGANTAR.....	xi
SANWACANA.....	xii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xviii
DAFTAR TABEL.....	xx
I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Manfaat Penelitian	5
1.5 Batasan Masalah.....	6

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait.....	7
2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).....	14
2.3 Energi Surya.....	15
2.4 Photovoltaic.....	15
2.5 Semikonduktor.....	17
2.6 Jenis- Jenis Panel Surya.....	18
2.6.1 Sel Surya Tipe <i>Monocrystalline</i>	18
2.6.2 Sel Surya <i>Polycrystalline</i>	19
2.6.3 Sel Surya Tipe Thin Film.....	19
2.7 Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).....	20
2.7.1 Panel Surya.....	20
2.7.2 <i>Solar Charge Controller</i>	21
2.7.3 Baterai.....	21
2.7.4 Inverter.....	21
2.8 Faktor yang Mempengaruhi Kinerja Panel Surya.....	22
2.8.1 Sudut Kemiringan Modul Surya.....	22
2.8.2 Temperatur.....	23
2.8.3 Bayangan/ Shading.....	23
2.8.4 Kebersihan Modul Surya.....	24
2.9 Analisa Rugi-Rugi Daya.....	24
2.9.1 Rugi-Rugi Penghantar DC.....	24
2.9.2 Persentase Rugi-Rugi Energi Listrik.....	25
2.10 Daya Aktif dan Daya Reaktif.....	24
2.10.1 Daya Aktif (P).....	25
2.10.2 Daya Reaktif (Q).....	26
2.10.3 Faktor Daya	27
2.11 Fusion Solar.....	27
2.12 Software ETAP.....	28

III.METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	30
3.2 Alat dan Bahan Penelitian.....	30
3.3 Prosedur Penelitian.....	31
3.4 Data yang di tampilkan.....	32
3.5 Diagram Alir.....	32
3.6 Pengumpulan Data.....	33

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Desain Single Line Diagram Pada ETAP.....	36
4.2 Pengisian Atribut Komponen SLD.....	40
4.2.1 Pengisian Atribut PLN.....	40
4.2.2 Pengisian Atribut Bus.....	42

4.2.3 Pengisian Atribut CB.....	44
4.2.4 Pengisian Atribut Kabel.....	48
4.2.5 Pengisian Atribut Trafo.....	52
4.3 Hasil Simulasi Etap	53
4.3.1 Hasil Simulasi ETAP Dengan Beban Normal.....	54
4.3.2 Hasil Simulasi ETAP Dengan Beban Tertinggi	56
4.3.3 Hasil Simulasi ETAP Dengan Beban Terendah.....	58
4.4 Hasil Analisis Daya Aktual Pada Labtek 3.....	61
4.6 Analisis Grafik Daya Aktual.....	69

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan.....	73
5.2 Saran.....	74

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Segitiga Daya.....	8
2.2 Potensi Energi Matahari Kota Cilacap.....	12
2.3 Kurva Hubungan Antara I-V dan PV array 27 KW.....	12
2.4 Model SLD Sistem Tenaga Listrik Yang Disimulasikan.....	13
2.5 <i>Solar Cell Monocrystalline</i>	18
2.6 <i>Solar Cell Polycrystalline</i>	19
2.7 Sel surya <i>Thin Film</i>	20
2.8 Jendela Tampilan Fusion Solar.....	28
2.9 Jendela Tampilan Aplikasi ETAP	29
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	32
4.1 Gedung Laboratorium Teknik 3 ITERA yang disupply PLTS.....	36
4.2 Single Line Diagram Pada ETAP yang disimulasikan.....	37
4.3 Denah Aktual Gedung labtek Terkait yang di Supply.....	38
4.4 Atribut PLN.....	41
4.5 Atribut Bus 1.....	42
4.6 Atribut Bus 2 & 3.....	43
4.7 Atribut CB 1.....	44
4.8 Atribut Library CB 2.....	46
4.9 Atribut Library CB 5.....	47
4.10 Atribut Library PV Array.....	48

4.11 Atribut Library Kabel 1.....	49
4.12 Atribut Library Kabel 2.....	50
4.13 Atribut Library Kabel 3.....	51
4.14 Atribut Library Kabel 4.....	51
4.15 Atribut Trafo.....	52
4.16 Hasil Simulasi Beban Normal.....	53
4.17 Hasil Simulasi Beban Tertinggi.....	56
4.18 Hasil Simulasi Beban Terendah.....	59
4.19 Grafik Analisis daya Aktual Gedung.....	70
4.20 Sistem Energi Bulanan PV.....	72

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
3.1 Spesifikasi Modul PV PLTS ITERA.....	33
3.2 Data Pengamatan Fushion Solar.....	33
3.3 Pengukuran Arus dan Tegangan inverter.....	34
3.4 Perhitungan Daya Rata-Rata.....	35
3.5 Persentase Losses Kabel DC.....	35
3.6 Data Single Line Diagram.....	35
3.7 Analisis Daya Gedung Labtek 3.....	35
4.1 Nilai Atribut PLN.....	41
4.2 Nilai Atribut Bus.....	44
4.3 Data Atribut masing-masing CB.....	45
4.4 Data Atribut masing-masing Kabel.....	49
4.5 <i>Loadflow Report</i> Kondisi Normal	54
4.6 Hasil Analisis Aliran Daya Kondisi Normal.....	55
4.7 <i>Loadflow Report</i> Kondisi Tertinggi.....	57
4.8 Hasil Analisis Aliran Daya Kondisi Tertinggi.....	58
4.9 <i>Loadflow Report</i> Kondisi Terendah.....	60
4.10 Hasil Analisis Aliran Daya Kondisi Terendah.....	61
4.11 Analisis daya pada Tanggal 17 Desember 2024.....	62
4.12 Analisis daya pada Tanggal 18 Desember 2024.....	63
4.13 Analisis daya pada Tanggal 19 Desember 2024.....	63
4. 14 Analisis daya pada Tanggal 20 Desember 2024.....	64

4. 15	Analisis daya pada Tanggal 21 Desember 2024.....	65
4. 16	Analisis daya pada Tanggal 22 Desember 2024.....	65
4. 17	Analisis daya pada Tanggal 23 Desember 2024.....	66
4.18	<i>Losses report</i> dengan kondisi beban normal (704,3 kVA).....	68
4.15	<i>Losses report</i> dengan kondisi beban tertinggi (110,4 kVA).....	68
4.16	<i>Losses report</i> dengan kondisi beban terendah (7,022 kVA).....	69

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan sumber energi terbarukan, dimana sinar matahari sebagai sumber energi yang tidak ada habisnya. Selain itu, PLTS merupakan pembangkit listrik yang ramah lingkungan karena tidak menggunakan komponen yang berputar, tidak berdampak polusi seperti polusi udara, air, dan laut, dan tidak mengeluarkan emisi berupa gas buangan atau limbah (Evalina *et al.*, 2019). Sistem tenaga surya yang dipasang di tanah biasanya dikenal dengan istilah PLTS *grounding* atau *ground-mounted*. PLTS semacam ini memasang panel surya di atas tanah dengan penopang khusus. Keuntungan terbesar dengan panel surya yang dipasang di tanah adalah kontrol yang lebih besar atas arah dan sudut panel surya. Panel surya harus menghadap ke selatan atau barat daya untuk menerima sinar matahari langsung secara maksimal.

Institut Teknologi Sumatera (ITERA) saat ini telah menyiapkan PLTS untuk membantu menjawab tantangan ketahanan energi di masa depan. PLTS merupakan pembangkit listrik yang mengubah energi matahari menjadi energi listrik. PLTS ini dipasang dengan kapasitas puncak 1 MW (1 MWp) dan tipe On Grid terhubung dengan listrik PLN. PLTS ini dibangun untuk memberi daya pada beberapa auditorium dan dianggap sebagai lab PLTS terbesar di Indonesia. PLTS 1MWp ini juga merupakan langkah ITERA untuk mempercepat transisi energi ke energi baru terbarukan dan mengurangi emisi karbon. PLTS On-Grid adalah sistem produksi energi surya yang terhubung dengan PLN On- Grid. Sistem PLTS On-Grid cocok untuk daerah perkotaan yang sudah memiliki jaringan PLN. PLTS On-Grid ini tidak memiliki baterai sehingga hanya

bekerja di bawah sinar matahari PLTS yang dibangun di atas lahan seluas 1 hektare tersebut menjadi laboratorium PLTS terbesar di Indonesia yang akan dimanfaatkan untuk berbagai penelitian tentang energi terbarukan.

PLTS ITERA dibangun dari 3.036 panel surya (330Wp per modul), yang dipasang dengan kemiringan 10° , dan panjang kabel DC 270m dan menghasilkan energi listrik sebesar 4 Megawatt *hour* (MWh) per hari dan mampu mengurangi emisi karbon hingga 5.600 ton CO₂ per tahun. Dengan memiliki PLTS tersebut, ITERA telah mampu memenuhi 50% kebutuhan energi listrik secara mandiri. Tujuan utamanya adalah untuk mengurangi konsumsi listrik di PLN (penghematan tagihan listrik). Penggunaan sistem ini merupakan solusi paling efektif untuk efisiensi biaya listrik hingga 70%, karena dapat menghemat biaya listrik bulanan secara signifikan. Semakin mahal biaya PLN maka semakin besar biaya penghematan bisa dilakukan. Artinya 1 watt listrik yang dihasilkan PLTS akan langsung mengurangi harga listrik PLN maksimal 0,65 watt untuk bulan berikutnya. Jadi pengguna hanya membayar sisanya ditambah biaya listrik di PLN. Cara ini dapat mengurangi tagihan listrik yang lebih murah (Atmajaya et al., 2022).

Dalam rangka memenuhi kebutuhan energi ini, analisa daya adalah sesuatu yang penting dalam operasi sistem pembangkit listrik tenaga surya yang mana dengan adanya analisa daya listrik yang baik dapat memberikan efektifitas dan efisiensi yang signifikan terutama dalam aspek keekonomisan penggunaan daya listrik dari PLTS terkait. Analisa daya (*load flow*) merupakan analisis sistem tenaga listrik untuk mengoptimalkan kinerja sistem PLTS. Analisa ini digunakan untuk menghitung distribusi tegangan, arus, daya aktif, daya reaktif, serta rugi-rugi daya di seluruh komponen sistem tenaga listrik berbasis tenaga surya (Faruq et al., 2021).

Analisa aliran daya menggunakan metode simulasi menggunakan aplikasi ETAP Power Station 19.0.1. Analisa yang akan dilakukan nantinya akan dilakukan perhitungan terhadap Tegangan, Faktor daya dan Arus serta yang paling utama yaitu perhitungan dan mengetahui proses aliran daya pada sistem tenaga listrik tersebut. Aplikasi ini dapat diatur dengan tegangan pada banyak sumber dan beban (Faruq et al, 2021).

