

**ANALISIS PERBANDINGAN EFISIENSI PLTD, PLTD-PLTS
HYBRID, DAN PLTS MENGGUNAKAN SOFTWARE HOMER
(STUDI KASUS DI PLTD TITI KUNING)**

SKRIPSI

OLEH:

RUT SEMAROPITA CHRISTI FANNY HASIBUAN

208120031



PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MEDAN AREA

MEDAN

2024

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 26/3/24

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (repository.uma.ac.id)26/3/24

**ANALISIS PERBANDINGAN EFISIENSI PLTD, PLTD-PLTS
HYBRID, DAN PLTS MENGGUNAKAN SOFTWARE HOMER
(STUDI KASUS DI PLTD TITI KUNING)**

SKRIPSI

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh
Gelar Sarjana Di Fakultas Teknik
Universitas Medan Area

Oleh:

RUT SEMAROPITA CHRISTI FANNY HASIBUAN

208120031

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MEDAN AREA

MEDAN

2024

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area


Document Accepted 26/3/24


Access From (repository.uma.ac.id)26/3/24

HALAMAN PENGESAHAN

Judul Skripsi : Analisis Perbandingan Efisiensi PLTD, PLTD-PLTS Hybrid dan PLTS Menggunakan Software HOMER (Studi Kasus di PLTD Titi Kuning)
Nama : Rut Semaropita Christi Fanny Hasibuan
NPM : 208120031
Fakultas : Teknik

Disetujui Oleh
Komisi Pembimbing


Ir. Habib Satria, M.T, IPP
Pembimbing I


Moranain Mungkin, S.T, M.Si
Pembimbing II


Dr. M. Supriatno, S.T, M.T
Dekan


M. Habib Satria, M.T, IPP
Ka. Prodi

Tanggal Lulus: 26 Januari 2024

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 26/3/24

Access From (repository.uma.ac.id)26/3/24

HALAMAN PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi yang saya susun, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana merupakan hasil karya tulis saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan skripsi ini yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah dan etika penulisan ilmiah.

Saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya peroleh dan sanksi sanksi lainnya dengan peraturan yang berlaku, apabila di kemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam skripsi ini.

Medan, 06 Desember 2023



Rut Semaropita Christi Fanny Hasibuan
208120031

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR/SKRIPSI/TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Medan Area, saya yang bertanda tangan di bawah ini:


Nama : Rut Semaropita Christi Fanny Hasibuan
NPM : 208120031
Program Studi : Teknik Elektro
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Tugas Akhir/Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul : “Analisis Perbandingan Efisiensi PLTD, PLTD-PLTS Hybrid dan PLTS Menggunakan Software HOMER (Studi Kasus di PLTD Titi Kuning)”

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir/skripsi/tesis saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Medan
Pada tanggal : 06 Desember 2023
Yang menyatakan



(Rut Semaropita Christi Fanny Hasibuan)

ABSTRAK

Pertumbuhan penduduk berbanding lurus dengan meningkatnya kebutuhan akan energi listrik. Pertumbuhan penduduk di Indonesia meningkat setiap tahunnya sedangkan cadangan energi konvensional yang merupakan sumber energi utama dalam pembangkitan energi listrik semakin menipis. Apabila tidak dilakukan eksplorasi terhadap energi alternatif, maka kebutuhan listrik di masa depan tidak dapat terpenuhi. Untuk itu dalam penelitian ini akan dianalisis PLTS sebagai energi alternatifnya. Pada penelitian ini akan dilakukan simulasi menggunakan software HOMER PRO untuk menganalisis dan membandingkan 3 konfigurasi sistem pembangkit listrik yaitu PLTD, PLTD-PLTS *hybrid* dan PLTS dalam kurun waktu 10 tahun ke depan. Peramalan beban listrik 10 tahun kedepan menggunakan 3 metode peramalan yaitu metode geometrik, eksponensial dan aritmatika kemudian akan dipilih metode peramalan dengan nilai error terkecil. Dari hasil simulasi didapatkan bahwa PLTD pada tahun 2032 tetap mampu memenuhi kebutuhan listrik meskipun menggunakan kapasitas generator yang sama dengan di tahun 2022. PLTS juga mampu memenuhi kebutuhan listrik di tahun 2032 menggantikan PLTD. Namun biaya investasi yang dikeluarkan PLTS lebih besar yakni sebesar Rp 3.907.611.613 dibandingkan PLTD sebesar Rp 221.543.500. berdasarkan nilai *Net Present Cost* (NPC), PLTS dianggap lebih menguntungkan karena nilai NPC nya lebih kecil yaitu sebesar Rp 1.098.000.000 dibandingkan PLTD sebesar Rp 354.000.000.000.

Kata Kunci: PLTD, PLTS, HOMER PRO

ABSTRACT

Rut Semaropita Christi Fanny H. 208120031. "The Comparative Analysis of the Efficiency of Diesel Power Plant, Diesel-Solar Hybrid Power Plant and Solar Power Plant Using Homer Software (Case Study at Diesel Power Plant of Titi Kuning)". Supervised by Ir. Habib Satria, M.T., IPP. and Moranain Mungkin, S.T., M.Si.

Population growth is directly proportional to the increasing demand for electrical energy. Population growth in Indonesia is increasing yearly, while conventional energy reserves, the primary energy source for generating electricity, are running low. If alternative energy sources are not explored, the future electricity demand will not be met. For this reason, this research analyzed Solar Power Plant as an alternative energy. In this research, a simulation was conducted using HOMER PRO software to analyze and compare 3 (three) power generation system configurations, namely Diesel Power Plant (PLTD), Diesel-Solar Hybrid Power Plant (PLTD-PLTS Hybrid), and Solar Power Plant (PLTS) over the next 10 years. Three forecasting methods, namely geometric, exponential, and arithmetic, were used to forecast the electricity load for the next 10 years, and the forecasting method with the lowest error value was selected. The simulation results showed that the Diesel Power Plant would still be able to meet the electricity demand in 2032 even if it used the same generator capacity as in 2022. The Solar Power Plant would also be able to supply the electricity demand in 2032 by replacing the Diesel Power Plant. However, the investment cost of the Solar Power Plant was higher at IDR 3,907,611,613, compared to IDR 221,543,500 for the Diesel Power Plant. Based on the Net Present Cost (NPC) value, a Solar Power Plant was considered more profitable because the NPC value was lower at IDR 1,098,000,000 compared to a Diesel Power Plant of IDR 354,000,000,000.

Keywords: Diesel Power Plant, Solar Power Plant, HOMER PRO



RIWAYAT HIDUP

Penulis bernama Rut Semaropita Christi Fanny Hasibuan, dilahirkan di Medan pada tanggal 11 Maret 1999 dari Ayah Rokudson Hasibuan dan Ibu Martauli Siringoringo. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis beralamat di Jl. Kampung Lama Dusun 6 , Desa Patumbak Kampung, Kecamatan Patumbak, Kabupaten Deli Serdang. Tahun 2016 penulis lulus dari SMA Negeri 13 Medan dan melanjutkan pendidikan jenjang D3 di Program Studi Teknik Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Medan. Setelah menyelesaikan pendidikan D3 pada tahun 2019, penulis melanjutkan pendidikan jenjang S1 di Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Medan Area pada bulan oktober 2020. Demikian riwayat hidup singkat yang dapat penulis sampaikan.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi penelitian ini dengan baik dan tepat waktu. Adapun judul penelitian yang dipilih adalah “Analisis perbandingan efisiensi PLTD, PLTD-PLTS Hybrid dan PLTS Menggunakan Software HOMER (Studi Kasus di PLTD Titi Kuning)”. Dalam penyelesaian skripsi ini penulis banyak melibatkan orang-orang yang sudah membantu dalam pengerjaan skripsi ini dan pada kesempatan ini penulis ucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua penulis yang selalu memberi doa dan dukungan secara moral maupun material.
2. Bapak Prof. Dr. Dadan Ramdan, M.Eng, M.Sc, selaku rektor Universitas Medan Area.
3. Bapak Dr. Eng. Supriatno, S.T, M.T, selaku dekan fakultas teknik
4. Bapak Ir. Habib Satria, M.T, IPP, selaku kepala program studi teknik elektro dan dosen pembimbing I, yang telah banyak meluangkan waktu, tenaga, pikiran, memberikan saran, kritik, bimbingan dan pengarahan yang membangun dalam penyusunan skripsi ini.
5. Bapak Moranain Mungkin, S.T, M.Si, selaku dosen pembimbing II yang telah bersedia meluangkan waktu dan pikiran untuk memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis sehingga skripsi dapat diselesaikan dengan baik.

6. Seluruh staff pengajar maupun IT support Universitas medan area khususnya program studi teknik elektro.
7. Kepada diri penulis sendiri yang telah bertahan dan dapat menyelesaikan pendidikan dengan baik.
8. Grace dan Maria, sahabat penulis yang telah memberi dukungan bagi penulis dalam penulisan skripsi.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan demi kesempurnaan proposal skripsi ini. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat baik untuk kalangan pendidikan maupun masyarakat. Akhir kata penulis ucapkan terima kasih.

Penulis



(Rut Semaropita Christi Fanny Hasibuan)

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	iv
ABSTRAK	
ABSTRACT	
RIWAYAT HIDUP.....	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Energi Baru dan Terbarukan	5
2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Diesel.....	6
2.2.1 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Diesel	6
2.2.2 Proses Pembangkitan Energi Listrik Pada PLTD	7
2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).....	8
2.3.1 Bagian-Bagian Utama PLTS.....	9
2.3.2 Proses Konversi Energi Pada Sistem PLTS	18
2.4 Daya Listrik	22
2.5 Homer Pro.....	24
2.6 Persebaran Radiasi Matahari.....	25

BAB III METODE PENELITIAN.....	27
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	27
3.2 Bagan Alir Penelitian	28
3.3 Metode Pengumpulan Data	29
3.3.1 Jenis Penelitian.....	29
3.3.2 Jenis Data	29
3.3.3 Teknik Pengumpulan Data.....	29
3.4 Metode Analisis Data.....	30
3.4.1 Peramalan Beban Listrik 2032	30
3.4.2 Perhitungan Kapasitas Sistem PLTS.....	31
3.4.3 Simulasi Homer Pro	32
3.4.4 Aspek Ekonomi.....	34
3.5 Data Penelitian	35
3.5.1 Data Spesifikasi Generator.....	35
3.5.2 Data Radiasi Matahari Harian Kota Medan	37
3.5.3 Data Jumlah Penduduk Sumatera Utara.....	38
3.5.4 Data Jumlah Energi Listrik Yang Diproduksi PLTD di Sumatera Utara..	39
3.5.5 Data Jumlah Pelanggan Sumatera Utara	40
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	42
4.1 Perhitungan Beban Generator	42
4.2 Peramalan Beban Listrik Tahun 2032.....	73
4.3 Simulasi Homer PRO.....	84
BAB V SIMPULAN DAN SARAN.....	105
5.1 Simpulan	105
5.2 Saran	106
DAFTAR PUSTAKA	107

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1	Range nilai MAPE dan artinya..... 31
Tabel 2	Data spesifikasi generator 1, 2 dan 3..... 36
Tabel 3	Data spesifikasi generator 4, 5 dan 6..... 36
Tabel 4	Data radiasi matahari harian kec. Titi kuning..... 37
Tabel 5	Jumlah penduduk sumatera utara 2014-2022..... 38
Tabel 6	Energi yang diproduksi PLTD wilayah Sumatera utara tahun 2014-2022..... 39
Tabel 7	Jumlah pelanggan listrik wilayah sumatera utara 2014-2022..... 40
Tabel 8	Data kelistrikan generator 2, 3, 4 dan 5 tanggal 08 juli 2021.... 42
Tabel 9	Data pembebanan generator 2, 3, 4 dan 5 pada 08 juli 2021..... 44
Tabel 10	Data kelistrikan generator 2, 3, 4 dan 5 tanggal 11 september 2021..... 45
Tabel 11	Data pembebanan generator 2, 3, 4 dan 5 pada 11 september 2021..... 46
Tabel 12	Data kelistrikan generator 2, 3 dan 5 tanggal 04 oktober 2021..... 46
Tabel 13	Data pembebanan generator 2, 3 dan 5 pada 04 oktober 2021..... 48
Tabel 14	Data kelistrikan generator 2, 3 dan 5 tanggal 22 november 2021... 48
Tabel 15	Data pembebanan generator 2, 3 dan 5 pada 22 november 2021.... 50
Tabel 16	Data kelistrikan generator 2, 3 dan 5 tanggal 04 januari 2022..... 51
Tabel 17	Data pembebanan generator 2, 3 dan 05 pada 04 januari 2022..... 53
Tabel 18	Data kelistrikan generator 6 tanggal 04 februari 2022..... 54
Tabel 19	Data pembebanan generator 6 tanggal 04 februari 2022..... 54
Tabel 20	Data kelistrikan generator 2, 3, 5 dan 6 tanggal 22 maret 2022..... 55
Tabel 21	Data pembebanan generator 2, 3, 5 dan 6 pada 22 maret 2022..... 56
Tabel 22	Data kelistrikan generator 2, 3, 5 dan 6 tanggal 14 april 2022..... 57

Tabel 23	Data pembebanan generator 2, 3, 5 dan 6 pada 14 april 2022.....	59
Tabel 24	Data kelistrikan generator 2, 3, 5 dan 6 tanggal 14 mei 2022.....	59
Tabel 25	Data pembebanan generator 2, 3, 5 dan 6 pada 14 mei 2022.....	61
Tabel 26	Data kelistrikan generator 2, 3 dan 5 tanggal 05 juli 2022.....	63
Tabel 27	Data pembebanan generator 2, 3 dan 5 pada 05 juli 2022.....	64
Tabel 28	Data kelistrikan generator 2, 3, 4 dan 5 tanggal 18 agustus 2022...	64
Tabel 29	Data pembebanan generator 2, 3, 4 dan 5 pada 18 agustus 2022....	66
Tabel 30	Data kelistrikan generator 1, 2 dan 3 tanggal 29 september 2022...	66
Tabel 31	Data kelistrikan generator 5 dan 6 tanggal 29 september 2022.....	66
Tabel 32	Data pembebanan generator 1, 2, 3, 5 dan 6 tanggal 29 september 2022.....	68
Tabel 33	Data kelistrikan generator 2, 3, 5 dan 6 tanggal 13 oktober 2022...	68
Tabel 34	Data pembebanan generator 2, 3, 5 dan 6 tanggal 13 oktober 2022.....	70
Tabel 35	Data pembebanan generator per jam tahun 2021.....	70
Tabel 36	Data pembebanan generator per jam tahun 2022.....	71
Tabel 37	Total daya beban listrik per bulan tahun 2021-2022.....	72
Tabel 38	Energi yang diproduksi PLTD sumatera utara 2014-2022.....	74
Tabel 39	Perhitungan rasio rata-rata pertumbuhan daya listrik.....	75
Tabel 40	Hasil peramalan daya listrik menggunakan metode geometrik.....	76
Tabel 41	Daya aktual dan daya hasil peramalan dengan metode geometrik..	76
Tabel 42	Perhitungan nilai MAPE hasil peramalan dengan metode geometrik.....	77
Tabel 43	Hasil peramalan daya listrik dengan metode eksponensial.....	78
Tabel 44	Daya aktual dan daya hasil peramalan dengan metode eksponensial.....	78
Tabel 45	Perhitungan nilai MAPE hasil peramalan metode eksponensial....	79
Tabel 46	Hasil peramalan menggunakan metode aritmatika.....	80
Tabel 47	Daya aktual dan daya hasil peramalan metode aritmatika.....	80

Tabel 48	Perhitungan nilai MAPE hasil peramalan dengan metode aritmatika.....	81
Tabel 49	Kenaikan data tahun 2022 dan 2032 hasil peramalan metode aritmatika.....	82
Tabel 50	Daya ramalan per jam bulan januari-juni 2032.....	82
Tabel 51	Daya ramalan per jam bulan juli-desember 2032.....	83
Tabel 52	Rangkuman hasil simulasi HOMER PRO sistem PLTD 2022.....	87
Tabel 53	Rangkuman hasil simulasi HOMER PRO sistem PLTD 2032.....	91
Tabel 54	Spesifikasi baterai.....	91
Tabel 55	Spesifikasi panel surya.....	93
Tabel 56	Rangkuman hasil simulasi HOMER PRO sistem PLTD-PLTS Hybrid 2032.....	97
Tabel 57	Rangkuman hasil simulasi HOMER PRO sistem PLTS 2032.....	103
Tabel 58	Rangkuman biaya investasi sistem PLTD, PLTD-PLTS dan PLTS.....	104

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Struktur PLTD.....	6
Gambar 2.2 Gabungan modul surya.....	9
Gambar 2.3 Perbedaan sel, modul, panel dan array surya.....	10
Gambar 2.4 Semikonduktor tipe P dan N sebelum disambung.....	18
Gambar 2.5 Semikonduktor tipe P dan N ketika disambung.....	19
Gambar 2.6 Penyatuan elektron dan hole semikonduktor.....	19
Gambar 2.7 Proses konversi cahaya matahari menjadi energi listrik.....	20
Gambar 2.8 Fotogenerasi elektron-hole.....	22
Gambar 2.9 Segitiga daya.....	23
Gambar 2.10 Tampilan software HOMER PRO.....	24
Gambar 2.11 Optimalisasi dan identifikasi biaya terendah sistem.....	24
Gambar 2.12 Koordinat PLTD titi kuning di google earth.....	25
Gambar 2.13 Radiasi matahari di wilayah titi kuning.....	26
Gambar 3.1 PLTD titi kuning.....	27
Gambar 3.2 Skema sistem PLTD pada software HOMER PRO.....	32
Gambar 3.3 Skema sistem PLTD-PLTS hybrid pada software HOMER PRO.....	32
Gambar 3.4 Skema sistem PLTS pada software HOMER PRO.....	33
Gambar 3.5 Generator di PLTD titi kuning.....	36
Gambar 3.6 Grafik pertumbuhan jumlah penduduk Sumatera Utara.....	39
Gambar 3.7 Grafik energi yang diproduksi PLTD Sumatera Utara tahun 2014-2022.....	40
Gambar 3.8 Grafik pertumbuhan pelanggan listrik Sumatera Utara 2014-2022.....	41
Gambar 4.1 Grafik total daya beban listrik per bulan tahun 2021 dan 2022.....	73
Gambar 4.2 Skema PLTD tahun 2022.....	84
Gambar 4.3 Load PLTD 2022.....	85
Gambar 4.4 Hasil simulasi sistem PLTD 2022.....	85
Gambar 4.5 Cost Summary PLTD 2022.....	86
Gambar 4.6 Electrical summary PLTD 2022.....	86
Gambar 4.7 Fuel summary PLTD 2022.....	87

Gambar 4.8	Skema PLTD 2032.....	88
Gambar 4.9	Load PLTD 2032.....	88
Gambar 4.10	Hasil simulasi PLTD 2032.....	89
Gambar 4.11	Electrical summary PLTD 2032.....	89
Gambar 4.12	Cost summary PLTD 2032.....	90
Gambar 4.13	Fuel summary PLTD 2032.....	90
Gambar 4.14	Emisi PLTD 2032.....	90
Gambar 4.15	Losses pada panel surya.....	94
Gambar 4.16	Hasil simulasi PLTD-PLTS hybrid 2032.....	95
Gambar 4.17	Cost summary PLTD-PLTS hybrid 2032.....	96
Gambar 4.18	Electrical summary PLTD-PLTS hybrid 2032.....	96
Gambar 4.19	Fuel summary PLTD-PLTS hybrid 2032.....	97
Gambar 4.20	Emisi PLTD-PLTS hybrid.....	97
Gambar 4.21	Skema PLTS 2032.....	101
Gambar 4.22	Load PLTS 2032.....	101
Gambar 4.23	Hasil simulasi PLTS 2032.....	102
Gambar 4.24	Cost summary PLTS 2032.....	102
Gambar 4.25	Electrical summary PLTS 2032.....	103
Gambar 4.26	Emisi PLTS 2032.....	103
Gambar 4.27	Grafik perbandingan biaya investasi PLTD, PLTD-PLTS hybrid dan PLTS tahun 2032.....	104

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1 Spesifikasi generator.....	110
Lampiran 2 Data jumlah energi listrik yang diproduksi PLTD SUMUT 2014-2022.....	111
Lampiran 3 Data jumlah pelanggan listrik berdasarkan statistik PLN 2014-2022.....	113
Lampiran 4 Data radiasi matahari wilayah kota medan pada HOMER PRO.....	115



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi listrik merupakan kebutuhan primer (utama) dalam kehidupan manusia. Mulai dari rumah tangga, industri, dan sektor lainnya pasti membutuhkan energi listrik. Pada tahun 2021, laju pertumbuhan penduduk Indonesia berada pada nilai 1,22%. Dibandingkan dengan data tahun 2020, pada tahun 2021 terjadi kenaikan jumlah penduduk sebanyak 2.529.861 jiwa (Dukcapil Kemendagri, 2022). Apabila setiap tahun terjadi peningkatan jumlah penduduk, maka kebutuhan akan energi listrik juga akan meningkat.

Saat ini Indonesia masih menggunakan energi konvensional sebagai sumber energi utama untuk membangkitkan energi listrik. Energi konvensional merupakan sumber energi yang tidak dapat diperbarui karena proses pembentukannya membutuhkan waktu ribuan tahun. Yang termasuk energi konvensional adalah energi fosil seperti minyak bumi, gas alam dan batubara.

PLTD (Pembangkit Listrik Tenaga Diesel) merupakan pembangkit listrik yang menggunakan generator diesel untuk membangkitkan energi listrik. Adapun bahan bakar yang digunakan generator diesel adalah BBM (bahan bakar minyak) jenis solar. Berdasarkan pernyataan dari Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Arifin Tasrif di webinar Potret Energi Indonesia pada Tempo *Energy Day* 21 Oktober 2020, jika tidak dilakukan eksplorasi

cadangan energi yang baru, minyak bumi kemungkinan akan habis 9 tahun mendatang, gas bumi akan habis 22 tahun lagi dan batu bara akan habis 65 tahun kemudian. Dengan meningkatnya kebutuhan listrik tiap tahun dan cadangan energi konvensional yang semakin sedikit, maka tidak mungkin untuk bergantung sepenuhnya pada energi konvensional. Untuk mengatasi hal ini, diperlukan sumber energi lainnya untuk menggantikan energi konvensional sebagai sumber energi utama untuk membangkitkan energi listrik. Sumber energi yang paling tepat adalah energi baru dan terbarukan yang jumlahnya melimpah di alam dan tidak akan habis. Namun perlu dilakukan analisis terlebih dahulu terhadap pembangkit listrik energi baru dan terbarukan tersebut untuk mengetahui apakah pembangkit listrik tersebut efisien dan mampu menjadi pengganti pembangkit listrik energi konvensional di masa yang akan datang. Dalam skripsi ini, penulis memilih untuk menganalisis Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) dan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) serta memilih PLTD Titi Kuning sebagai lokasi penelitian. PLTD Titi Kuning merupakan salah satu unit pembangkit listrik PT PLN (Persero) yang melayani wilayah Sumatera Bagian Utara (SUMBAGUT).

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Apakah PLTD mampu memenuhi kebutuhan listrik 10 tahun yang akan datang (Tahun 2032) dengan menggunakan kapasitas generator yang sama dengan kapasitas saat ini?
2. Apakah sistem pembangkit listrik *hybrid* (PLTD-PLTS) mungkin untuk diterapkan 10 tahun yang akan datang?
3. Apakah PLTS mampu menggantikan PLTD untuk menjadi salah satu pembangkit listrik yang memenuhi kebutuhan listrik wilayah SUMBAGUT 10 tahun kedepan?
4. Bagaimana perbandingan aspek ekonomi dari masing-masing konfigurasi sistem pembangkit listrik PLTD, PLTD-PLTS *Hybrid* dan PLTS 10 tahun kedepan?
5. Pembangkit listrik manakah yang lebih efisien untuk diterapkan sebagai langkah transisi energi Indonesia di masa yang akan datang?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Melakukan analisis perhitungan untuk mengetahui apakah PLTD mampu memenuhi kebutuhan listrik di tahun 2032 dengan kapasitas sistem yang sama dengan saat ini.
2. Melakukan analisis untuk mengetahui apakah sistem pembangkit listrik *hybrid* mungkin untuk diterapkan pada tahun 2032.
3. Melakukan analisis apakah PLTS mampu menjadi pembangkit listrik pengganti PLTD di masa depan.

4. Melakukan analisis perhitungan untuk membandingkan aspek ekonomi dari PLTD, PLTD-PLTS *hybrid* dan PLTS 10 tahun mendatang.
5. Menganalisis pembangkit listrik yang paling efisien untuk direalisasikan sebagai langkah transisi energi dari energi konvensional menjadi energi baru dan terbarukan di Indonesia.

1.4 Manfaat Penelitian

Sejalan dengan tujuan masalah yang telah ditetapkan, maka penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Dapat menganalisis sistem pembangkit listrik berbasis energi terbarukan sebagai salah satu langkah peralihan dari ketergantungan terhadap energi konvensional di Indonesia.
2. Dapat digunakan sebagai referensi untuk peneliti selanjutnya yang berminat meneliti bidang pembangkit listrik energi baru dan terbarukan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Energi Baru dan Terbarukan

Energi baru dan terbarukan merupakan gabungan dari 2 jenis energi yaitu energi baru dan energi terbarukan. Energi baru merupakan semua jenis energi yang dihasilkan oleh teknologi (RUU EBT, 2022). Contoh energi baru adalah gasifikasi batu bara yaitu batu bara yang diproses hingga menjadi gas. Energi terbarukan merupakan energi yang tersedia di alam dan sumbernya tak terbatas namun belum digunakan secara maksimal. Adapun contoh energi terbarukan adalah energi angin, energi surya, energi gelombang laut dan energi panas bumi (Silitonga dan Ibrahim, 2020:6).