Penelitian ini menggunakan aplikasi ETAP dan Fusion Solar Sistem, yang merupakan paket perangkat lunak yang digunakan untuk proses pembelajaran, pengukuran (*sizing*), *load flow analysis*, dan bagaimana caranya menganalisa daya komponen elektronika dari bangunan terkait dari sistem PLTS secara lengkap. Alat desain yang berguna untuk desain dan estimasi sistem PLTS. Mensimulasikan sebagian besar parameter yang diperlukan oleh perancang sistem PLTS dan membantu menghasilkan laporan simulasi yang komprehensif. Fusion Solar adalah perangkat lunak yang sangat populer dan diandalkan untuk simulasi sistem fotovoltai (PV), baik dalam skala kecil maupun besar (Sumarno *et al.*, 2024). Ada beberapa keuntungan utama dari penggunaan Fusion Solar, antara lain, akurasi simulasi Fusion Solar memungkinkan simulasi yang sangat akurat dalam memprediksi performa sistem PV berdasarkan berbagai parameter seperti radiasi matahari, suhu, lokasi geografis, dan spesifikasi teknis modul dan *inverter*. Fleksibilitas desain Fusion Solar mendukung berbagai konfigurasi sistem, baik untuk sistem on-grid (terhubung ke jaringan) maupun off-grid (mandiri). Analisis ekonomi teknis, Fusion Solar juga memungkinkan analisis ekonomi dengan mempertimbangkan biaya operasi, dan pendapatan yang dihasilkan dari produksi listrik. Perangkat lunak ini menyediakan data yang sangat lengkap, mencakup berbagai modul PV, *inverter*, dan data meteorologi.

ETAP (*Electrical Transient Analyzer Program*) adalah perangkat lunak yang umum digunakan dalam analisis dan simulasi sistem tenaga listrik (Rahmadhani *et al.*, 2023). Keuntungan utama dari penggunaan ETAP adalah akurasi tinggi dalam mensimulasikan sistem kelistrikan. ETAP menawarkan kemampuan simulasi real-time yang memungkinkan pengguna untuk mensimulasikan sistem listrik secara langsung. Fitur

ETAP adalah kemampuan untuk memodelkan proteksi dan koordinasi sistem, menyediakan alat untuk merancang sistem proteksi, mengatur waktu kerja, dan memastikan bahwa kondisi real berjalan sesuai dengan desain ETAP menyediakan fitur yang mudah dipahami, alat visualisasi yang kuat untuk menggambarkan jaringan listrik, aliran daya, dilengkapi dengan alat optimasi yang memungkinkan perancang sistem untuk memaksimalkan efisiensi dan mengurangi biaya operasional sistem tenaga. Seperti fitur *load flow analysis* memungkinkan penyesuaian yang tepat terhadap aliran daya untuk meminimalkan kerugian jaringan dan menjaga stabilitas tegangan.

Data lapangan dari penelitian ini menghitung kebutuhan beban lampu yang tidak selalu sama dan faktor penyebabnya seperti luminasi Cahaya dan masalah efisiensi kerja lampu-lampu yang ada pada gedung Labtek ITERA, hal ini dipengaruhi oleh adanya kerusakan pada komponen elektronika bangunan Labtek. *Loadflow* yang ditampilkan dalam besaran watt yang mengalir ke setiap beban, kemudian setiap aliran mengalami *loses* berupa rugi-rugi yang menimbulkan tegangan PLN bisa turun. Beberapa variabel dalam penelitian ini meliputi optimasi *load flow*, performa sistem PLTS, pengaruh jaringan, tingkat keberhasilan rancangan simulasi, jenis serta ukuran kabel yang sesuai dilapangan dengan simulasi aplikasi ETAP & Fusion Solar, serta perbandingan beban total simulasi dengan PLTS, energi yang dibutuhkan beban, dan analisa potensi penghematan ekonomi.

Berdasarkan latar belakang yang dipaparkan, penelitian ini penulis rancang dengan judul “Analisis *Load Flow* Pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Terpasang Gedung labtek Institut Teknologi Sumatera 1 MWP Dan Perbandingannya Menggunakan Software Etap Versi 19.0.1 & Fusion Solar”.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana desain distribusi *load flow* pada gedung Labtek ITERA berdasarkan software ETAP versi 19.0.1 & Fusion Solar?
2. Bagaimana sistem distribusi beban listrik pada gedung Labtek ITERA yang di supply PLTS terpasang?
3. Bagaimana kelayakan rancangan komponen listrik PLTS terpasang pada gedung Labtek ITERA?
4. Bagaimana perbandingan distribusi loadflow menggunakan *software* ETAP pada PLTS terpasang dan gedung Labtek ITERA?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menganalisis distribusi daya dari PLTS pada gedung Labtek ITERA berdasarkan software ETAP versi 19.0.1 & Fusion Solar.
2. Mengevaluasi banyaknya distribusi daya komponen elektronika bangunan Labtek ITERA berdasarkan simulasi software ETAP versi 19.0.1 & Fusion Solar
3. Menganalisis kelayakan rancangan komponen listrik PLTS pada gedung Labtek ITERA.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Dapat mengetahui fungsi dan penggunaan aplikasi dan *software* ETAP versi 19.0.1
2. Sebagai bahan referensi pada penelitian-penelitian selanjutnya yang berhubungan dengan perencanaan PLTS.
3. Sebagai media pembelajaran mahasiswa dalam merencanakan, menghitung nilai distribusi, serta menggunakan *software* PLTS terkait.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Analisis distribusi daya PLTS pada gedung Labtek ITERA berdasarkan report *software* ETAP versi 19.0.1 & Fusion Solar.
2. Rentang waktu yang di perlukan untuk pengambilan data adalah selama 1 bulan dengan acuan beban daya tertinggi, beban daya normal dan beban daya terendah pada ETAP.
3. Penelitian ini membahas distribusi daya gedung Labtek yang di supply oleh PLTS terpasang ITERA.
4. Satuan yang diukur dalam satuan kW (kiloWatt) untuk daya aktif, kVAR (kilo Volt Ampere Reaktif) untuk daya reaktif, dan satuan pembanding adalah MW (Mega Watt) untuk kondisi real PLTS ITERA.

II. TINJAUAN PUSTAKA

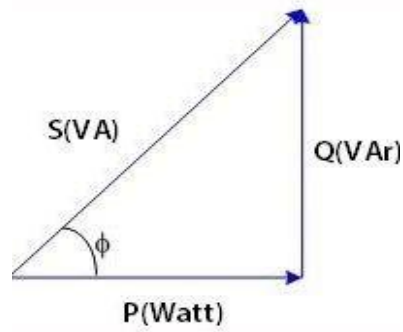
2.1 Penelitian Terkait

Penelitian oleh Ririnnaswari (2016) dengan judul " Simulasi *Load Flow* Analisis Pada Sistem Jaringan Distribusi Tegangan Menengah 20 kV Melalui 2 Penyulang Berbasis *Software* ETAP 12.6” Penelitian ini dilakukan guna mengetahui kinerja dari sistem tenaga listrik pada sistem jaringan distribusi 20 kV di Taman Mini Indonesia Indah sebagai evaluasi demi menghasilkan kualitas daya yang lebih baik dari sebelumnya. Metode yang digunakan adalah Metode penelitian deskriptif dengan membuat simulasi aliran daya menggunakan software ETAP 12.6. Metode perhitungan aliran daya yang digunakan yakni Newton Raphson dan Gauss Seidel. Hasil penelitian yang didapatkan menunjukkan bahwa kualitas tegangan di Taman Mini Indonesia Indah masih berada pada posisi batas SPLN 72 1987 $\pm 2\%$ dari tegangan normal 20 kV. Rugi-rugi saluran terbesar terdapat pada saluran MV 019 sebesar 3,5 kW ketika dipasok dari penyulang 2 GI Pondok Rangun menggunakan metode perhitungan Newton Raphson. Oleh sebab itu, perlu adanya *resizing cable* terutama pergantian pada saluran MV 019 guna mengantisipasi dampak dari rugi-rugi daya saluran pada sistem jaringan distribusi listrik Taman Mini Indonesia Indah. Variabel yang diamati dalam penelitian ini adalah:

1. Pertama, Deskripsi studi aliran daya, merupakan penentuan atau perhitungan tegangan, arus, daya aktif maupun reaktif yang terdapat pada berbagai titik jaringan listrik pada keadaan operasi normal, baik yang sedang berjalan maupun yang diharapkan akan terjadi di masa yang akan datang dan merupakan bahan evaluasi terhadap sistem yang

ada. Analisis ini meliputi penentuan besarnya nilai tegangan (V), daya aktif (P) dan reaktif (Q) dan sudut fasa (δ) setiap bus dalam sistem.

2. Kedua, Konsep daya dalam sistem tenaga listrik, daya merupakan jumlah energi yang digunakan untuk melakukan kerja atau usaha. Pada sistem tenaga listrik, dikenal dengan sebutan daya aktif, daya reaktif, dan daya tampak yang membentuk sebuah segitiga, dan dikenal dengan segitiga daya.



Gambar 2.1 Segitiga Daya (Ririnnaswari, 2016)

Dengan :

$$P = S \times \cos \theta \text{ (watt)} \quad (2.1)$$

$$S = \sqrt{p^2 + q^2} \text{ (VA)} \quad (2.2)$$

$$Q = S \sin \theta \text{ (VAR)} \quad (2.3)$$

Pengadaan listrik di Taman Mini Indonesia Indah dipasok dari Gardu Induk Miniatur yang berada di dalam kawasan TMII itu sendiri yang disuplai dari dua penyulang yaitu dari Gardu Induk Cawang dan Gardu Induk Pondok Rangun. Kemudian, daya yang terpasang di Taman Mini Indonesia indah yaitu sebesar 5 MW (Megawatt) dengan tiap penyulang menyalurkan daya sebesar 2,5 MW (Megawatt) yang kemudian disalurkan

ke gardu-Gardu Distribusi Taman Mini Indonesia Indah menggunakan sistem jaringan ring.

Penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Haurissa (2023) dalam penelitiannya yang berjudul “Simulasi Aliran Daya Berbasis ETAP Menggunakan Metode Newton Raphson Pada Jaringan Distribusi 20 kV Penyulang Lateri 2 dan Lateri 3”. Jenis penelitian ini menggunakan metode pendekatan kualitatif. Penelitian ini menjelaskan Analisis aliran daya dalam sistem tenaga listrik merupakan salah satu cara yang dapat digunakan untuk mengetahui kondisi sistem apakah dalam keadaan normal atau tidak dan juga dibutuhkan dalam perencanaan sistem apabila terjadi penambahan beban. Melalui analisa aliran daya karakteristik sistem diantaranya daya, tegangan dan faktor daya dapat diketahui sehingga kondisi abnormal dalam sistem seperti rugi daya (*losses*) dan jatuh tegangan dapat diidentifikasi. Penyulang lateri 2 dan lateri 3 merupakan penyulang yang disuplai oleh Gardu Induk Passo yang terinterkoneksi dengan GH Hative Kecil. Penyulang lateri 3 merupakan penyulang by pass dari GI Passo ke GH Hative Kecil. Simulasi Aliran daya dilakukan menggunakan metode Newton-Raphson pada aplikasi ETAP. Terdapat beberapa kondisi dalam pengujian yaitu pada kondisi Waktu Beban Puncak (WBP) dan Luar Waktu Beban Puncak (LWBP), dan saat terhubung dan tidak terhubung dengan GH Hative Kecil. Hasil simulasi menunjukkan jatuh tegangan (*under voltage*) dan *losses* paling besar terjadi saat penyulang lateri 3 terhubung dengan GH Hative Kecil dengan jatuh tegangan mencapai 92.96% dan *losses* teknis sebesar 244.1 kW dan *losses* VAR sebesar 171.3 kVAR.

Hasil penelitian yang diuraikan pada judul ini adalah simulasi *load flow* Penyulang Lateri 2 Dan Lateri 3 ketika interkoneksi GH. Hative Kecil. mendapat suplai daya dari PLTD, memperlihatkan terjadinya *under voltage* pada GH Hative Kecil mencapai 94,97% dengan besar *losses* teknis sebesar 190,9 kW dan *losses* VAR sebesar 97,4kvar. *Losses* terbesar terjadi pada penyulang lateri 3 sebagai penyulang by pass dimana menyumbang *losses* sebesar 85,5kW. Simulasi load flow Penyulang Lateri 3 ketika interkoneksi GH. Hative Kecil Hasil simulasi load flow pada kondisi WBP ketika penyulang lateri 3 interkoneksi dengan GH Hative Kecil, memperlihatkan terjadinya

under voltage pada GH Hative Kecil mencapai 92,96% dengan besar *losses* teknis sebesar 244,1 kW dan *losses* VAR sebesar 171,3kvar. *Losses* terbesar terjadi pada penyulang lateri 3 sebagai penyulang by pass dimana menyumbang *losses* sebesar 210,3kW (Haurissa, 2023).

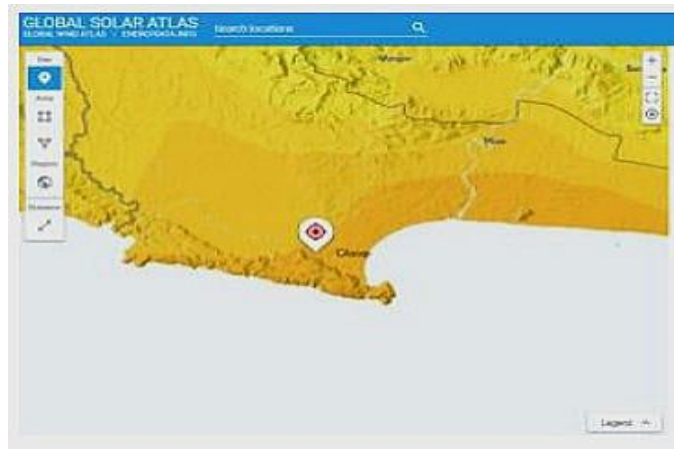
Menurut Firmansyah (2020) dalam penelitiannya yang berjudul “Study Aliran Daya (*Load Flow*) Pada Sistem Distribusi Tenaga Listrik Gedung Pascasarjana Universitas Bhayangkara Surabaya”. Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif yang mempelajari analisa Studi aliran beban dimaksudkan untuk memperoleh informasi mengenai aliran daya atau tegangan pada suatu jaringan sistem tenaga listrik. Informasi ini sangat dibutuhkan untuk mengevaluasi unjuk kerja sistem tenaga. Permasalahan aliran daya mencakup perhitungan aliran dan tegangan sistem pada terminal atau bus tertentu. penelitian evaluatif dengan menggunakan metode penelitian *operation research/action research*, Manfaat studi aliran daya ini yaitu, untuk mengetahui tegangan pada setiap simpul yang ada pada sistem, untuk mengetahui semua peralatan apakah memenuhi batas – batas yang ditentukan untuk meyalurkan daya yang diinginkan, dan untuk memperoleh kondisi mula pada perencanaan sistem yang baru. Studi aliran beban ini mengambil contoh pada implementasi sistem tenaga listrik di lembaga pendidikan Universitas Bhayangkara Surabaya, dengan karakteristik beban terpusat (*lumped load*), jaringan sistem distribusi tenaga listrik berupa jaringan radial dan sumber tegangan berasal dari saluran menengah PLN 20 kV menuju ke titik – titik beban. Dari hasil perhitungan aliran daya berbantuan program ETAP (*Electrical Transient Analyzer Program*) dapat disimpulkan bahwa sistem jaringan listrik sudah baik. Hasil yang diperoleh adalah *Circuit breaker* pada CB4 mengalami overload dan pada bus 24, bus 4 dan bus 6 mengalami *undervoltage*. Sedangkan aliran daya masih memenuhi standar menurut hasil *Text Report* pada ETAP (Firmansyah *et al.*, 2020).

Pada Tabel 2.1 berisi informasi tentang besaran daya pada beban yaitu daya constant KVA, daya constant Z. Besaran daya ini merupakan hasil perhitungan dari ETAP setelah semua data masukan dimasukkan pada *single line* diagram dan dieksekusi.

Menurut penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Panggayuh *et. al* (2020) dalam penelitiannya yang berjudul “Perancangan Dan Simulasi Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Kapasitas 27 kWp di Kota Cilacap” Pada penelitian ini dilakukan perancangan dan simulasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya dengan kapasitas daya sebesar 27 kWp di Kota Cilacap yang berada pada Wilayah Selatan Jawa Tengah. Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya pada kawasan ini cukup potensial berdasarkan Peta Potensi Tenaga Surya rata-rata sebesar 4 kWp per hari dan 1513 kWp per tahun. Aspek yang harus dipertimbangkan saat merancang PLTS yaitu Perencanaan perhitungan Komponen Utama, Potensi iradiasi, Konfigurasi sistem PLTS, dan Perhitungan beban Berdasarkan hasil simulasi PSIM untuk menentukan karakteristik V-I (Tegangan dan Arus) dan P-V (Daya dan Tegangan) didapatkan $V_{max} = 353.53$ V, $I_{max} = 76.9$ A, $P_{max} = 27006.89$ Watt. Berdasarkan Hasil Simulasi ETAP untuk mengetahui analisis aliran daya dan *short circuit* didapatkan aliran Daya yang dihasilkan *photovoltaic* sebesar $27 + j10$ atau 27 KW dan 10 kVAr. untuk *short circuit* Nilai arus hubung singkat pada bus 2 yakni arus keluaran dari array PV sebesar 0.236 kA (Panggayuh *et al.*, 2020).

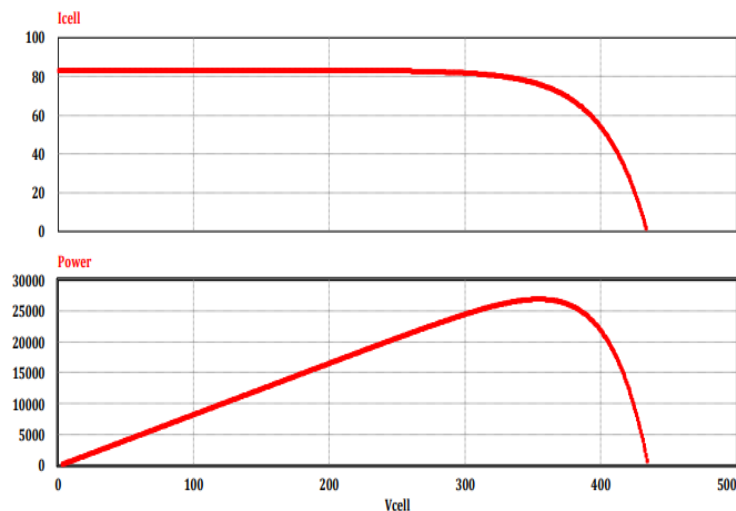
Hasil dan pembahasan detail yang diberikan dari judul ini adalah sebagai berikut:

1. Potensi energi matahari untuk wilayah kota Cilacap Selatan, Berdasarkan studi potensi iradiasi energi matahari untuk wilayah kota Cilacap dengan spesifikasi pembangkit energi listrik dengan kapasitas 27kWp, dengan tingkat kemiringan Panel antara 0 - 110 memiliki potensi pembangkitan energi listrik sebesar 111.537 kWh / m² per day.



Gambar 2.2 Potensi Energi Matahari wilayah Kota Cilacap

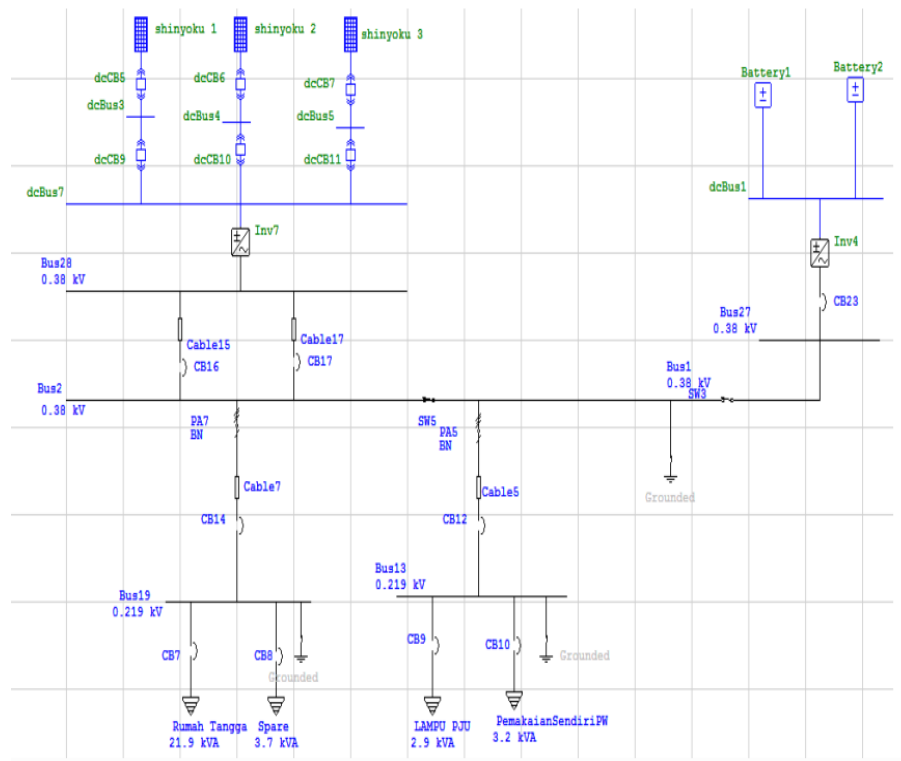
String yang terhubung secara paralel dan tiap-tiap string ini terdiri dari 10 modul PV yang terhubung secara seri dan sebuah *inverter*.