Energi surya adalah energi yang berasal dari matahari. Energi surya sampai ke permukaan bumi melalui pancaran (radiasi). Hal ini terjadi karena di antara bumi dan matahari terdapat ruang hampa yang tidak memiliki zat perantara (Priatam, P.P.T.D., et al. 2021). Energi surya merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang perkembangannya cukup pesat baik di Indonesia maupun mancanegara. Indonesia merupakan negara dengan iklim tropis dan dilalui oleh garis khatulistiwa sehingga mendapatkan sinar matahari setiap tahunnya (Satria, H. dan Syafii, 2018). Indonesia memiliki potensi energi surya yang cukup besar, yaitu sebesar 207.898 MW atau 4,80 kWh/m² per hari (ESDM One Map, 2021). Saat ini Indonesia masih menggunakan bahan bakar fosil untuk membangkitkan energi listrik. Penerapan energi baru dan terbarukan hanya 12% dan Kementerian Energi

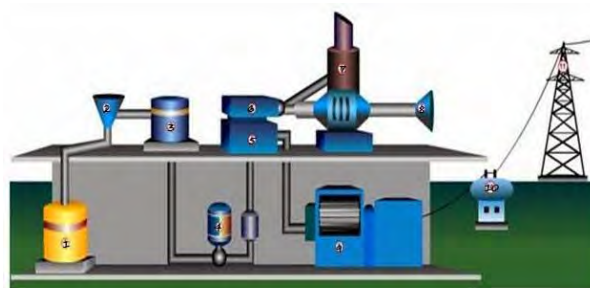
dan Sumber Daya Mineral (ESDM) sudah mencanangkan peningkatan EBT menjadi 25% di tahun 2025 (Siregar, M.F, dkk. 2023)

2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Diesel

Pembangkit listrik tenaga diesel (PLTD) adalah pembangkit listrik yang menggunakan generator diesel untuk membangkitkan energi listrik. PLTD terdiri atas motor bakar sebagai penggerak mula yang dikopel dengan generator (Afandi, 2005:6). Motor bakar atau yang biasa disebut dengan mesin diesel akan menghasilkan energi mekanis yang digunakan untuk memutar rotor pada generator untuk menghasilkan energi listrik. Bahan bakar yang dibutuhkan generator diesel adalah bahan bakar minyak jenis solar (*High Speed Diesel*). PLTD umumnya digunakan untuk membangkitkan energi listrik dalam jumlah kecil seperti untuk desa terpencil atau sebagai pembangkit cadangan ketika beban puncak (Anton Ilintamon, dkk., 2019).

2.2.1 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Diesel

Adapun sistem pembangkit listrik tenaga diesel terdiri atas beberapa bagian utama seperti yang ditunjukkan melalui penomoran pada gambar di bawah ini:



Gambar 2.1 Struktur PLTD

(Sumber: <http://bmj.co.id/tentang-genset/pembangkit-listrik-tenaga-diesel/> diunduh pada 30 september 2022)

1. Tangki penyimpanan bahan bakar
2. Penyaring bahan bakar
3. Tangki penyimpanan bahan bakar sementara yang telah disaring
4. Pengabut (*Nozzle*)
5. Mesin diesel
6. Turbo charger
7. Penyaring gas pembuangan
8. Tempat pembuangan gas
9. Generator
10. Trafo
11. Saluran transmisi

2.2.2 Proses Pembangkitan Energi Listrik Pada PLTD

PLTD menggunakan bahan bakar minyak (BBM) sebagai energi utama untuk membangkitkan energi listrik. Mula-mula bahan bakar yang terdapat pada tangki penyimpanan bahan bakar disaring terlebih dahulu di bagian penyaring bahan bakar. Bahan bakar yang telah disaring kemudian dipompakan ke tangki penyimpanan khusus bahan bakar yang telah disaring. Bahan bakar tersebut kemudian dipompakan kembali ke *nozzle* (pengabut) untuk menaikkan temperatur bahan bakar sehingga berubah menjadi kabut. Udara bersih kemudian dimasukkan menggunakan kompresor ke dalam tangki udara lalu dialirkan ke *turbocharger*. Udara pada *turbocharger* kemudian dinaikkan tekanan dan temperaturnya hingga 500 psi dan 600°C. Udara yang sudah bertekanan tinggi kemudian di alirkan ke

ruang bakar yang terdapat pada mesin diesel. Bahan bakar yang sudah diubah menjadi kabut pada *nozzle*, kemudian dialirkan ke ruang bakar. Akibat dari udara yang bertekanan dan temperatur tinggi, mesin diesel akan menyala dengan otomatis. Hal ini terjadi dikarenakan tekanan dan temperatur udara yang tinggi, sehingga temperatur di dalam silinder naik. Pada saat bahan bakar disemprotkan ke silinder, terjadilah pembakaran yang menyebabkan poros rotor generator berputar. Perputaran rotor generator inilah yang membangkitkan energi listrik. Energi listrik yang dihasilkan berupa tegangan. Untuk mengalirkan tegangan listrik ke konsumen, tegangan listrik harus dinaikkan terlebih dahulu menggunakan trafo step up untuk mengurangi rugi-rugi ketika melewati saluran transmisi (Arief, 2018).

2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) merupakan pembangkit listrik yang memanfaatkan energi surya untuk menghasilkan energi listrik. PLTS mengubah energi surya (dalam bentuk cahaya matahari) yang diterima oleh panel surya menjadi energi listrik. Adapun keuntungan pemanfaatan PLTS sebagai pembangkit listrik alternatif adalah:

1. Sumber energi yang tersedia di alam melimpah dan tak terbatas.
2. Sistem yang dikembangkan bersifat modular sehingga dapat dengan mudah diinstalasi dan diperbesar kapasitasnya.
3. Perawatannya mudah. Tidak menimbulkan polusi udara.

4. Dirancang bekerja secara otomatis sehingga dapat diterapkan di daerah terpencil (*remote area*).
5. Relatif aman.
6. Keandalannya semakin baik.
7. Mudah untuk diinstalasi. (Rumbayan, 2020)

2.3.1 Bagian-Bagian Utama PLTS

Berikut ini merupakan komponen-komponen utama pada sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS), yaitu:

a. Modul Surya

Modul surya atau panel surya merupakan gabungan dari sel surya yang dirangkai baik secara seri maupun paralel. Jika beberapa panel surya dirangkai secara seri maupun paralel, maka akan membentuk generator surya.



Gambar 2.2 Gabungan modul surya
(Sumber: <https://www.sharemaz.com/2017/07/jenis-dan-bahan-dari-sel-surya.html>, diunduh pada 11 Juli 2022)

Panel surya diklasifikasikan menjadi beberapa tipe, yaitu:

1. Monokristal Silikon (*Mono-crystalline Silicon*)

Panel surya monokristal silikon ini memiliki nilai efisiensi 16-25% dan menjadi panel surya yang paling efisien dibandingkan dengan tipe panel surya lainnya.

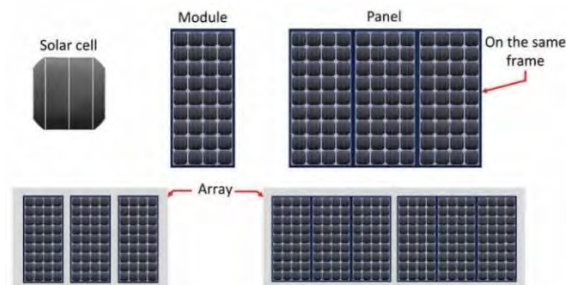
2. Polikristal Silikon (*Poly-crystalline Silicon*)

Panel surya polikristal silikon ini memiliki nilai efisiensi 14%-16%. Tipe panel surya ini memiliki kristal yang acak.

3. *Amorphous Silicon*

Panel surya *Amorphous silicon* ini memiliki nilai efisiensi yang paling rendah dibandingkan dengan tipe panel surya lainnya yaitu 9-10,4%. Panel surya ini memiliki harga yang paling murah (Rumbayan, 2020).

Energi listrik yang dihasilkan satu sel surya sangat kecil. Maka dalam penggunaannya sel surya harus digabungkan sehingga terbentuklah suatu modul yang menghasilkan energi listrik lebih besar. Jika ingin mendapatkan energi listrik yang lebih besar lagi, beberapa modul harus digabungkan sehingga terbentuk apa yang disebut “array” (Rumbayan, 2020).



Gambar 2.3 Perbedaan Sel, Modul, Panel dan Array Surya

(Sumber: <https://pasangpanelsurya.com/beda-sel-modul-panel-array-solar/> diunduh pada 03 Oktober 2022)

Sel surya memanfaatkan teori cahaya sebagai partikel. Cahaya baik yang tampak maupun tidak, memiliki dua sifat yaitu dapat berperan sebagai gelombang dan dapat berperan sebagai partikel yang disebut *photon*. Modul surya umumnya dipasang dengan sudut kemiringan tertentu terhadap bidang datar untuk mempermudah pembersihan permukaan modul dari debu atau kotoran lain secara alamiah dengan air hujan. Data radiasi matahari yang terukur adalah besarnya radiasi matahari yang sampai pada permukaan datar bumi. Dengan posisi modul yang miring, radiasi matahari yang sampai ada permukaan modul akan berbeda nilainya dengan yang sampai pada permukaan datar bumi. Untuk menentukan besar radiasi matahari pada kemiringan tertentu, nilai rata-rata radiasi matahari per bulan dikalikan dengan faktor kemiringan (*tilt factor*) dan dengan percobaan pengukuran derajat kemiringan.

Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi baik atau buruknya pengoperasian sel surya:

- Temperatur udara

Sel surya dapat beroperasi secara maksimal jika temperatur sel tetap normal, 25°C. Jika temperatur lebih tinggi dari temperatur normal sel surya, tegangan Voc akan melemah.

- Radiasi matahari

Radiasi matahari berbeda-beda pada tiap lokasi. Radiasi matahari sangat berpengaruh terhadap arus (I) dan sedikit berpengaruh terhadap (V)

- Kecepatan angin

Kecepatan angin mempengaruhi temperatur permukaan sel surya sehingga temperatur tetap pada temperatur 25°C

- Keadaan atmosfer bumi

Keadaan atmosfer seperti berawan dan mendung sangat menentukan hasil pembangkitan energi listrik pada sel surya.

- Orientasi terhadap arah matahari

Untuk mendapatkan hasil terbaik, sudut orientasi panel terhadap matahari harus berada pada posisi yang tepat. Untuk lokasi yang berada di belahan utara latitude, panel sebaiknya menghadap ke selatan. Sedangkan untuk lokasi yang berada di bagian selatan latitude, panel sebaiknya menghadap ke utara. Panel surya walaupun posisinya menghadap arah barat atau timur, tetap akan menghasilkan energi listrik namun kurang maksimal.

Untuk menghitung kapasitas panel surya, diperlukan total daya konsumen kemudian ditambahkan dengan kebutuhan untuk mengisi baterai. Besarnya arus yang diperlukan untuk mengisi baterai selama 10 jam dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$I_{ch} = \frac{I_{rms} \times t_d}{t_s} \quad (2.1)$$

Dimana:

I_{ch} = arus pengisian baterai (A)

$I_{rms} \times t_d$ = kapasitas baterai dengan DOD (Ah)

t_s = lama penyinaran matahari (jam)

Jika digunakan solar panel yang dapat menghasilkan daya output sebesar 50 Wh, jumlah panel surya yang dibutuhkan dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$np = \frac{E_{ac}}{E_p} \quad (2.2)$$

Dengan:

np = Jumlah panel

E_{ac} = total dari energi baterai dan energi konsumen (Wh)

E_p = Kapasitas Panel (Wh)

b. Charge Controller

Charge Controller adalah alat yang berfungsi untuk mengatur arus pengisian dan pengosongan baterai secara otomatis. Setiap *charge controller* umumnya terdiri atas dioda yang berperan untuk memblokir arus balik dari baterai ke panel surya apabila tegangan panel sangat rendah. Selain untuk mengatur pengisian dan pengosongan baterai, *charge controller* memiliki fungsi lain yaitu:

- Menghentikan aliran arus jika kondisi baterai dalam keadaan penuh.

- Menghentikan suplai dari sel surya ke beban jika tegangan baterai berada di bawah harga tegangan pemutusan (*cut-off voltage*) sehingga baterai terhindar dari kerusakan.
- Mengamankan baterai dari bahaya *overcharge* maupun *discharge*.
- Mencegah terjadinya hubung singkat.
- Menghindari arus balik yang dapat merusak modul sel surya. Arus balik terjadi saat tegangan lebih rendah dibanding tegangan baterai.

Dalam sistem PLTS *charge controller* dibutuhkan untuk mengatur pengisian energi listrik ke baterai. *Charge controller* akan mencegah pengisian baterai yang berlebihan dengan membatasi laju pengisian daya ke baterai. Jumlah *charge controller* yang dibutuhkan tergantung pada beban maksimum yang diperbolehkan. Seperti solar *charge controller* MPPT30 12/24 volt (auto), artinya beban maksimum yang dapat dilayani adalah 30 Ampere. Jumlah *charge controller* yang dibutuhkan untuk pengisian baterai dapat dihitung menggunakan rumus:

$$n_{cg} = \frac{Ahb}{I_{max-cg} \times ts} \quad (2.3)$$

Dimana:

n_{cg} = jumlah *charge controller*

Ahb = kapasitas baterai (*Ampere-hour*)

I_{max-cg} = arus maksimum *charge controller* (A)

t_s = waktu penyinaran (jam)

c. Baterai

Baterai merupakan komponen yang berfungsi untuk menyimpan energi yang dihasilkan panel surya selama mendapatkan sinar matahari. Pada siang hari, baterai akan menyimpan energi dan pada saat malam hari baterai akan mengeluarkan energi untuk melayani beban. Jika pada siang hari tidak ada cahaya matahari, maka energi yang disimpan pada baterai dapat digunakan untuk mensuplai beban. Terdapat 2 jenis baterai, baterai primer dan baterai sekunder. Baterai primer merupakan jenis baterai yang tidak dapat diisi muatan listrik kembali setelah digunakan. Sedangkan baterai sekunder merupakan baterai yang dapat diisi kembali oleh muatan listrik setelah digunakan (*rechargeable*). Pada pembangkit listrik tenaga surya, jenis baterai yang dipakai adalah baterai sekunder.

Pada baterai umumnya terdapat sebuah *nameplate* yang berisi spesifikasi baterai tersebut. Jika dalam baterai tertulis kapasitas suatu baterai 100 Ah (*Ampere-hour*), artinya baterai tersebut akan terisi penuh ketika diisi arus sebesar 1 Ampere selama 100 jam.

Perhitungan kapasitas baterai dilakukan berdasarkan total beban yang dilayani dan waktu beban beroperasi dengan menggunakan rumus:

$$I_{rms} \times t = \frac{E_{ac}}{V_{rms} \times PF} \quad (2.4)$$

Dimana:

$I_{rms} \times t$ = Kapasitas battery (*Ampere-hour*)

I_{rms} = Arus listrik yang disuplai (A)

t = Waktu (jam)

E_{ac} = Total Energi Konsumen (Wh)

V_{rms} = Tegangan *system* (volt)

PF = Asumsi faktor konversi energi baterai (*power factor=0,9*)

Setelah menghitung kapasitas baterai, dilakukan perhitungan jumlah baterai yang digunakan. nilai efisiensi kerja dari baterai sebesar 90% dan 10% terbuang menjadi panas. maka kembali ditambahkan kapasitas baterai 10% dari nilai *Ampere Hour* sebelumnya.

$$I_{rms} \times t_{10\%} = I_{rms} \times t + (10\% \times I_{rms} \times t) \quad (2.5)$$

Dalam perhitungan kapasitas baterai, perlu dilakukan pertimbangan untuk DOD (Depth of Discharge) karena sangat mempengaruhi masa penggunaan baterai (*battery life of cycle*). Baterai tidak boleh digunakan sampai habis. Maka dalam perhitungan kapasitas baterai perlu ditambahkan 20% untuk menghindari DOD dan kapasitas baterai menjadi:

$$I_{rms} \times t_{DOD} = I_{rms} \times t_{10\%} + (20\% \times I_{rms} \times t_{10\%}) \quad (2.6)$$

Dengan demikian jumlah baterai yang dibutuhkan dapat dihitung menggunakan rumus:

$$nb = \frac{I_{rms} \times t \text{ DOD}}{Eb} \quad (2.7)$$

Dimana:

nb = jumlah baterai

Eb = kapasitas baterai (Ah)

d. Inverter

Inverter adalah perangkat yang dapat mengubah arus listrik searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC). *Inverter* juga dapat digunakan sebagai catu daya darurat. Dalam penginstalasian *inverter*, tegangan dan kapasitas baterai sama dengan tegangan input pada *inverter*. Jika tegangan baterai lebih kecil, *inverter* tidak akan bekerja dengan normal. Inverter merupakan alat yang mampu mengubah arus DC menjadi arus AC. Penggunaan *inverter* harus sesuai dengan beban maksimum yang diperbolehkan alat tersebut. Contohnya, Inverter 500 W VMI-P500 yang memiliki beban maksimum 500 W. Daya listrik yang dibutuhkan *inverter* dalam waktu 1 jam untuk daya 500 W adalah 500 Wh. Jumlah *inverter* yang dibutuhkan dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$ni = \frac{Eac}{Ei} \quad (2.8)$$

Dengan:

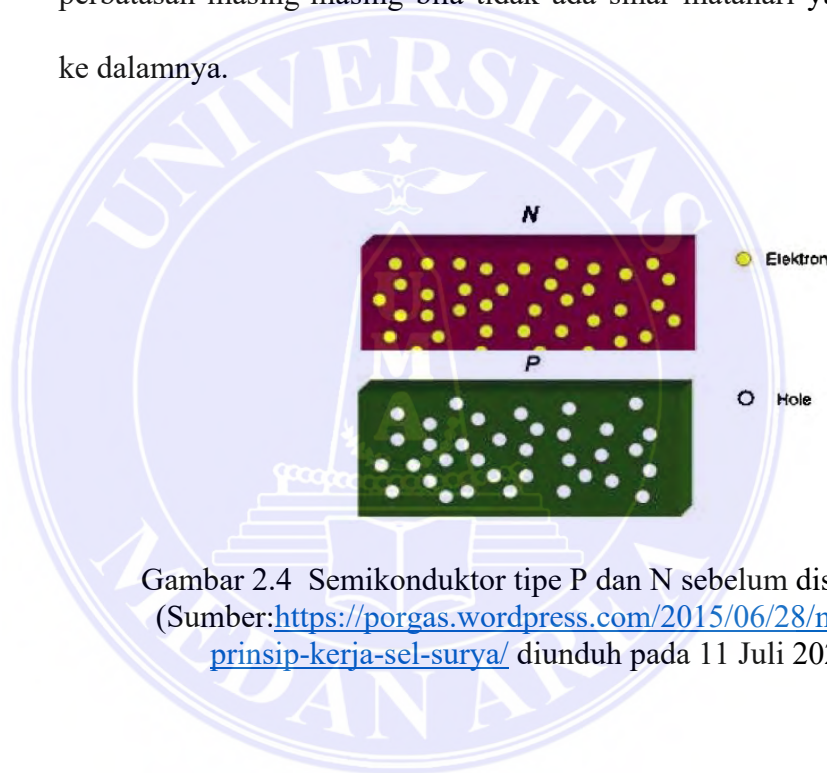
Ni = jumlah inverter

E_{ac} = energi total (*Watt-hour*)

E_i = kapasitas inverter (*Watt-Hour*)

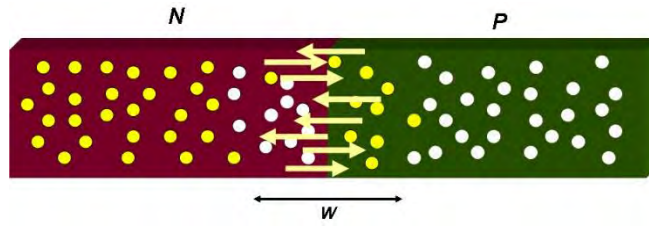
2.3.2 Proses Konversi Energi Pada Sistem PLTS

Sebuah sel surya dapat dianggap sebagai sebuah dioda silikon dengan permukaan yang luas. Karena terdiri dari suatu *junction* (pembatas bagian positif dan negatif), maka lapisan batas memiliki potensial perbatasan masing-masing bila tidak ada sinar matahari yang masuk ke dalamnya.



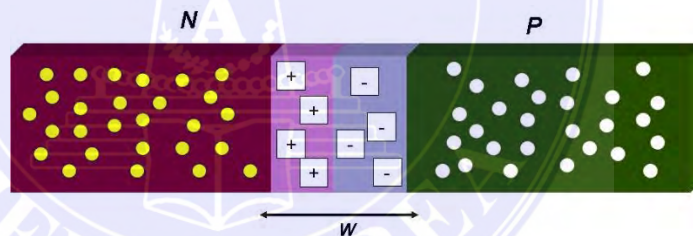
Gambar 2.4 Semikonduktor tipe P dan N sebelum disambung
(Sumber: <https://porgas.wordpress.com/2015/06/28/melihat-prinsip-kerja-sel-surya/> diunduh pada 11 Juli 2022)

Pada saat belum dihubungkan, semikonduktor p tetap diisi oleh atom bermuatan positif (*hole*) dan semikonduktor n tetap diisi oleh atom bermuatan negatif (elektron). Ketika kedua semikonduktor ini dihubungkan, elektron dari semikonduktor n berpindah menuju semikonduktor p dan hole dari semikonduktor p berpindah menuju semikonduktor n.



Gambar 2.5 Semikonduktor tipe P dan N ketika disambung
 (Sumber: <https://porgas.wordpress.com/2015/06/28/melihat-prinsip-kerja-sel-surya/> diunduh pada 11 Juli 2022)

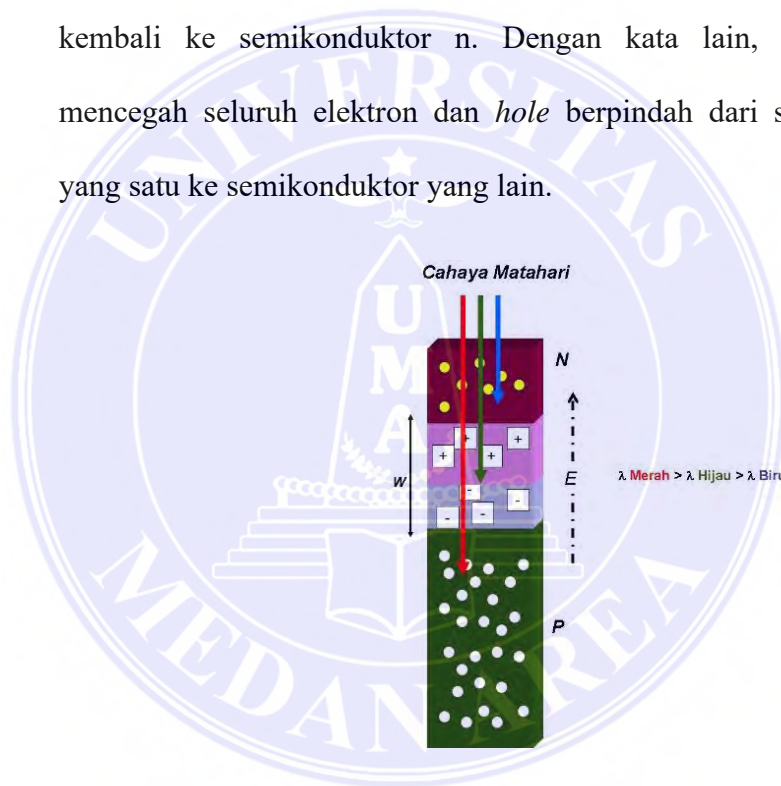
Elektron di semikonduktor n bersatu dengan hole pada semikonduktor p yang mengakibatkan jumlah hole pada semikonduktor p akan berkurang. Sehingga daerah ini menjadi lebih bermuatan positif. Dan pada saat yang sama, hole dari semikonduktor p akan bersatu dengan elektron pada semikonduktor n sehingga jumlah elektron di daerah ini berkurang dan menjadi lebih bermuatan positif.



Gambar 2.6 Penyatuan Elektron dan Hole Semikonduktor
 (Sumber: <https://porgas.wordpress.com/2015/06/28/melihat-prinsip-kerja-sel-surya/> diunduh pada 11 Juli 2022)

Daerah W ini disebut sebagai deplesi (*depletion region*). Elektron dan *hole* yang ada pada daerah deplesi disebut pembawa muatan minoritas (*minority charge carriers*) karena keberadaannya di jenis semikonduktor yang berbeda. Akibat dari perbedaan muatan positif dan negatif pada daerah deplesi, timbul medan listrik internal E dari sisi positif ke sisi negatif, yang mencoba menarik kembali *hole* ke

semikonduktor p dan elektron ke semikonduktor n. Medan listrik ini berlawanan dengan perpindahan *hole* maupun elektron pada awal terjadinya daerah deplesi. Medan listrik menyebabkan sambungan p-n seimbang, dimana jumlah *hole* yang berpindah dari semikonduktor p ke n dikompensasi dengan jumlah *hole* yang tertarik kembali ke arah semikonduktor p dan jumlah elektron yang berpindah dari semikonduktor n ke p dikompensasi dengan mengalirnya elektron kembali ke semikonduktor n. Dengan kata lain, medan listrik mencegah seluruh elektron dan *hole* berpindah dari semikonduktor yang satu ke semikonduktor yang lain.