Gambar 2.3 Kurva hubungan antara I-V dan P-V array PV 27 kW

Hasil simulasi PSIM (*Programable Logic Controller Software*) ini berupa kurva yang menunjukkan hubungan antara arus-tegangan, daya keluaran tegangan dan daya keluaran-arus.

2. Simulasi analisis aliran beban dan hubung singkat dengan menggunakan ETAP, didasarkan atas model *single line diagram* (SLD). Diagram ini merepresentasikan sistem tenaga listrik dari sumber tenaga listrik ke pengguna listrik. Penelitian ini memiliki sumber tenaga listrik berupa PLTS dan baterai, sedang pengguna listriknya dapat didefinisikan sebagai beban statis untuk keperluan rumah tangga dan penerangan jalan. Analisis aliran beban pada penelitian ini dilakukan untuk mengetahui aliran daya aktif maupun reaktif, aliran arus dan tegangan di setiap percabangan jaringan listrik, sedang analisis hubung-singkat dilakukan untuk menginvestigasi kemampuan pemutusan dan menahan arus hubung singkat dari peralatan pelindung. Model SLD yang diimplementasikan ke ETAP (Panggayuh *et al.*, 2020).



Gambar 2.4 SLD sistem tenaga listrik yang disimulasikan

2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah sebuah pembangkit listrik yang memanfaatkan sinar matahari berupa radiasi sinar foton matahari yang kemudian akan dikonversi menjadi energi listrik melalui sel surya (*photovoltaic*). Sel surya (*photovoltaic*) sendiri merupakan suatu lapisan tipis yang terbuat dari bahan semikonduktor silikon (Si) murni dan dimanfaatkan oleh PLTS akan memproduksi listrik DC yang dapat dikonversi menjadi listrik AC apabila dibutuhkan. PLTS akan tetap menghasilkan listrik meskipun cuaca mendung selama masih terdapat cahaya (Ramadhan *et al.*, 2018).

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan sumber energi terbarukan, dimana sinar matahari sebagai sumber energi yang tidak habisnya. Selain itu, PLTS merupakan pembangkit listrik yang ramah lingkungan karena tidak menggunakan komponen yang berputar, tidak berdampak polusi seperti polusi udara, air, dan laut, dan tidak mengeluarkan emisi berupa gas buangan atau limbah (Evalina *et al.*, 2019).

Sel surya atau sel fotovoltaik berasal dari Bahasa Inggris "*photovoltaic*". Kata *Photovoltaic* berasal dari dua kata "photo" berasal dari kata Yunani yakni "phos" yang berarti cahaya dan kata "volt" adalah nama satuan pengukuran arus listrik yang diambil dari nama penemu Alessandro Volta (1745-1827), sebagai pionir dalam mempelajari teknologi kelistrikan. Jadi secara harfiah "*photovoltaic*" mempunyai arti cahaya-listrik, dan itu yang dilakukan Sel Surya yaitu merubah energi cahaya menjadi energi listrik, penemunya Edmond Becquerel dan kawan-kawan pada abad ke-18 (Priatama *et al.*, 2020). Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) sangat bergantung terhadap iradiasi matahari yang diterima oleh sel surya. Iradiasi dapat mempengaruhi nilai daya keluaran yang dihasilkan dari sel surya (Nasrin *et al.*, 2018).

2.3 Energi Surya

Energi surya atau lebih dikenal sebagai solar cell atau *photovoltaic cell*, merupakan semikonduktor yang memiliki permukaan yang luas dan terdiri dari rangkaian dioda tipe p dan n, yang mampu merubah langsung energi surya menjadi energi listrik (Lubis, 2007). Kebutuhan energi dunia akhir-akhir ini sangat meningkat tajam, terutama dengan munculnya negara-negara industri raksasa. Fakta menunjukkan konsumsi energi terus meningkat sejalan dengan laju pertumbuhan ekonomi dan penambahan penduduk. Terbatasnya sumber energi fosil menyebabkan perlunya pengembangan energi terbarukan dan konservasi energi. Yang dimaksud dengan energi terbarukan di sini adalah energi non-fosil yang berasal dari alam dan dapat diperbarui. Bila dikelola dengan baik, sumber daya itu tidak akan habis. Di Indonesia pemanfaatan energi terbarukan dapat digolongkan dalam tiga kategori. Yang pertama adalah energi yang sudah dikembangkan secara komersial, seperti biomassa, panas bumi dan tenaga air. Energi surya yang dapat dibangkitkan untuk seluruh daratan Indonesia yang mempunyai luas 2 juta km² adalah sebesar 4,8 kWh/m²/hari atau setara dengan 112.000 GWp yang didistribusikan. Indonesia memanfaatkan baru sekitar 10 MWp, sehingga masih banyak dibutuhkan dan dibangun Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di wilayah Indonesia untuk dapat menghasilkan listrik. Cahaya matahari terdiri dari atas partikel-partikel yang disebut sebagai “photons” yang mempunyai sejumlah energi yang besarnya tergantung pada panjang gelombang suatu “solar spectrum”. Pada saat photon membentuk sel surya maka cahaya tersebut akan dipantulkan atau diserap atau juga mungkin hanya diteruskan (Mesin *et al.*, 2016).

2.4 Fotovoltaik

Fotovoltaik (*photovoltaic*) adalah teknologi yang digunakan untuk mengubah cahaya matahari secara langsung menjadi energi listrik menggunakan semikonduktor. Proses ini terjadi dalam perangkat yang disebut sel fotovoltaik (PV), yang biasanya terbuat dari bahan seperti silikon. Ketika sel-sel ini terkena cahaya matahari, elektron di dalam semikonduktor bergerak, menciptakan aliran listrik. Fotovoltaik atau model surya merupakan kumpulan sel surya yang dirangkai secara seri maupun paralel dengan

tujuan tegangan dan arus yang dihasilkan meningkat sehingga dapat digunakan sebagai sistem catu daya beban (Gultom, 2015).

Kumpulan fotovoltaiik disebut dengan modul "*photovoltaic*", dan untuk dapat membuat modul fotovoltaiik dapat menggunakan teknologi kristal atau thin film. Sel surya fotovoltaiik pada dasarnya merupakan dioda semikonduktor yang bekerja berdasarkan efek fotovoltaiik dalam proses tidak seimbang. Saat sel surya berada dalam proses tidak seimbang, tegangan yang dihasilkan sebesar 0,5 Volt dan besar tegangan tersebut bergantung pada intensitas cahaya dan jenis zat semikonduktor yang dipakai. Tingkat daya guna konversi energi radiasi ke energi listrik berdasarkan efek fotovoltaiik hanya mencapai 25% sedangkan besar intensitas energi sinar matahari yang sampai ke bumi hanya sekitar 1000 Watt, sehingga besar konversi energi radiasi ke energi listrik yang dihasilkan sel surya hanya dapat mencapai 25% dari 100 Watt yaitu 250 Watt (Bachtiar, 2006).

Sistem energi surya fotovoltaiik (SESF) merupakan salah satu sumber penyediaan energi alternatif yang dapat digunakan secara massal meskipun jika dibandingkan dengan energi listrik konvensional, SESF ini membutuhkan biaya yang lebih mahal, lebih rumit, dan susah dioperasikan. Namun pada prakteknya, penggunaan sistem energi surya fotovoltaiik terbilang mudah dan tidak memakan biaya yang cukup mahal. Suatu sistem energi surya fotovoltaiik (SESF) memiliki komponen-komponen yang terdiri dari sel fotovoltaiik, *balance of system* seperti *controller* dan *inverter*, unit penyimpanan energi, dan peralatan yang menunjang lainnya (Yandri, 2012).

Besar arus listrik yang dihasilkan oleh modul surya ketika modul surya membentuk sudut hasilnya lebih besar daripada arus yang dihasilkan oleh modul surya saat modul surya dalam posisi tegak lurus. Hal tersebut terjadi karena radiasi yang ditangkap modul surya dalam posisi membentuk sudut lebih besar daripada saat dalam posisi tegak lurus dan hubungan besar radiasi dengan arus listrik adalah berbanding lurus. Begitu juga dengan daya keluaran, daya keluaran yang dihasilkan modul surya dalam posisi membentuk sudut lebih besar daripada daya keluaran modul surya dalam posisi tegak lurus (Ramadhan, 2016).

2.5 Semikonduktor

Semikonduktor adalah bahan yang memiliki konduktivitas listrik di antara konduktor (seperti logam) dan isolator (seperti kaca). Semikonduktor memiliki sifat khusus di mana konduktivitasnya dapat diubah atau dikendalikan oleh faktor eksternal, seperti suhu, cahaya, atau doping (penambahan zat tertentu ke dalam struktur semikonduktor untuk mengubah sifat listriknya). Semikonduktor merupakan bahan dasar pembuatan komponen aktif elektronika seperti dioda, transistor, dan IC. Semikonduktor juga merupakan bahan yang memiliki kehantaran di antara konduktor dan isolator (10^{-8} - 10^3 $(\Omega\text{m})^{-1}$). Silikon dan germanium, yang termasuk kelompok IV dalam sistem periodik, merupakan semikonduktor yang paling banyak digunakan sebagai bahan dasar komponen elektronika, karena keduanya banyak tersedia di alam. Di samping kedua bahan itu, juga digunakan bahan semikonduktor paduan, di antaranya silikon-karbon, indiumfosfat, serta berbagai senyawa lainnya.