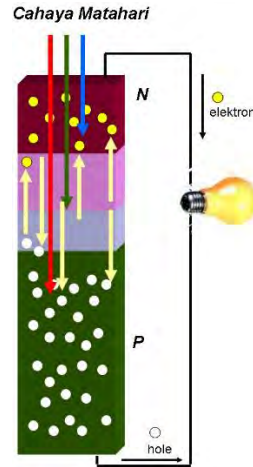


Gambar 2.7 Proses konversi cahaya matahari menjadi energi listrik

(Sumber: <https://porgas.wordpress.com/2015/06/28/melihat-prinsip-kerja-sel-surya/> diunduh pada 11 Juli 2022)

Pada sambungan p-n inilah cahaya matahari dikonversi menjadi energi listrik. semikonduktor n berada di lapisan atas sambungan p yang menghadap arah datangnya cahaya matahari. Semikonduktor n dibuat lebih tipis dari semikonduktor p agar cahaya matahari yang jatuh ke

permukaan sel surya dapat terus terserap dan masuk ke daerah deplesi dan semikonduktor p. Ketika sambungan p-n terkena cahaya matahari, elektron akan mendapat energi dari cahaya matahari untuk melepaskan dirinya dari semikonduktor n, daerah deplesi dan semikonduktor p. Elektron yang terlepas membentuk *hole* pada daerah yang ditinggalkan elektron yang disebut sebagai fotogenerasi elektron-*hole* yaitu terlepasnya elektron dan *hole* akibat cahaya matahari. Panjang gelombang matahari berbeda-beda sehingga fotogenerasi pada sambungan p-n berada pada sambungan p-n yang berbeda pula. Panjang gelombang spektrum merah cahaya matahari lebih panjang dan mampu menembus daerah deplesi sehingga dapat terserap di semikonduktor p dan menghasilkan proses fotogenerasi. Panjang gelombang spektrum biru lebih pendek sehingga hanya terserap di daerah semikonduktor n. Karena pada sambungan p-n terdapat medan listrik, elektro hasil fotogenerasi akan tertarik ke arah semikonduktor n. Begitu pula dengan *hole* yang tertarik ke arah semikonduktor p. Jika lampu kecil dihubungkan, lampu tersebut akan menyala karena dialiri arus listrik. Arus listrik ini timbul dari pergerakan elektron.



Gambar 2.8 Fotogenerasi elektron-hole
 (Sumber: <https://energisurya.files.wordpress.com/2008/07/pn-sel-surya-3.jpg> diunduh pada 11 Juli 2022)

2.4 Daya Listrik

Daya listrik merupakan besarnya energi listrik yang digunakan suatu rangkaian setiap satuan waktu. Daya dihasilkan dari perkalian tegangan dan arus yang mengalir. Secara sistematis, nilai daya dapat dihitung menggunakan persamaan berikut ini:

$$P = V \times I \quad (2.9)$$

Dimana:

P = Daya (Watt)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

Pada sistem kelistrikan 3 fasa atau sistem arus bolak balik (AC), terdapat 3 jenis daya yaitu daya aktif, daya reaktif, dan daya semu (Harahap, et al. 2021).

Daya aktif merupakan daya yang nyata terpakai atau diserap. Daya aktif adalah daya yang mengalir ke beban tanpa adanya arus balik ke sumber asalnya. Daya aktif memiliki satuan Watt (W). Berikut persamaan untuk menghitung daya aktif:

$$P = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos \phi \quad (2.10)$$

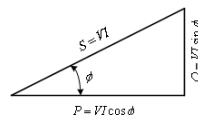
Daya reaktif adalah daya yang digunakan oleh beban induktif karena berperan menghasilkan medan magnet yang dibutuhkan beban induktif untuk bekerja. Daya reaktif merupakan daya rugi-rugi atau daya yang tidak diinginkan dan dihindari (Harahap, et al. 2021). Daya reaktif memiliki satuan Volt Ampere Reaktif (VAR). Berikut merupakan persamaan untuk menghitung daya reaktif:

$$Q = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \sin \phi \quad (2.11)$$

Daya semu merupakan daya sebenarnya yang dibangkitkan oleh generator. Daya semu adalah jumlah daya daya aktif dan daya reaktif. Daya semu memiliki satuan Volt Ampere (VA). Berikut merupakan persamaan untuk menghitung daya semu:

$$S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \quad (2.12)$$

Hubungan ketiga jenis daya ini dapat dilihat pada segitiga daya. Segitiga daya merupakan segitiga trigonometri sebagai gambaran matematis yang menghubungkan daya aktif, daya reaktif dan daya semu.



Gambar 2.9 Segitiga Daya

(Sumber: https://www.researchgate.net/figure/Gambar-1-Segitiga-Daya-1-Daya-Listrik-1-Phasa-Rumus-daya-listrik-1-phasa-dapat_fig1_328658302 diunduh pada 25 Juni 2023)

2.5 Homer Pro

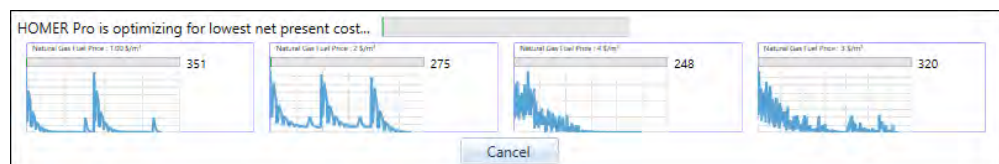
Homer Pro atau *Hybrid Optimization Model for Multiple Energy Resources* merupakan *software* yang didesain oleh Homer Energy untuk mengoptimalkan desain *microgrid* di segala sektor seperti pedesaan, antar pulau, dan lain-lain. *Software* homer dapat melakukan simulasi, optimalisasi dan analisis sensitifitas sistem sekaligus dalam satu *software*. Homer Pro dapat melakukan simulasi sistem yang layak untuk dikombinasikan seperti pembangkit listrik *hybrid*. Simulasi dapat dilakukan untuk jangka waktu bertahun-tahun.



Gambar 2.10 Tampilan *Software* Homer Pro

Sumber: <https://www.homerenergy.com/products/pro/index.html> diunduh pada 03 oktober 2022)

Homer Pro juga dapat mengidentifikasi biaya terendah untuk jaringan mikro atau sistem pembangkit listrik terdistribusi lainnya.



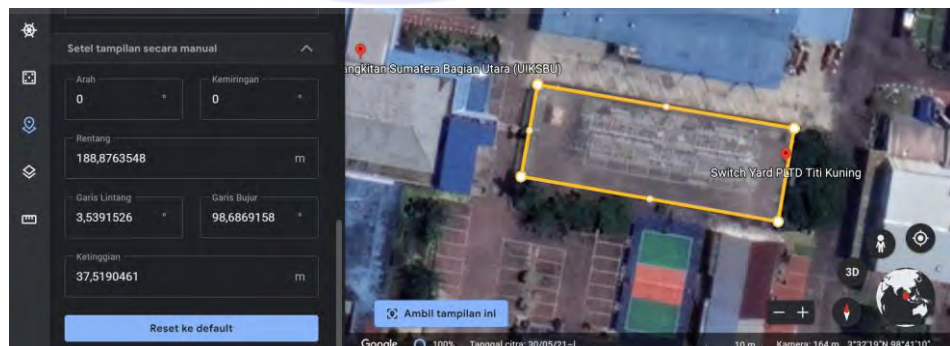
Gambar 2.11 Optimalisasi dan identifikasi biaya terendah sistem (Sumber: <https://www.homerenergy.com/products/pro/index.html> diunduh pada 03 Oktober 2022)

Homer mampu menganalisis sensitivitas banyak sistem sekaligus. Homer dapat mengetahui akibat dari perubahan parameter seperti kecepatan angin, biaya bahan bakar, dan aspek lainnya yang tidak dapat dikontrol oleh user.

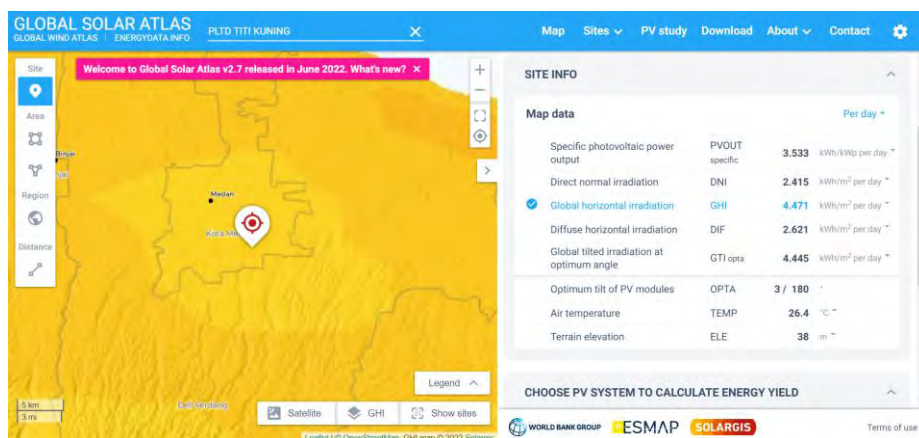
2.6 Persebaran Radiasi Matahari

Radiasi matahari sangat berpengaruh terhadap perhitungan energi listrik yang dihasilkan oleh sel surya. Setiap wilayah memiliki nilai intensitas cahaya matahari yang berbeda-beda. Nilai intensitas radiasi matahari dapat diperoleh dari *Global Solar Atlas*. Untuk mendapatkan hasil radiasi matahari yang tepat, diperlukan koordinat lokasi. Koordinat lokasi suatu wilayah dapat ditemukan di Google Maps.

Berdasarkan data yang didapatkan dari google earth, PLTD titi kuning terletak pada koordinat dengan nilai latitude (garis lintang) $3,5391526^\circ$, nilai longitude (garis bujur) $98,6869158^\circ$, dan nilai altitude $37,5190461^\circ$. Nilai titik koordinat ini yang kemudian akan digunakan untuk mencari nilai radiasi matahari di lokasi PLTD Titi Kuning. PLTD titi kuning terletak di kecamatan titi kuning.



Gambar 2.12 Koordinat PLTD Titi Kuning di Google Earth
(Sumber: [Google Earth](#) diunduh pada 18 Juli 2022)



Gambar 2.13 Radiasi Matahari di Wilayah Titi Kuning
(Sumber: <https://globalsolaratlas.info/map?c=3.5375,98.6879,11&m=site&s=3.5375,98.6879> diunduh pada 18 Juli 2022)

Berdasarkan data di atas, didapatkan nilai radiasi matahari di kecamatan titi kuning adalah 4.471 kWh/m² per hari. Angka ini menunjukkan bahwa titi kuning menerima 4.471 kWh energi untuk setiap 1 m² wilayahnya.

BAB III

METODE PENELITIAN

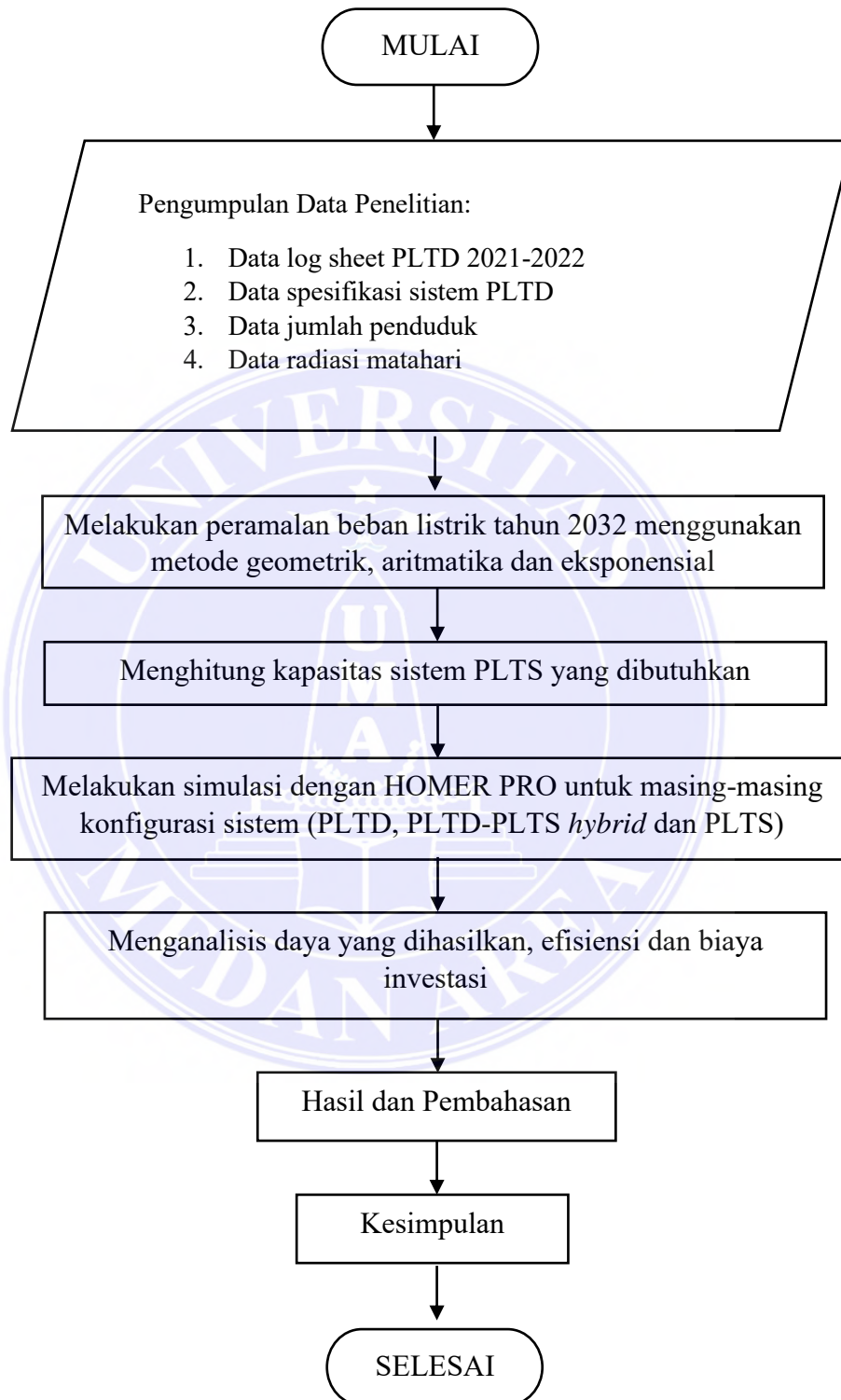
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Lokasi penelitian berada di Jl. Brigjen Katamso KM 5,5 Titi Kuning, Medan yaitu PLTD Titi Kuning Unit Layanan Pusat Listrik Titi Kuning. Adapun waktu pelaksanaan penelitian dan pengambilan data dimulai sejak 24-30 Januari 2023 setelah mendapat persetujuan dari PT PLN Nusantara Power UPDK Belawan.



Gambar 3.1 PLTD Titi Kuning
(Sumber: Dokumentasi Penulis)

3.2 Bagan Alir Penelitian



3.3 Metode Pengumpulan Data

3.3.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan adalah studi kasus. Studi kasus adalah penggalan permasalahan yang ada pada suatu objek yang akan diteliti.

3.3.2 Jenis Data

a. Data Primer

Data primer merupakan data yang dikumpulkan oleh peneliti dari sumber aslinya. Pada penelitian ini data didapatkan dari pihak PLTD Titi Kuning. Data yang dibutuhkan adalah data log sheet harian tahun 2021-2022 dan data spesifikasi sistem PLTD.

b. Data Sekunder

Data sekunder merupakan data yang dikumpulkan oleh peneliti dari jurnal, referensi penelitian, studi dokumen dan dokumentasi yang berkaitan dengan penelitian ini, seperti data statistik PLN 2014-2022.

3.3.3 Teknik Pengumpulan Data

a. Metode Dokumentasi

Pada penelitian ini, penulis memperoleh data berupa data operasional harian dan jumlah pelanggan melalui dokumen-dokumen yang ada.

b. Metode Wawancara

Pada penelitian ini, penulis melakukan pengamatan menggunakan pertanyaan kepada terwawancara. Adapun tujuannya adalah untuk mendapatkan data yang tidak ditemukan dengan metode dokumentasi.

3.4 Metode Analisis Data

Analisis data dilakukan untuk menyelesaikan rumusan-rumusan masalah yang terkait dengan penelitian. Adapun hal yang akan dianalisa adalah:

3.4.1 Peramalan Beban Listrik 2032

Peramalan beban listrik merupakan suatu teknik untuk memprediksi nilai kebutuhan listrik di masa yang akan datang. Peramalan beban listrik sangat penting dalam perencanaan pembangkit listrik. Pada penelitian skripsi ini peramalan beban listrik dilakukan dengan menggunakan 3 metode yaitu metode aritmatika, geometrik dan eksponensial. Persamaan yang digunakan metode aritmatika adalah sebagai berikut:

$$P_n = P_0 (1+r.n) \quad (3.1)$$

Adapun persamaan yang digunakan untuk metode geometrik adalah:

$$P_n = P_0(1+r)^n \quad (3.2)$$

Dan persamaan yang digunakan untuk metode eksponensial adalah:

$$P_n = P_0 \cdot e^{r.n} \quad (3.3)$$

Dimana,

P_n = Proyeksi data ke-n

P_0 = Data tahun awal

n = Proyeksi tahun ke-n

r = Rata-rata tingkat pertumbuhan data

e = Bilangan logaritma natural (e=2,72)

Dari 3 metode tersebut kemudian akan dipilih metode dengan nilai MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*) terkecil. MAPE adalah

metode pengukuran kesalahan atau error dalam peramalan data. Adapun persamaan yang digunakan untuk menghitung nilai MAPE adalah sebagai berikut:

$$MAPE = \sum_{t=1}^n \left| \frac{y_t - \hat{y}_t}{\hat{y}_t} \right| \times 100\% \quad (3.4)$$

Dimana,

MAPE = Mean absolute percentage error

n = jumlah data

y_t = nilai data aktual

\hat{y}_t = nilai data peramalan

Range nilai MAPE yang memenuhi kriteria baik adalah antara 0-50% seperti yang dinyatakan pada tabel berikut ini.

Tabel 1. Range Nilai MAPE dan Artinya
(Sumber: <https://www.khoiri.com/2020/12/pengertian-dan-cara-menghitung-mean-absolute-percentage-error-mape.html> diakses pada 27 Oktober 2023)

Range MAPE	Arti Nilai
<10%	Kemampuan model peramalan sangat baik
10-20%	Kemampuan model peramalan baik
20-50%	Kemampuan model peramalan layak
>50%	Kemampuan model peramalan buruk

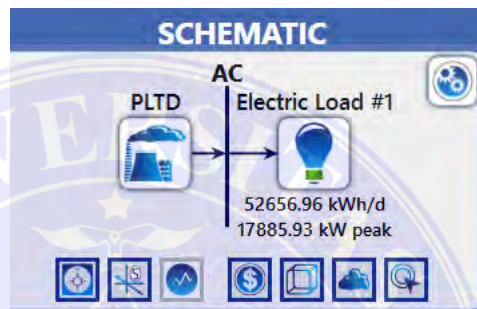
3.4.2 Perhitungan Kapasitas Sistem PLTS

Sebelum melakukan simulasi untuk konfigurasi sistem PLTD-PLTS *Hybrid* dan sistem PLTS, perlu dilakukan perhitungan terhadap kapasitas PLTS yang dibutuhkan berdasarkan hasil data peramalan beban dengan metode yang memiliki nilai MAPE terkecil. Adapun

bagian sistem yang perlu dihitung kapasitas nya adalah panel surya, baterai, dan inverter.

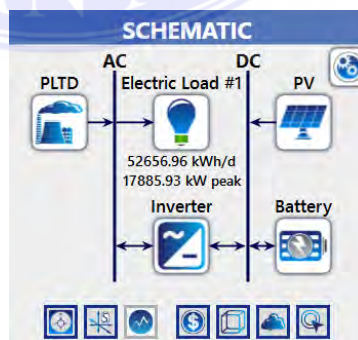
3.4.3 Simulasi Homer Pro

Pada penelitian ini dilakukan simulasi dengan 3 konfigurasi sistem pembangkit listrik yaitu, konfigurasi sistem PLTD, PLTD-PLTS *hybrid* dan PLTS.



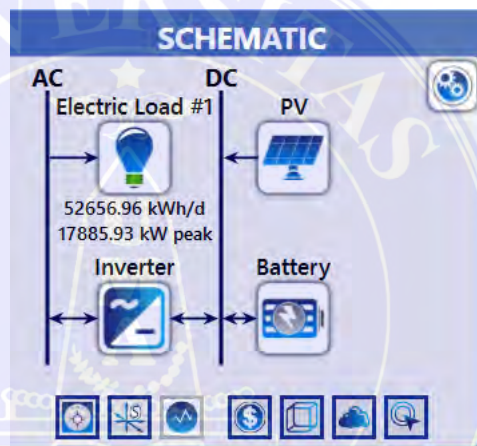
Gambar 3.2 Skema sistem PLTD pada software Homer Pro
(Sumber: Dokumentasi Penulis)

Pada gambar 3.2 ditunjukkan bagaimana skema beban yang dilayani 100% PLTD. Listrik yang diperlukan oleh beban diproduksi oleh generator diesel.



Gambar 3.3 Skema sistem PLTD-PLTS *hybrid*
pada software Homer PRO
(Sumber: Dokumentasi Penulis)

Pada gambar 3.3 ditunjukkan skema pembangkit listrik *hybrid* antara PLTD dan PLTS. Pada sistem *hybrid*, daya listrik yang diperlukan oleh konsumen (beban) diproduksi oleh 2 jenis pembangkit yaitu PLTD dan PLTS. Daya listrik dari PLTS yang berlebih kemudian digunakan untuk mengisi baterai. Daya yang tersimpan pada baterai akan digunakan untuk mensuplai kebutuhan beban jika terjadi kendala atau pemadaman listrik.



Gambar 3.4 Skema sistem PLTS pada software Homer PRO
(Sumber: Dokumentasi Penulis)

Pada gambar 3.4 ditunjukkan bahwa daya listrik yang dibutuhkan oleh konsumen (beban) dihasilkan sepenuhnya oleh PLTS. Panel surya akan mengubah panas matahari yang diterima menjadi energi listrik. Sebelum dialirkan ke konsumen, energi listrik harus melewati inverter untuk mengubah arus searah menjadi arus bolak-balik. energi listrik yang berlebih kemudian akan disimpan di baterai.

Berdasarkan konfigurasi ini, kemudian dilakukan simulasi untuk melakukan analisis perbandingan daya listrik yang dihasilkan oleh masing-masing sistem beserta aspek biayanya.

3.4.4 Aspek Ekonomi

Adapun aspek ekonomi yang akan dianalisa pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. Biaya Investasi Awal (*Capital Cost*)

Biaya investasi awal merupakan biaya yang diperlukan untuk pembelian peralatan sistem pembangkit listrik sebelum proyek dilaksanakan.

b. Biaya Pemeliharaan dan Operasional (*Operation & Maintenance*)

Biaya ini merupakan biaya yang diperlukan untuk operasional rutin sistem pembangkit listrik yang bergantung pada jenis dan kapasitas teknologi yang digunakan.

c. Biaya Energi (*Cost of Energy*)

Merupakan biaya produksi energi per kWh yang digunakan sebagai parameter apakah sistem pembangkit listrik yang digunakan sudah menguntungkan atau malah sebaliknya.

d. Biaya Penggunaan Bahan Bakar (*Fuel Cost*)

Biaya yang dibutuhkan untuk pembelian bahan bakar. Biaya ini hanya dibutuhkan oleh generator karena menggunakan bahan bakar minyak (BBM).

e. *Net Present Cost* (NPC)

Net present cost merupakan selisih antara nilai pemasukan dan keluaran selama periode tertentu. NPC merupakan parameter yang dipakai untuk mengetahui potensi keuntungan suatu proyek yang akan dilaksanakan. Semakin rendah nilai NPC maka semakin menguntungkan proyek yang dilaksanakan. (Matius Sau, 2017).

Semua aspek ekonomi ini akan dihitung menggunakan aplikasi HOMER PRO berdasarkan nilai mata uang dunia pada saat ini dan tidak membutuhkan data pembiayaan dari PT PLN Nusantara Power atau perhitungan manual.

3.5 Data Penelitian

Adapun data-data penelitian ini diperoleh dari Unit Layanan Pusat Listrik Titi Kuning adalah sebagai berikut:

3.5.1 Data Spesifikasi Generator

Pada PLTD Titi Kuning terdapat 6 generator yang terpasang namun hanya 5 generator yang beroperasi dikarenakan generator 1 mengalami kerusakan dan tidak digunakan lagi. Masing-masing generator memiliki kapasitas 5,176.2 KVa atau 4,140.96 KWh dan kapasitas total PLTD Titi Kuning adalah 4.1 MW.



Gambar 3.5 Generator di PLTD titi kuning

(Sumber: Dokumentasi Penulis)

Tabel 2. Data spesifikasi generator 1, 2 dan 3

(Sumber: Unit Layanan Pusat Listrik Titi Kuning)

Parameter	Generator 1	Generator 2	Generator 3
Merk	Ideal Electric	Ideal Electric	Ideal Electric
Buatan	USA	USA	USA
Type	SAB	SAB	SAB
Generator No./Fabric No	-	-	-
Serial No.	MFG: 291031	MFG: 291032	MFG: 29103
Speed	429 RPM	429 RPM	429 RPM
Power/Voltage	5176.2 KVA/7KV	5176.2 KVA/7KV	5176.2 KVA/7KV
Phase/Frequency	3/50 HZ	3/50 HZ	3/50 HZ
Current	427 A	427 A	427 A
Power Factor	0.8	0.8	0.8
Cooling System	AIR	AIR	AIR
Insulation Class	B	B	B
Grounding System	-	-	-
Year of Manufacture	1974	1974	1974
Year of Operation	14 OKT, 1976	14 OKT, 1976	14 OKT, 1976
Exciting Volt	-	-	-
Exciting Ampere	-	-	-

Tabel 3. Data spesifikasi generator 4, 5, dan 6

(Sumber: Unit Layanan Pusat Listrik Titi Kuning)

Parameter	Generator 4	Generator 5	Generator 6
Merk	Ideal Electric	Ideal Electric	Ideal Electric
Buatan	USA	USA	USA
Type	SAB	SAB	SAB
Generator No./Fabric No	-	-	-

Serial No.	MFG: 291031	MFG: 291032	MFG: 29103
Speed	429 RPM	429 RPM	429 RPM
Power/Voltage	5176.2 KVA/7KV	5176.2 KVA/7KV	5176.2 KVA/7KV
Phase/Frequency	3/50 HZ	3/50 HZ	3/50 HZ
Current	427 A	427 A	427 A
Power Factor	0.8	0.8	0.8
Cooling System	AIR	AIR	AIR
Insulation Class	B	B	B
Grounding System	-	-	-
Year of Manufacture	1974	1974	1974
Year of Operation	14 OKT, 1976	14 OKT, 1976	14 OKT, 1976
Exciting Volt	-	-	-
Exciting Ampere	-	-	-

3.5.2 Data Radiasi Matahari Harian Kota Medan

Berikut ini merupakan data radiasi matahari harian untuk wilayah titi kuning, kota medan. Data ini diperoleh dari *NASA Surface Meteorology and Solar Energi Database* berdasarkan titik koordinat lokasi PLTD Titi Kuning.