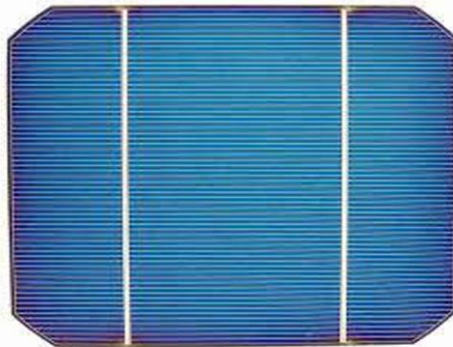
Pada umumnya, bahan semikonduktor peka terhadap suhu, karena itu suhu kerja alat sangat perlu diperhatikan. Pembawa muatan mayoritas di dalam semikonduktor tipe-p dan tipe-n, berturut-turut, adalah lubang (*hole*) dan elektron. Sesungguhnya pembawa muatan di dalam semikonduktor tipe-p bukan hanya lubang saja tetapi juga sejumlah kecil elektron. Sebaliknya, di dalam semikonduktor tipe-n juga terdapat sejumlah kecil lubang sebagai pembawa muatan. Pembawa muatan yang berjumlah besar dinamakan pembawa muatan mayoritas dan yang berjumlah kecil dinamakan pembawa muatan minoritas karena konsentrasi lubang dan elektron sama besar. Semikonduktor yang demikian itu dinamakan semikonduktor intrinsik dan konsentrasi pembawa muatannya dinamakan konsentrasi intrinsik. Sel surya (*solar cell*) disebut sebagai semikonduktor karena sebagian besar sel surya terbuat dari bahan semikonduktor, seperti silikon. Dalam sel surya, bahan semikonduktor berperan dalam mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik melalui efek fotovoltaiik (Greiner *et al.*, 1961).

2.6 Jenis- Jenis Panel Surya

Pada saat ini sel surya memiliki 3 jenis sel surya, dan dari ketiga jenis sel surya ini memiliki tingkatan efisiensi yang berbeda beda. Berikut ini jenis jenis sel surya :

2.6.1. Sel Surya Tipe *Monocrystalline*

Jenis sel surya tipe ini berasal batangan kristal silikon murni yang diiris tipis-tipis, yang dimana dileburkan lalu dicetak menjadi Batangan silinder yang terpotong menjadi segi enam, sehingga akan dihasilkan kepingan sel surya yang identik satu sama lain serta berkinerja tinggi. Sel surya ini merupakan jenis yang paling efisien dibandingkan jenis sel surya jenis lainnya, efisiensinya lebih kurang 15% - 20%. Mahalnya harga kristal silikon murni serta teknologi yang dipergunakan, mengakibatkan mahalnya harga jenis sel surya ini dibandingkan jenis sel surya yang lain pada pasaran. Kelemahannya, sel surya jenis ini Bila disusun membentuk solar modul (panel surya) akan menyisakan banyak ruangan yang kosong karena sel matahari seperti ini umumnya berbentuk segi enam atau bundar, tergantung asal bentuk batangan kristal silikonnya.

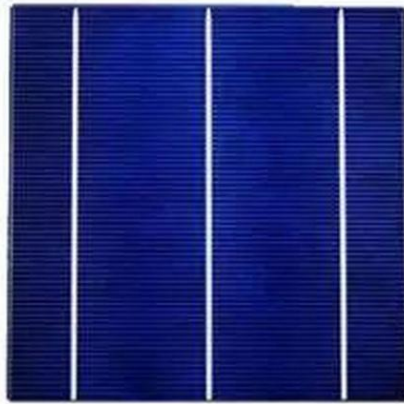


Gambar 2.5 *Solar cell Monocrystalline* (Tampubolon *et al.*, 2019)

2.6.2. Sel Surya *Polycrystalline*

Jenis ini terbuat berasal beberapa campuran batang kristal silikon yang dilebur / dicairkan lalu dituangkan pada cetakan yang berbentuk persegi. Kemurnian kristal silikonnya tidak semurni di sel surya jenis *monocrystalline*, karena sel surya yang

didapatkan tidak identik satu sama lain serta efisiensinya lebih rendah, kurang lebih 13% sampai dengan 16%. Tampilannya nampak seperti terdapat motif pecahan kaca pada didalamnya solarcell jenis ini. Bentuknya yang persegi, Bila disusun membentuk panel surya, akan kedap serta idak akan terdapat ruangan kosong yang sia-sia seperti mirip susunan yang terdapat pada modul panel surya jenis monocrystalline. Proses pembuatannya lebih praktis dibanding monocrystalline, karena itu harganya lebih murah. Jenis ini paling banyak digunakan saat ini (Tampubolon *et al.*, 2019).



Gambar 2.6 *Solar cell Polycrystalline* (Tampubolon *et al.*, 2019)

2.6.3. Sel surya Tipe Thin Film

Jenis sel surya ini diproduksi menggunakan cara menambahkan satu atau beberapa lapisan material pasir silika atau bahan sel surya yang tipis ke pada lapisan dasar *wafer solar cell*. Sel surya jenis thin film (lapisan tipis) adalah jenis teknologi fotovoltaiik yang menggunakan lapisan semikonduktor sangat tipis untuk menyerap cahaya dan mengubahnya menjadi listrik. Teknologi ini dirancang untuk mengurangi penggunaan material aktif dibandingkan dengan sel surya berbasis silikon kristalin konvensional. Sel surya jenis ini sangat tipis karena itu sangat ringan serta fleksibel. Jenis ini dikenal

juga dengan nama module surya ThinFilm (*Thin Film Photovoltaic*). Tingkat efisiensi sel surya jenis thin film yaitu sebesar 6-9%. Karakteristik thin film, ketebalan thin film rentang nanometer (nm) hingga mikrometer (μm), jauh lebih tipis dibandingkan semikonduktor konvensional. Sifat-sifat ini dapat diatur melalui variasi bahan, metode deposisi, dan pengolahan material. Efisiensi Material lebih sedikit dibandingkan dengan material semikonduktor tebal, sehingga lebih hemat biaya. (Tampubolon *et al.*, 2019).



Gambar 2.7 Sel surya *Thin Film* (Tampubolon *et al.*, 2019)

2.7 Komponen PLTS

Sistem PLTS memiliki komponen utama yaitu panel surya, *solar charge controller*, baterai dan *inverter*.

2.7.1 Panel surya

Panel surya adalah suatu elemen aktif yang mengubah radiasi cahaya matahari menjadi energi listrik. Indonesia merupakan salah satu negara yang dilewati oleh garis khatulistiwa yang menerima panas matahari lebih banyak dari wilayah lainnya di Indonesia, sehingga mempunyai potensi yang sangat besar untuk mengembangkan tenaga surya. Bahan sel surya terdiri dari kaca pelindung dan material transparan yang dapat melindungi bahan sel surya dari keadaan lingkungan sekitar, material anti-

refleksi untuk menyerap lebih banyak cahaya yang masuk ke panel dan mengurangi jumlah cahaya yang dipantulkan.

2.7.2 Solar Charge Controller

Solar Charge Controller adalah satu komponen PLTS yang digunakan untuk mengatur arus searah yang diisikan ke baterai dan diambil dari baterai ke beban. *Solar charge controller* juga digunakan untuk melindungi baterai saat melakukan pengisian untuk menghindari arus yang berlebihan mengalir ke baterai. *Solar Charge Controller* terdapat enam terminal yang terdiri dari 1 pasang terminal output, satu pasang terminal output input terhubung dengan baterai dan 1 pasang terminal output input terhubung dengan beban.

2.7.3 Baterai

Baterai berfungsi untuk penyimpanan energi listrik dari panel surya ketika dihasilkan pada siang hari dan digunakan ketika panel surya tidak menghasilkan energi listrik atau ketika malam hari. Selama matahari bersinar maka panel akan menghasilkan energi listrik yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan beban, jika beban sudah terpenuhi dan energi listrik yang berlebihan inilah yang akan digunakan untuk mengisi baterai melalui *solar charge controller*.

2.7.4 Inverter

Inverter adalah rangkaian atau perangkat elektronika yang dapat mengubah arus listrik searah (DC) ke arus listrik bolak-balik (AC) pada tegangan dan frekuensi yang digunakan menyesuaikan dengan kebutuhan dari pengguna, seperti perancangan PLTS tegangan yang diubah arusnya menjadi arus bolak-balik (AC) 220 V sesuai beban rumah dan memiliki frekuensi 50 Hz (Nugroho *et al.*, 2020).

2.8 Faktor yang Mempengaruhi Kinerja Panel Surya

Radiasi mempengaruhi variasi arus dan tegangan. Terdapat hubungan antara variasi pada radiasi dan variasi pada hubungan arus. Tegangan pada rangkaian terbuka tidak berubah secara drastis terhadap radiasi. Namun, bagaimanapun tetap terjadi sedikit

peningkatan pada saat kenaikan radiasi. Semakin tinggi radiasi maka, semakin besar pula arus dan tegangan yang dihasilkan. Salah satu faktor yang mempengaruhi jumlah radiasi yang sampai pada modul adalah terjadinya bayangan- bayangan yang dapat menghalangi radiasi sampai kepada modul surya seperti bayangan pohon, bayangan awan, bayangan bangunan dan lain-lain (Hakim, 2020).

Intensitas penyinaran matahari mengacu pada jumlah energi yang diterima dari sinar matahari dalam bentuk radiasi pada suatu lokasi tertentu dalam satuan waktu tertentu. Semakin besar intensitas penyinaran matahari, maka semakin tinggi kinerja dari solar panel. Intensitas penyinaran matahari yang tinggi menyebabkan radiasi matahari yang tinggi, sehingga meningkatkan potensi energi yang dapat dihasilkan oleh panel surya.

2.8.1 Sudut Kemiringan Modul Surya

Sudut kemiringan memiliki dampak yang besar terhadap tingkat radiasi matahari yang diterima pada permukaan modul surya. Untuk sudut kemiringan tetap, daya maksimum selama satu tahun akan diperoleh ketika sudut kemiringan modul surya sama dengan lintang lokasi. Sistem pengaturan berfungsi untuk memberikan sebuah control dan pengaman dalam sistem PLTS sehingga sistem pembangkit tersebut dapat bekerja secara efisien dan optimal. Peralatan pengaturan pada sistem PLTS ini dapat dibuat secara manual, yaitu dengan cara selalu menempatkan kearah matahari. Dapat juga dibuat secara otomatis, mengingat sistem ini banyak dipergunakan untuk daerah terpencil yang dibuat dengan rangkaian elektronik. Tetapi jika ditinjau dari kepraktisan dan kemudahan perawatan, posisi pemasangan modul surya direkomendasikan secara tetap dengan sudut kemiringan tertentu. Dalam menentukan arah dan sudut kemiringan dari modul surya seharusnya disesuaikan dengan letak geografis lokasi pemasangan modul surya tersebut. Penentuan ini berguna untuk membenarkan posisi penghadapan sebuah modul surya ke arah garis khatulistiwa. Pemasangan modul surya ke arah khatulistiwa dimaksudkan agar modul surya mendapatkan penyinaran yang optimal. Modul surya yang terpasang di khatulistiwa (lintang = 0°) diletakkan secara mendatar (tiltangle = 0°) akan menghasilkan energi maksimum (Hanif, dkk., 2012).