Tabel 4. Data radiasi matahari harian kec. titi kuning
(Sumber: *NASA Surface Meteorology and Solar Energi Database*)

Bulan	Radiasi Harian (KWh/m ² /hari)
Januari	4.49
Februari	4.99
Maret	5.02
April	4.87
Mei	4.77
Juni	4.71
Juli	4.56
Agustus	4.52
September	4.27
Oktober	4.28
November	4.08
Desember	4.13

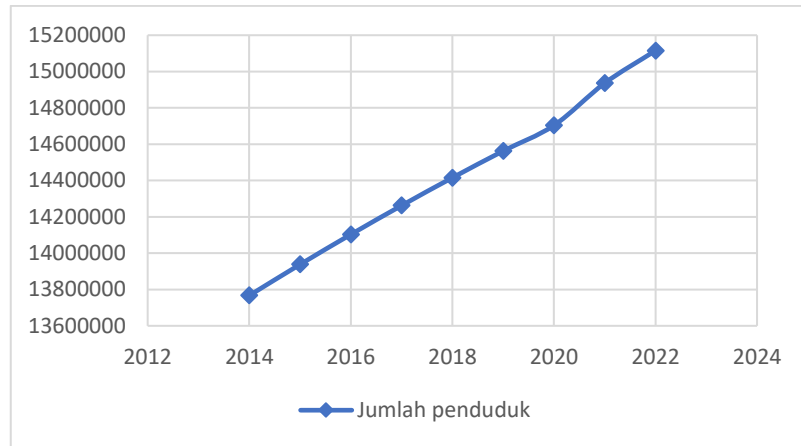
Berdasarkan tabel di atas diperoleh rata-rata radiasi matahari harian untuk wilayah titi kuning adalah 4.56 KWh/m²/hari. Radiasi matahari harian tertinggi terjadi di bulan Maret sebesar 5.02 KWh/m²/hari dan radiasi matahari harian terendah di bulan November sebesar 4.08 KWh/m²/hari.

3.5.3 Data Jumlah Penduduk Sumatera Utara

Berikut ini merupakan data jumlah penduduk Provinsi Sumatera Utara tahun 2014-2022

Tabel 5. Jumlah penduduk Sumatera Utara 2014-2022
(Sumber: Badan Pusat Statistik Sumatera Utara)

Tahun	Perempuan	Laki-laki	Jumlah
2014	6.898.264	6.868.587	13.766.851
2015	6.983.245	6.954.552	13.937.797
2016	7.065.585	7.037.326	14.102.911
2017	7.145.251	7.116.896	14.262.147
2018	7.222.191	7.193.200	14.415.391
2019	7.296.342	7.266.207	14.562.549
2020	7.367.650	7.335.882	14.703.532
2021	7.443.175	7.492.973	14.936.148
2022	7.530.213	7.584.993	15.115.206



Gambar 3.6 Grafik pertumbuhan jumlah penduduk Sumatera Utara (Sumber: Dokumentasi Penulis)

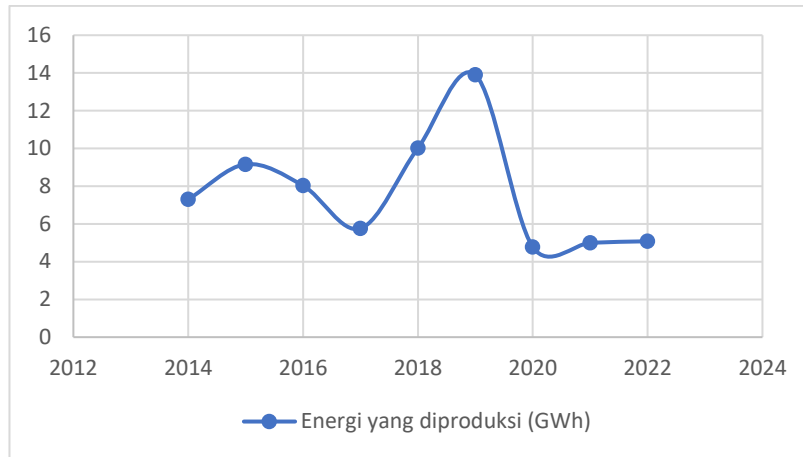
Berdasarkan grafik di atas, dapat disimpulkan bahwa pertumbuhan penduduk di Sumatera Utara mengalami kenaikan setiap tahunnya.

3.5.4 Data Jumlah Energi Listrik Yang Diproduksi PLTD di Sumatera Utara

Berikut ini merupakan data jumlah energi listrik yang diproduksi PLTD di Sumatera Utara tahun 2014-2022. Data tersebut diambil dari statistik PLN tahun 2014-2022.

Tabel 6. Energi yang diproduksi PLTD wilayah Sumatera Utara tahun 2014-2022 (Sumber: Statistik PLN 2014-2022)

Tahun	Daya (GWh)
2014	7.3
2015	9.16
2016	8.03
2017	5.76
2018	10.02
2019	13.9
2020	4.78
2021	5
2022	5.08



Gambar 3.7 Grafik energi yang diproduksi PLTD Sumatera Utara tahun 2014-2022

(Sumber: Dokumentasi Penulis)

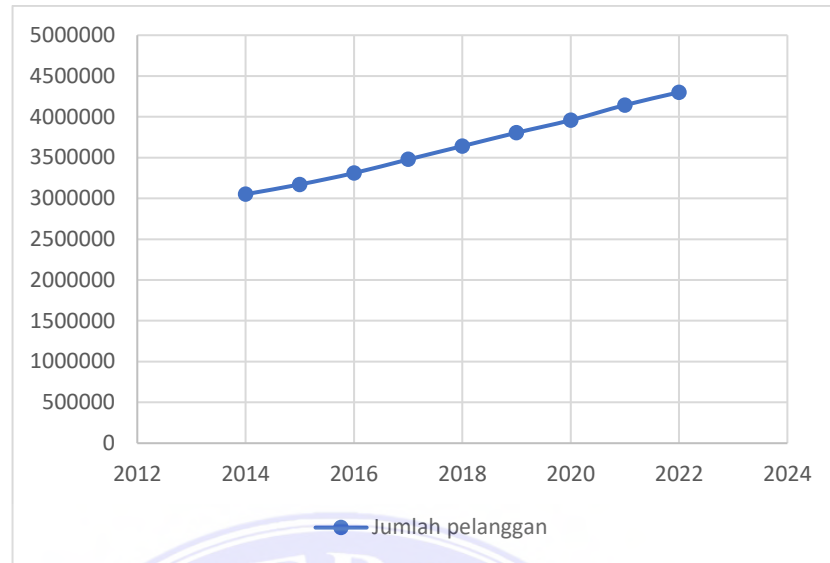
Berdasarkan grafik di atas dapat disimpulkan bahwa energi listrik yang dihasilkan PLTD di Sumatera Utara tahun 2014-2022 mengalami kenaikan dan penurunan yang fluktuatif. Energi listrik terbesar dihasilkan pada tahun 2019 yaitu sebesar 13.9 GWh.

3.5.5 Data Jumlah Pelanggan Sumatera Utara

Berikut ini merupakan data jumlah pelanggan di wilayah Sumatera Utara tahun 2014-2022 berdasarkan statistik PLN 2014-2022.

Tabel 7. Jumlah pelanggan listrik wilayah Sumatera Utara 2014-2022 (Sumber: Statistika PLN 2014-2022)

Tahun	Jumlah Pelanggan
2014	3.051.822
2015	3.171.291
2016	3.310.595
2017	3.477.477
2018	3.640.847
2019	3.805.113
2020	3.958.766
2021	4.143.555
2022	4.300.716



Gambar 3.8 Grafik pertumbuhan pelanggan listrik Sumatera Utara 2014-2022
(Sumber: Dokumentasi Penulis)

Berdasarkan grafik di atas, jumlah pelanggan listrik di wilayah Sumatera Utara mengalami kenaikan setiap tahunnya.

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Adapun simpulan yang didapatkan melalui penelitian skripsi ini adalah:

1. Pada tahun 2032 PLTD tetap mampu memenuhi kebutuhan beban listrik walaupun menggunakan kapasitas generator yang sama dengan kapasitas generator di tahun 2022.
2. Pembangkit listrik *hybrid* (PLTD-PLTS) mungkin untuk dilakukan. Namun berdasarkan hasil simulasi pada software HOMER PRO, PLTS lebih banyak menyuplai beban listrik dibandingkan Generator diesel.
3. PLTS mampu untuk memenuhi kebutuhan beban listrik pada tahun 2032.
4. Biaya investasi awal (*capital cost*) tertinggi adalah pada sistem PLTD-PLTS hybrid sebesar Rp 4,129,155,113 dan terendah adalah PLTD yaitu Rp 221.543.500. Biaya Operational & maintenance tertinggi adalah PLTD-PLTS Hybrid yaitu Rp 46.889.803 dan terendah adalah PLTD 2022 yaitu 2.652.910. Biaya bahan bakar tertinggi adalah PLTD yaitu sebesar Rp 353.540.802.803 dan biaya terendah adalah PLTS yaitu Rp 0.
5. Pembangkit listrik yang lebih efisien adalah PLTS. Nilai *Net Present Cost* (NPC) PLTS jauh lebih kecil yaitu Rp 1,098,000,000 dibandingkan PLTD sebesar Rp 354,000,000,000. Nilai *Cost of Energy* (COE) PLTS juga lebih kecil yaitu senilai Rp 10,81 dibanding PLTD yang bernilai Rp 1.845

5.2 Saran

1. Pada penelitian selanjutnya disarankan menggunakan metode peramalan beban lainnya yang memiliki nilai MAPE 0-20% agar hasil peramalan sangat akurat.
2. Peneliti selanjutnya disarankan untuk meramalkan nilai suku bunga dan rate inflasi berdasarkan data tahun sebelumnya untuk mendapatkan hasil rincian aspek ekonomi yang lebih mendekati akurat.



DAFTAR PUSTAKA

- Aditya, R. dan Mado, I. 2022. Analisis pembagian beban generator unit PLTS desa tana merah kabupaten tana tidung provinsi kalimantan utara. Prosiding seminar nasional teknik elektro dan informatika. Makassar. 387-392.
- Afandi, A.N.. 2005. *Sistem tenaga listrik operasi sistem & pengendalian*. Malang:Teknik Elektro Universitas Negeri Malang.
- Afif, F. dan Martin, A. 2022. Tinjauan potensi dan kebijakan energi surya di indonesia. Jurnal engine: energi, manufaktur dan material 6:43-52.
- Akbar, A.W., Hiron, N. dan Nadrotan, N. 2019. Perencanaan sistem pembangkit listrik dengan sumber energi terbarukan (HOMER) di daerah pesisir pantai pangandaran. Journal of energy and electrical engineering (JEE) 01:12-18.
- Anonim. (2022). Perbedaan energi baru dan energi terbarukan. Forest Digest. diakses pada 28 September 2022 dari <https://www.forestdigest.com/detail/1880/energi-baru-energi-terbarukan>
- Anonim. (2022). 273 juta penduduk indonesia terupdate versi kemendagri. Kementerian perdagangan dalam negeri. diakses pada 27 September 2022 dari <https://dukcapil.kemendagri.go.id/berita/baca/1032/273-juta-penduduk-indonesia-terupdate-versi-kemendagri>
- Arief, M. (2018). Mengenal Prinsip Kerja PLTD Dalam [https://primatekniksystem.com/artikel/mengenal-prinsip-kerja-pltd#:~:text=Prinsip%20kerja%20pembangkit%20listrik%20tenaga,dipomakan%20ke%20nozzle%20\(pengabut\)](https://primatekniksystem.com/artikel/mengenal-prinsip-kerja-pltd#:~:text=Prinsip%20kerja%20pembangkit%20listrik%20tenaga,dipomakan%20ke%20nozzle%20(pengabut)) 01 Oktober 2022.
- Dewan Perwakilan Rakyat (DPR) Indonesia. 2022. Pasal 1 rancangan undang-undang (RUU) energi baru dan terbarukan (EBT).