2.8.2 Temperatur

Kinerja sel surya dipengaruhi oleh suhu, jika semakin tinggi suhu sel maka akan semakin rendah produksi energinya. Sel surya dapat mencapai suhu tinggi ketika radiasi matahari berada pada titik terkuat di musim panas sekitar tengah hari yang mana suhu dapat mencapai 70°C . Panas yang hilang melalui bagian belakang modul dengan konveksi alami. Untuk alasan ini, penting untuk menghindari pemasangan sel surya dengan membatasi aliran udara dibawah modul. Sebagai aturan sederhana, kenaikan suhu sebesar 10°C akan menurunkan output daya yang efektif dari sistem modul surya sekitar 4% - 5% pada saat terjadi suhu yang tinggi, sel-sel surya yang beroperasi. Saat panas panel sel-sel surya meningkat, tegangan yang melintasi setiap sel akan jatuh dan Ketika tegangan menurun maka daya juga akan menurun (Hakim, 2020).

2.8.3 Bayangan/ *Shading*

Pemasangan modul surya juga mempertimbangkan bayangan yang menutupi permukaan modul surya. Lokasi terbaik adalah lokasi dengan kondisi yang terhindar dari objek penghalang pada modul surya yang dapat tertutupi oleh bayangan pepohonan, dedaunan yang jatuh, awan, bangunan tinggi maupun panel surya yang terpasang di dekatnya. Ketika modul tertutup oleh bayangan, maka sambungan P-N di dalam sel surya berhenti memproduksi energi dan menjadi beban pasif sehingga mengakibatkan penurunan kinerja. Sel ini berperilaku seperti sebuah diode yang memblok arus yang diproduksi oleh sel-sel lainnya yang terhubung seri. Selain itu juga dapat menyebabkan panas berlebih dan kerusakan pada modul (Hakim, 2020).

2.8.4 Kebersihan Modul Surya

Faktor penting yang mempengaruhi besarnya foton yang diterima oleh sel surya adalah kebersihan modul surya. Hasil daya output dari modul surya yang dibersihkan lebih besar dibandingkan modul surya tidak dibersihkan, karena adanya debu dan kotoran pada permukaan modul, yang dapat mengurangi efisiensi penyerapan sinar matahari ke modul surya sehingga dapat mengurangi produksi energi (Hakim, 2020).

2.9 Analisa Rugi-Rugi Daya

Rugi-rugi daya adalah kebocoran daya atau daya yang hilang di sepanjang jalur penyaluran tenaga listrik, hal ini disebabkan oleh resistansi yang ada pada bahan pembentuk konduktor. Sedangkan jatuh tegangan adalah kondisi tegangan di ujung titik terima yang lebih rendah daripada ujung kirim. Kedua kondisi ini perlu diperhatikan di setiap jalur distribusi tenaga listrik, karena indikator baik atau tidaknya kualitas daya yang diterima oleh konsumen dipengaruhi oleh besarnya tegangan jatuh di titik terima atau lebih dekat ke area konsumen. Tahanan dalam suatu konduktor akan menghasilkan jatuh tegangan yang sebanding dengan panjang konduktor (kabel), jatuh tegangan berpengaruh pada ujung penerimaan (beban). Apabila suatu penghantar dialiri arus listrik secara terus menerus akan menimbulkan panas yang timbul akibat adanya energi listrik yang mengalir pada penghantar tersebut dan menyebabkan kerugian pada daya listrik tersebut. Semakin lama arus mengalir maka semakin panas juga penghantar dan semakin banyak juga energi listrik yang hilang. Hal inilah yang merugikan, karena jika energi hilang, maka tegangan pada ujung penghantar tersebut akan berkurang (Irsyam *et al.*, 2023).

2.9.1 Rugi-rugi Penghantar DC

Pada prinsipnya arus yang mengalir pada suatu penghantar akan menghasilkan rugi-rugi daya (P_{loss}) dalam bentuk panas. Rugi-rugi tersebut dapat dihitung menggunakan rumus:

$$P_{loss} = 2 I_{DC}^2 r_{DC} \quad (2.4)$$

I_{DC} merupakan besar arus yang mengalir dari penghantar yaitu kabel DC yang menghubungkan antara kumpulan string PLTS dan inverter di *power house*. Sedangkan resistansi kabel DC tersebut dinyatakan r_{DC} dihitung berdasarkan panjang penghantar dikalikan dengan resistansi internal dari kabel (*ohm/km*) (Atmajaya *et al.*, 2022).

2.9.2 Persentase Rugi-Rugi Energi Listrik

Energi total per satuan waktu (E_{tot}) pada fusion solar merupakan hasil perkalian antara tegangan dan arus yang dihasilkan pada masing-masing string. Perbandingan antara energi listrik yang dihasilkan dengan energi yang hilang akibat rugi-rugi pada kabel DC dapat dihitung menggunakan persamaan 2.5.

$$E_{tot} = \frac{E_{losses}}{E_{tot}} 100\% \quad (2.5)$$

2.10 Daya Aktif dan Daya Reaktif

2.10.1 Daya Aktif

Daya aktif adalah daya yang sesungguhnya dibutuhkan oleh beban. Satuan daya aktif adalah W (Watt). Daya yang kerja untuk penerangan ataupun diubah ke mekanik. Misalnya, energi panas, angin, air. Daya aktif ini merupakan hasil dari besar tegangan yang kemudian dikalikan dengan besaran arus, berbanding lurus dengan faktor dayanya (Barlian et al., 2020). Persamaan Daya aktif (P) pada rangkain 3 fasa dapat dilihat pada persamaan 2.6.

$$P = \sqrt{3} V I \cos \varphi \quad (2.6)$$

Dengan P adalah daya aktif (W), V adalah tegangan (kV), I merupakan besar arus yang mengalir (A) dan φ adalah *power* faktor (standard PLN 0,85). Daya aktif adalah daya yang terpakai untuk melakukan energi yang sebenarnya, baik itu untuk kerja sebagai energi penerangan ataupun diubah ke energi gerak (mekanik). Contohnya energi panas, angin air.

2.10.2 Daya Reaktif (Q)

Daya reaktif adalah penjumlahan daya yang dibutuhkan untuk pembentukan medan magnet atau daya yang ditimbulkan oleh beban yang bersifat induktif. Satuan daya reaktif adalah VAR (Volt, Amper, Reaktif). Memiliki beban bersifat induktif untuk

menghemat daya reaktif dibantu dengan memasang kapasitor pada rangkaian. Hal ini sering dilakukan pada pabrik-pabrik yang menggunakan motor banyak menggunakan beban berupa motor-motor listrik (Kusumandaru, 2015). Pada umumnya daya ini tidak digunakan dalam sistem tenaga listrik. Persamaan daya reaktif pada rangkaian 3 fasa ditunjukkan pada persamaan 2.7

$$Q = \sqrt{3} V I \sin \phi \quad (2.7)$$

Dengan Q adalah daya reaktif dengan satuan VAr, I merupakan besar arus yang mengalir (A), V adalah tegangan yang mengalir, serta ϕ adalah faktor daya.

Daya reaktif biasanya terdapat pada transformator, motor-motor listrik dan peralatan induksi lainnya. Daya ini menurunkan sifatnya terdiri dari dua bagian yaitu daya reaktif induktif dan daya reaktif kapasitif. Daya reaktif induktif berbentuk energi magnetis sebagai pembangkit fluksi. Tanpa adanya daya reaktif induktif daya tidak dapat ditransferkan ke sisi sekunder transformator atau melalui celah udara pada motor induksi (Shintawaty, 2013).

2.10.3 Faktor Daya (ϕ)

Perbandingan daya aktif (watt) dengan daya nyata (VA) disebut dengan faktor daya atau power faktor. Faktor daya mempunyai nilai range antara 0– 1 dan dapat juga dinyatakan dalam persen. Perhitungan Faktor daya ditunjukkan pada persamaan 2.8, persamaan 2.9, dan persamaan 2.10.

$$FP = \frac{\text{Daya Aktif (P)}}{\text{Daya semu (S)}} \quad (2.8)$$

$$= \frac{V I \cos \phi}{V I} \quad (2.9)$$

$$= \cos \phi \quad (2.10)$$

Meningkatnya penggunaan daya listrik kVAr dan meningkatnya penggunaan daya listrik kWh, serta terjadinya jatuh tegangan (*voltage drop*), sehingga mutu listrik menjadi rendah. Pada dasarnya, faktor daya mengukur perbandingan antara daya aktif (yang digunakan untuk melakukan p) dan daya total yang disuplai (yang mencakup

daya aktif dan daya reaktif). Nilai faktor daya berkisar antara 0 dan 1, dengan nilai yang lebih mendekati 1 menunjukkan bahwa sistem lebih efisien (Barlian et al., 2020).

2.11 Fusion Solar

FusionSolar adalah platform pemantauan dan manajemen energi yang dikembangkan oleh Huawei untuk sistem pembangkit listrik tenaga surya. Aplikasi ini terintegrasi dengan Smart PV Solution Huawei, termasuk inverter pintar, optimizers, baterai, dan sistem manajemen energi berbasis AI. Komponen utama dalam fusion solar yaitu inverter Huawei, mengubah arus searah dari panel menjadi arus bolak-balik untuk rumah/jaringan. Smart inverter dengan konektivitas dan perlindungan canggih. Smart Logger, alat pengumpul data dari inverter dan sensor dan mengirim data ke cloud/server. Smart Dongle (WiFi, 4G), menghubungkan sistem dengan internet. Smart Power Sensor, mengukur konsumsi energi rumah dan produksi listrik dari PLTS. memungkinkan kontrol export/import ke jaringan PLN.

Fungsi utama aplikasi Fusion Solar pemantauan real-time, memantau produksi dan konsumsi energi listrik secara langsung, melihat data dari tiap komponen sistem seperti inverter, panel surya, dan baterai, manajemen Energi Cerdas (*AI Energy Management - EMMA*), mengoptimalkan penggunaan energi berdasarkan data historis dan prediksi cuaca, menyediakan rekomendasi penggunaan energi untuk efisiensi maksimum, analisis dan Pelaporan, menampilkan data grafik, ringkasan harian, bulanan, dan tahunan, menganalisis *return of Investment* (ROI) dan kontribusi terhadap pengurangan emisi karbon, peringatan dini dan diagnostik, memberikan notifikasi otomatis jika terjadi kesalahan sistem, membantu teknisi melakukan pemeliharaan preventif dan korektif, remote Monitoring dan Kontrol, akses sistem dari mana saja via smartphone, tablet, atau PC. Dapat digunakan oleh pemilik rumah, teknisi, hingga operator skala industri.

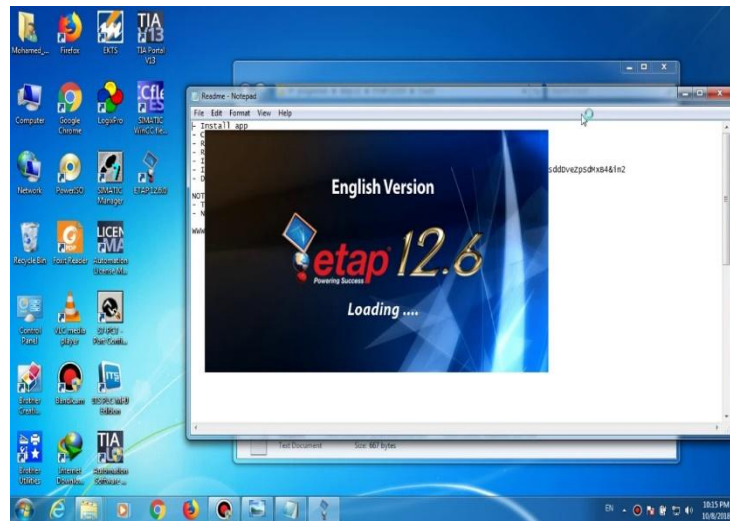


Gambar 2.8 Jendela Tampilan Aplikasi Fusion Solar (Widodo *et al.*, 2022)

2.10 Software ETAP

Perangkat lunak ETAP (*Electric Transient and Analysis Program*) merupakan suatu aplikasi. ETAP telah dirancang dan dikembangkan untuk menangani beragam sistem tenaga listrik yang berbeda dalam satu paket terintegrasi dengan berbagai tampilan antar muka. ETAP memungkinkan Anda untuk dengan mudah membuat dan mengedit diagram garis tunggal (SLD), sistem kabel bawah tanah, sistem kabel tiga dimensi, dan skema sistem informasi geografis. Program ini dirancang untuk menggabungkan tiga konsep utama yaitu:

Software ETAP dapat digunakan untuk menganalisis beberapa permasalahan di bidang sistem tenaga listrik seperti menganalisa aliran daya, menganalisa arus hubung singka, *arc Flash Analysis*, starting motor, koordinasi proteksi, analisa kestabilan transien.



Gambar 2.9 Jendela Tampilan Aplikasi ETAP (Faruq *et al.*, 2021)

Diagram garis tunggal pada *software* ETAP merupakan suatu metode untuk merepresentasikan pemodelan sistem kelistrikan yang digunakan untuk keperluan analisis jaringan. Diagram ini digambarkan dengan notasi yang disederhanakan dari sebuah sistem tenaga listrik tiga fasa menjadi diagram dengan satu garis. Hal tersebut dapat memudahkan dalam pembacaan diagram maupun analisis rangkaian seperti pemutus rangkaian (CB), transformator, kapasitor, busbar maupun beberapa elemen elektrik lainnya yang ada pada suatu sistem tenaga listrik. Elemen elektrik tersebut digambarkan menjadi simbol yang telah distandarisasi sesuai dengan konvensi umum untuk diagram garis tunggal. Pada *software* ETAP terdapat dua buah standar internasional yang digunakan, yaitu standar ANSI dan IEC. Pada dasarnya kedua standar tersebut memiliki perbedaan pada nilai frekuensi, sehingga mengakibatkan perbedaan spesifikasi pada beberapa peralatan listrik yang digunakan. Selain itu, simbol elemen listrik dari kedua standar tersebut pun berbeda pada *software* ETAP (Faruq *et al.*, 2021).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan pada Desember 2024 sampai dengan Februari 2025 di Laboratorium Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Institut Teknologi Sumatera (ITERA) 1 MWP yang beralamat di Jl. Terusan Ryacudu Way Huwi Kec. Jati Agung Kabupaten Lampung Selatan, Lampung 35365.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Fusion Solar (Untuk membandingkan nilai daya actual dan Simulasi).
2. Software ETAP 19.0.1 (Untuk analisis aliran daya, studi keandalan, dan simulasi grid)
3. Data Spesifikasi Komponen berupa data performa daya maksimum dinyatakan dalam Watt peak (Wp), menunjukkan daya maksimum yang dapat dihasilkan panel pada kondisi Standar *Test Conditions* (STC), arus pada daya maksimum (Imp), efisiensi modul.
4. Persentase energi matahari yang dapat diubah menjadi energi listrik.)
5. Data Profil Beban (pola konsumsi energi untuk analisis integrasi sistem PV ke grid)
6. Spesifikasi komponen PV (kapasitas, efisiensi, kompatibilitas jaringan inverter)

3.3 Prosedur Penelitian

1. Studi Literatur

Pada tahap ini penulis mempelajari dan mengumpulkan literatur mengenai PLTS on grid. Sumber yang menjadi referensi diantaranya adalah buku, jurnal ilmiah, dan penelitian terdahulu

2. Lokasi Penelitian

Penulis melakukan penelitian di Laboratorium Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) ITERA, Kabupaten Lampung Selatan. Pada tahapan ini bertujuan untuk mencari data yang diperlukan untuk penelitian ini terkait analisa daya gedung labtek yang di *supply* PLTS ITERA.

3. Perencanaan Teknis

Pada tahap ini membahas perencanaan desain sistem PLTS on grid, menentukan spesifikasi komponen yang akan digunakan, menghitung kapasitas daya yang dapat dibangkitkan serta energi yang dapat dihasilkan PLTS tersebut *software* ETAP dan Fusion Solar.

4. Simulasi Aliran daya

Studi dan Analisa *Load Flow* atau Aliran Daya disini menggunakan metode yang dapat dikatakan langsung atau otomatis karena menggunakan aplikasi yaitu aplikasi ETAP PowerStation 19.0.1 Pada Analisa yang akan dilakukan nantinya akan dilakukan perhitungan terhadap Tegangan, Faktor daya dan Arus serta yang paling utama yaitu perhitungan dan mengetahui proses aliran daya pada sistem tenaga listrik tersebut.

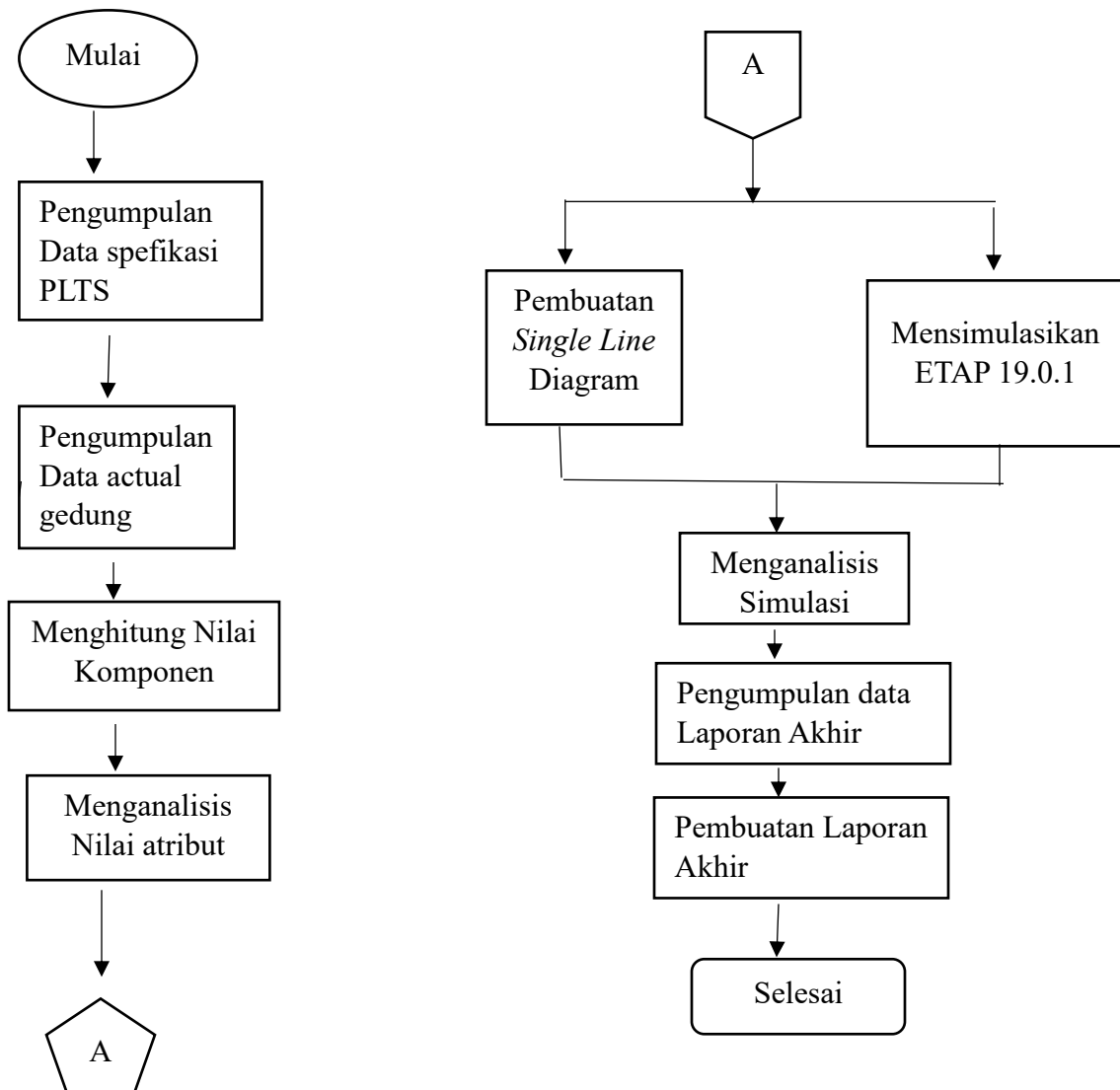
3.4 Data Yang Ditampilkan

Pada Penelitian ini data yang ditampilkan adalah Perhitungan Aliran Daya juga besarnya Daya Aktif (P) dan Daya Reaktif (Q) didalam setiap bagian terutama yang

menjadi komponen utama dalam sistem pendistribuan daya listrik dalam sistem tenaga listrik, berdasarkan dilakukannya perhitungan daya Aktif (P) dan Daya Reaktif (Q) juga dapat dilakukan Analisis terhadap Jatuh tegangan dan Rugi Rugi daya pada sistem baik pembangkitan maupun Beban terhadap gedung Labtek ITERA.

3.5 Diagram Alir

Secara garis besar, tahapan yang dilakukan pada penelitian ini disajikan dalam diagram alir pada Gambar 3.1



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.6 Pengumpulan Data

Data yang dihimpun atau dikumpulkan adalah data yang menyangkut komponen komponen di dalam single line diagram seperti pada Tabel 3.1

Tabel 3.1 Spesifikasi Modul PV PLTS ITERA

Module Type:	
<i>Max Power (Wp)</i>	330
<i>Tolerance (%)</i>	+3
<i>Max. Operating Voltage (Vm)</i>	37,5
<i>Max. Operating Current (Im)</i>	8,80
<i>Open -Circuit Voltage (V)</i>	45,9
<i>Short- Circuit Current (A)</i>	9,12
<i>Nominal Operating Cell Temp (°C)</i>	45
<i>All Technical Data Sheet STC</i>	
AM = 1,5 E= 1000 W/m ² T _c =25	
<i>Maximum System Voltage</i>	1500 V
<i>Wind Resistance</i>	2400 Pa
<i>Wight</i>	22.0 Kg
<i>Dimension</i>	1970 x 992 x 40mm

Tabel 3.2 Data pengamatan Fusion Solar

String	<i>Input Voltage (V)</i>	<i>Input Current (A)</i>
PV 1		
PV 2		
PV 3.....		
PV 8		

PLTS ITERA berkapasitas 1 MWp terdiri dari 3.036 buah modul PV dengan masing-masing modul berkapasitas 330Wp dan spesifikasi lain ditunjukkan pada Tabel 3.3

Tabel 3.3 Pengukuran Arus dan Tegangan masing- masing Inverter

Nilai	Inverter							
Rata-Rata								
	Inv 1	Inv 2	Inv 3	Inv 4	Inv 5	Inv 6	Inv 7	Inv 8
Arus (A)								
Standar Deviasi Arus								
Tegangan (V)								

Tabel 3.4 Perhitungan Daya Rata- Rata

Nilai	Inverter							
Rata-Rata								
	Inv 1	Inv 2	Inv 3	Inv 4	Inv 5	Inv 6	Inv 7	Inv 8
Daya Produksi (W)								

Tabel 3.5 Persentase Losses Kabel DC

Nilai	Inverter							
Rata-Rata								
	Inv 1	Inv 2	Inv 3	Inv 4	Inv 5	Inv 6	Inv 7	Inv 8
Daya Produksi (KW)								
Persentase Losses								
Standar Deviasi Persentase								
Losses								

Tabel 3.6 Data Beban *Single line* Diagram

Nama	Tegangan	Kapasitas	Daya Aktif	Daya Reaktif	%PF
	kV	kVA	kW	kVAr	
Load 1					
Load 2					
Load 3					
.....					
Load 7					

Besar arus dan tegangan setiap string yang masuk ke *smart inverter* terekam datanya ke dalam fusion solar.

Tabel 3.7 Analisis Daya pada Gedung Labtek 3 ITERA

Parameter	Beban		
	Normal	Tertinggi	Terendah
Total Daya Aktif			
Total Daya Reaktif			
PF rata-rata			
Kerugian Daya			
Arus Minimum			

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan dari penelitian ini, maka dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Analisis daya Gedung labtek hasil simulasi menunjukkan kondisi tertinggi, PLTS menghasilkan 800 kW dengan kebutuhan beban kecil, menyebabkan aliran daya mode eksporting ke PLN. Kondisi normal, PLTS dan beban kecil, menunjukkan keseimbangan antara kebutuhan konsumsi gedung dan suplai dari pembangkit. Kondisi minimum, sistem berada dalam mode ekspor. PLN menerima daya negatif (-753 kW). Sedangkan data actual, Desember 2024, tercatat energi impor sebesar 139.334,4 kWh, ekspor hanya 3.270,4 kWh.
2. Besar rugi daya (*losses*) daya dalam kondisi normal sebesar 47,1 kW untuk daya aktif dan 27,5 kVAr untuk daya reaktif. Total *losses* dalam kondisi Tertinggi di 38,7 kW untuk daya aktif dan 31,8 kVAr untuk daya reaktif, serta dalam kondisi terendah total losses 40,6 kW untuk daya aktif dan 37,7 kVAr untuk daya reaktif.
3. Analisis faktor daya ($\cos \varphi$) actual telah memenuhi standar yaitu $0,85 \leq 1$ namun hasil simulasi ETAP menampilkan factor daya yang lebih kecil yang diakibatkan oleh PLTS tidak memberikan supply reactive power.

5.2 Saran

Denah aktual Gedung Labtek ITERA yang di supply oleh PLTS hendaknya dikembangkan dengan ruang lingkup yang lebih detail dan jelas terlihat serta objek lebih detail agar peneliti selanjutnya dapat mengakses lebih mudah untuk SLD ETAPnya.

DAFTAR PUSTAKA

- A. C. A. Praditya Tampubolon, 2019. *Laporan Status Energi Bersih Indonesia*. IESR. Jakarta. hal.1–23.
- Atmajaya, K.G., Syamsyarieff, B., Bernardus, G. D. W., Sabhan, K., Ali M. 2022. Program Studi Teknik Elektro. Jurusan Teknologi Produksi dan Industri, dkk. *Analisis Rugi-Rugi Daya Kabel DC Pada PLTS 1 MWP ON-GRID Institut Teknologi Sumatera Berdasarkan Data Fusion Solar*. Hal196.
- Bachtiar, M. 2006. *Prosedur Perancangan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Untuk Perumahan (Solar System)*. SMARTek. Hal. 176-182.
- Evalina, N., Azis, H, A.Rimbawati & Cholish. 2019. *Efficiency Analisis on the Inverter using the Energy Saving Lamp. IOP Conference Series: Materials Sains and Enginnering*. 64(1).
- Faruq, Umar, Akmal R., Maurisio V., Ezra J. 2021. “Analisa Aliran Daya pada Sistem Tenaga Listrik menggunakan ETAP 12.6.” *Jurnal Sain, Energi, Teknologi & Industri* 6(1): 16–22. doi:10.31849/sainetin.v6i1.7031.
- Gultom, T. T. 2015. *Pemanfaatan Photovoltaic Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Surya. Jurnal Mundira Indure*, 1/3, 33-42.
- Hakim, Krisna. 2020. *Desain dan analisa unjuk kerja pembangkit listrik tenaga surya 15Kw dengan memaksimalkan final yield dan performance ratio pada perkantoran skala kecil-sedang*. Skripsi. Surakarta: Prodi Teknik Elektro, Universitas Sebelas Maret.
- Hanif, M, dkk. 2012. *Studying Power Output of PV Solar Panels at Different Temperatures and Tilt Angles*. Pakistan.
- Irsyam, M., Missyamsu, A., Linggom P. M. 2023. “Analisa Rugi-Rugi Daya (Losses Power) Pada Jaringan Tegangan Rendah PT. Musimas Batam”. *Sigma Teknika* hal.109–190.
- Kiswantonono, A., Darul I. F. 2020. *Study Aliran Daya (Load Flow) Pada Sistem Distribusi Tenaga Listrik Gedung Pasca Sarjana Universitas Bhayangkara Surabaya*. Universitas Sang Bumi Ruwa. Surabaya.

- Kusumandaru.2016. “*Listrik Daya Aktif, Daya Reaktif, dan Daya Semu -Teknik Listrik, dan Daya Semu Rangkaian Kapasitor Seri, dan Campuran Rangkaian Paralel Resistor, dan Kapasitor pada Arus Bolak-Balik, Fase Rangkaian Seri Resistor*”. Jurnal listrik. Vol.9 No.3, 143-148.
- Lubis, A. 2007. Energi Terbarukan Dalam Pembangunan Berkelanjutan. *Jurnal Teknik Lingkungan*. Vol.8 No.2, 155-162.
- Mesin, J. T., Industri, F. T., & Trisakti, U. 2016. *Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Atap Gedung Harry Hartono Universitas Trisakti*. 1-11.
- Nasrin, R., Hasanuzzaman, M., & Rahim,, N. A. 2018. Effect of High Irradiation On Photovoltaic Power and Energy. *International Journal of Energy Research*, 42(3). 1115-1131.
- Nugroho, N., Khwe, K. H., & Yandri. 2022. *Studi Teknis Pembangkit Listrik Tenaga Surya Sistem Off Grid dan On Grid*. 1-11.
- Panggayuh, B. G., Itmi H. K. 2020. “*Perancangan Dan Simulasi Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Kapasitas 27 kWp di Kota Cilacap*. Universitas Muhammadiyah Purwekerto. <http://jurnalnasional.ump.ac.id/index.php/JRRE>.
- Priatama, I.P. P. T. D., Zambak, M. F & Suwarno. 2021. Analisis Radiasi Sinar Matahari terhadap Panel Surya 50WP. *RELE (Rekayasa Elektrikal dan Energy): Jurnal Teknik Elektro*. 2(2). 1-7.
- Ramadhan, A. I.; Diniardi, E.& Mukti, S. H. 2016. Analisis Desain Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Kapasitas 50 WP. *E-Jurnal UNDIP*, 37/2, 59-63.
- Ramadhan, A. I., Aryza, S., Irwanto, M., Khairunizam, W.,Lubis, Z., Putri, M.,Hulu, F. N.,Wibowo, P., Novalinda, S., & Rahim, R. (2018). An effect Sensitivity Harmonics of Rotor Inductions Motors Based on Fuzzy Logic. *International Journal of Engineering and Technology (UAE)*, 7(2.13 Special Issue 13), 418-420.
- Ramadhani, Z. A., Fakta, M., Handoko, S. 2023. Analisis Pembangkitan Dan Distribusi Tenaga Listrik Energi Hibrida Untuk Beban Listrik Di Desa Batakan. *Jurnal ELTIKOM*. Universiitas Diponegoro,hal. 79-92, vol.7
- Shintawaty. 2013. Peranan Daya Reaktif Pada Sistem Kelistrikan. Universitas Tridinanti Palembang. *Jurnal Desiminasi Teknologi*, Volume 1, No. 2
- Sukisno, T. 2020. Pengantar Proteksi Sistem Tenaga Listrik Berbasis Software ETAP. Research Gate Publications.Yogyakarta.
- Sumarno, R. N., Muntasiroh, L., & Mariani, D. (2024). *Study of the potential for solar power plant at At Taqwa Mosque Using PV Syst*. *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 6(1), 47-51.

<https://doi.org/10.37905/jjee.v6i1.23081>

Yandri, V. R. (2012). Prospek Pengembangan Energi Surya untuk Kebutuhan Listrik di Indonesia. Jurnal Ilmu Fisika. Vol 9, Hal 14-19.

F. Widodo et al., ResearchGate (2022). Pemantauan PV menggunakan sistem Fusion Solar. Jurnal Listrik. Hal 80-85. Vol 1.

<https://www.researchgate.net/publication/386307443>