- Efendi, S.R., Lubis, A.C.B., Satria, H. dan Hermawan, I. 2022. Optimalisasi sistem teknologi hybrid pada rancangan pv-grid-battery untuk kebutuhan skala rumah tangga. *Journal of electrical and electronics* 10:1-6.
- Hakimah, Y. 2019. Analisis kebutuhan energi listrik dan prediksi penambahan pembangkit listrik di Sumatera Selatan. *Jurnal desiminasi teknologi* 7:130-137.
- Harahap, M., Nugraha, Y.T., Adam, M. dan Nasution, M.S. 2021. Pengaruh perubahan variasi eksitasi tegangan terhadap daya reaktif pada generator. *RELE (Rekayasa elektrikal dan energi): jurnal teknik elektro* 3:71-76
- Humas EBTKE. (2008). Potensi energi baru terbarukan (EBT) Indonesia. Kementerian energi dan sumber daya mineral. diakses pada 15 Juni 2022 dari <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/potensi-energi-baru-terbarukan-ebt-indonesia>
- Humas EBTKE. (2020). Menteri Arifin: transisi energi mutlak diperlukan. Kementerian energi dan sumber daya mineral. Diakses pada 15 Juni 2022 dari <https://ebtke.esdm.go.id/post/2020/10/22/2667/menteri.arifin.transisi.energi.mutlak.diperlukan?lang=en>.
- Ilintamon, A., Pakiding, M. dan Tumailang, H. 2019. Analisis unjuk kerja sistem produksi listrik pada pembangkit listrik tenaga diesel waena. *Jurnal teknik elektro dan komputer* 8:133-142.
- Nugraha, I.M.A., Desnanjaya, I.G.M.N., Serihollo, L.G.G., dan Siregar, J.S.M. 2020. Perancangan sistem hibrid PLTS dan generator sebagai catu daya tambahan pada tambak udang vaname: studi kasus politeknik kelautan dan perikanan kupang. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro* 19:121-125.
- Priatam, P.P.T.D., Zambak, M.F., Suwarno. dan, Harahap, P. 2021. Analisa radiasi sinar matahari terhadap panel surya 50 WP. *RELE (Rekayasa elektrikal dan energi): jurnal teknik elektro* 4:48-54.
- Rumbayan, M. Tanpa Tahun. *Energi surya sebagai energi alternatif yang terbarukan*. Malang: Ahlimedia Press.

Satria, H. 2020. Pengukuran parameter sistem PV power plant tersambung pada jaringan tenaga listrik berdasarkan real time clock. Jurnal ilmiah setrum 9:81-89.

Satria, H., dan Syafii. 2018. Sistem monitoring online dan analisa performansi PLTS rooftop terhubung ke grid PLN. Jurnal rekayasa elektrika 14:136-144.

Setiawan, B. 2015. Teknik hitung manual analisis regresi linear berganda dua variabel bebas. Bogor.

Siregar, M.F., Kusuma, B.S., dan Ginting, Z. 2023. Pemanfaatan energi matahari menjadi energi listrik kapasitas 1300 Watt untuk beban rumah tangga di kota medan. SEMNASTEK UISU 172-176.

Silitonga, A.S. dan Ibrahim, H. 2020. *Buku ajar energi baru & terbarukan*. Yogyakarta:DEEPUBLISH

Suyuti, A., Mayasari, F. dan Pratama, A. 2022. Study on the development of the kodingareng island electricity system hybrid PLTD with PLTS using the HOMER Software. Jurnal EKSITASI 1:1-6.

The Watted Committee On Energy. (2003). *Renewable Energy Resources*. England: Elsevier Science Publisher LTD.

Lampiran I : Spesifikasi Generator

BAGIAN-BAGIAN	NOMOR MESIN					
	ENTERPRISE #1	ENTERPRISE #2	ENTERPRISE #3	ENTERPRISE #4	ENTERPRISE #5	ENTERPRISE #6
MESIN						
NAMA MESIN	ENTERPRISE	ENTERPRISE	ENTERPRISE	ENTERPRISE	ENTERPRISE	ENTERPRISE
BUATAN	DELAVAL USA	DELAVAL USA	DELAVAL USA	DELAVAL USA	DELAVAL USA	DELAVAL USA
TYPE	DSRV 12 - 4	DSRV 12 - 4	DSRV 12 - 4	DSRV 12 - 4	DSRV 12 - 4	DSRV 12 - 4
ENGINE NO/FABRIC NO.	-	-	-	-	-	-
SERIAL NO.	74004 - 2597	74005 - 2598	74006 - 2598	74007 - 2600	74008 - 2601	74009 - 2602
HAND	RIGHT	RIGHT	RIGHT	RIGHT	RIGHT	RIGHT
JUMLAH CYLINDER	12 / V - TYPE	12 / V - TYPE	12 / V - TYPE	12 / V - TYPE	12 / V - TYPE	12 / V - TYPE
BORE	17 INCH	17 INCH	17 INCH	17 INCH	17 INCH	17 INCH
STROKE	21 INCH	21 INCH	21 INCH	21 INCH	21 INCH	21 INCH
COMPRESSION RATIO	-	-	-	-	-	-
COMPRESSION PRESS.	-	-	-	-	-	-
BRAKE MEAN EFFECTIVE PRESS	185 PSI	185 PSI	185 PSI	185 PSI	185 PSI	185 PSI
CYCLE	4	4	4	4	4	4
SPEED	429 RPM	429 RPM	429 RPM	429 RPM	429 RPM	429 RPM
POWER	5732 HP	5732 HP	5732 HP	5732 HP	5732 HP	5732 HP
FIRING ORDER	1L-6R-2L-5R-4L-3R 6L-1R-5L-2R-3L-4R	1L-6R-2L-5R-4L-3R 6L-1R-5L-2R-3L-4R	1L-6R-2L-5R-4L-3R 6L-1R-5L-2R-3L-4R	1L-6R-2L-5R-4L-3R 6L-1R-5L-2R-3L-4R	1L-6R-2L-5R-4L-3R 6L-1R-5L-2R-3L-4R	1L-6R-2L-5R-4L-3R 6L-1R-5L-2R-3L-4R
VALVE TIMING :						
INLET VALVE OPEN	75° B. TDC	75° B. TDC	75° B. TDC	75° B. TDC	75° B. TDC	75° B. TDC
CLOSE	25° A. BDC	25° A. BDC	25° A. BDC	25° A. BDC	25° A. BDC	25° A. BDC
EXHAUST VALVE OPEN	50° B. BDC	50° B. BDC	50° B. BDC	50° B. BDC	50° B. BDC	50° B. BDC
CLOSE	50° A. TDC	50° A. TDC	50° A. TDC	50° A. TDC	50° A. TDC	50° A. TDC
FUEL OIL	HSD	HSD	HSD	HSD	HSD	HSD
LUBRICATING OIL	ARGINA S 40/SHELL	ARGINA S 40/SHELL	ARGINA S 40/SHELL	ARGINA S 40/SHELL	ARGINA S 40/SHELL	ARGINA S 40/SHELL
EXHAUST TEMPERATURE	390.5°C TA 19,7°C	390.5°C TA 19,7°C	390.5°C TA 19,7°C	390.5°C TA 19,7°C	390.5°C TA 19,7°C	390.5°C TA 19,7°C
YEAR OF MANUFACTURE	1974	1974	1974	1974	1974	1974
YEAR OF OPERATION	14 OKT. 1976	14 OKT. 1976	14 OKT. 1976	14 OKT. 1976	14 OKT. 1976	14 OKT. 1976
GOVERNOR OIL	ROTELLA 30	ROTELLA 30	ROTELLA 30	ROTELLA 30	ROTELLA 30	ROTELLA 30
GENERATOR						
MERK GENERATOR	IDEAL ELECTRIC	IDEAL ELECTRIC	IDEAL ELECTRIC	IDEAL ELECTRIC	IDEAL ELECTRIC	IDEAL ELECTRIC
BUATAN	U S A	U S A	U S A	U S A	U S A	U S A
TYPE	S A B	S A B	S A B	S A B	S A B	S A B
GENERATOR NO/FABRIC NO.	-	-	-	-	-	-
SERIAL NO.	MFG : 291031	MFG : 291032	MFG : 291033	MFG : 291034	MFG : 291035	MFG : 291036
SPEED	429 RPM	429 RPM	429 RPM	429 RPM	429 RPM	429 RPM
POWER/VOLTAGE	5176.2 KVA / 7 KV	5176.2 KVA / 7 KV	5176.2 KVA / 7 KV	5176.2 KVA / 7 KV	5176.2 KVA / 7 KV	5176.2 KVA / 7 KV
PHASE/FREQUENCY	3 / 50 HZ	3 / 50 HZ	3 / 50 HZ	3 / 50 HZ	3 / 50 HZ	3 / 50 HZ
CURRENT	427 A	427 A	427 A	427 A	427 A	427 A
POWER FACTOR	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
COOLING SYSTEM	AIR	AIR	AIR	AIR	AIR	AIR
INSULATION CLASS	B	B	B	B	B	B
GROUNDING SYSTEM	-	-	-	-	-	-
YEAR OF MANUFACTURE	1974	1974	1974	1974	1974	1974
YEAR OF OPERATION	14 OKT. 1976	14 OKT. 1976	14 OKT. 1976	14 OKT. 1976	14 OKT. 1976	14 OKT. 1976
EXCITING VOLT	-	-	-	-	-	-
EXCITING AMPERE	-	-	-	-	-	-
EXCITER						
MERK EXCITER	IDEAL ELECTRIC	IDEAL ELECTRIC	IDEAL ELECTRIC	IDEAL ELECTRIC	IDEAL ELECTRIC	IDEAL ELECTRIC
BUATAN	U S A	U S A	U S A	U S A	U S A	U S A
TYPE	F R B A	F R B A	F R B A	F R B A	F R B A	F R B A
EXCITER NO. / FABRIK NO.	-	-	-	-	-	-
SERIAL NO.	291037	291038	291039	291040	291041	291042
SPEED	429 RPM	429 RPM	429 RPM	429 RPM	429 RPM	429 RPM
POWER	40 KW	40 KW	40 KW	40 KW	40 KW	40 KW
VOLTAGE	250 VDC	250 VDC	250 VDC	250 VDC	250 VDC	250 VDC
PHASE/FREQUENCY	3 / 50 HZ	3 / 50 HZ	3 / 50 HZ	3 / 50 HZ	3 / 50 HZ	3 / 50 HZ
CURRENT	160 A	160 A	160 A	160 A	160 A	160 A
INSULATION CLASS	B	B	B	B	B	B
YEAR OF MANUFACTURE	1974	1974	1974	1974	1974	1974
YEAR OF OPERATION	14 OKT. 1976	14 OKT. 1976	14 OKT. 1976	14 OKT. 1976	14 OKT. 1976	14 OKT. 1976

Cat: Fuel Timing = MR 21°/LR° 23 BTDC
Deflection LR 20° = 0

Lampiran II: Data Jumlah Energi Listrik yang diproduksi PLTD Sumut 2014-2022

Data Tahunan 2014

Tabel 23 : Energi yang Diproduksi (GWh)

Satuan PLN/Provinsi	Produksi Sendiri							
	PLTA	PLTU	PLTG	PLTGU	PLTP	PLTD*)	PLTMG	PLT Surya
Wilayah Aceh	3,13	-	-	-	-	83,51	-	-
Wilayah Sumatera Utara	-	-	-	-	-	7,43	-	-

Annual Data 2015

Table 23 : Energy Production by Type of Power Plant (GWh)

PLN Operational Unit/ Province	Own Generated							
	Hydro	Steam	Gas Turbine	Combined Cycle	Geothermal	Diesel	Diesel Gas	Solar
Region of Aceh	9.14	-	-	-	-	72.95	-	-
Region of North Sumatera	-	-	-	-	-	9.16	-	-

Data Tahunan 2016

Tabel 23 : Energi yang Diproduksi (GWh)

Satuan PLN/Provinsi	Produksi Sendiri							
	PLTA	PLTU	PLTG	PLTGU	PLTP	PLTD	PLTMG	PLT Surya
Wilayah Aceh	6,78	-	-	-	-	142,79	-	-
Wilayah Sumatera Utara	-	-	-	-	-	8,03	-	-

Annual Data 2017

Table 23 : Energy Production by Type of Power Plant (GWh)

PLN Operational Unit/ Province	Own Generated								
	Hydro	Steam	Gas Turbine	Combined Cycle	Geothermal	Diesel	Diesel Gas	Solar	Wind
Region of Aceh	8.36	-	-	-	-	134.09	-	-	-
Region of North Sumatera	-	-	-	-	-	5.76	-	-	-

Data Tahunan 2018

Tabel 23 : Energi yang Diproduksi (GWh)

Satuan PLN/Provinsi	Produksi Sendiri								
	PLTA	PLTU	PLTG	PLTGU	PLTP	PLTD*)	PLTMG	PLT Surya	PLT Bayu
Wilayah Aceh	7,67	-	-	-	-	165,43	-	-	-
Wilayah Sumatera Utara	-	-	-	-	-	10,02	-	-	-

Data Tahunan 2019

Tabel 23 : Energi yang Diproduksi (GWh)

Satuan PLN/Provinsi	Produksi Sendiri									
	PLTA	PLTU	PLTG	PLTGU	PLTP	PLTD	PLTMG	PLTS	PLTB	PLTBM
UIW Aceh	5,87	-	-	-	-	158,89	-	-	-	-
UIW Sumatera Utara	-	-	-	-	-	13,90	-	-	-	-

Data Tahunan 2020

Tabel 23 : Energi yang Diproduksi (GWh)

Satuan PLN/Provinsi	Produksi Sendiri									
	PLTA	PLTU	PLTG	PLTGU	PLTP	PLTD	PLTMG	PLTS	PLTB	PLTBM
UIW Aceh	7,93	-	-	-	-	146,50	-	-	-	-
UIW Sumatera Utara	-	-	-	-	-	4,78	-	-	-	-

Data Tahunan 2021

Tabel 23 : Energi yang Diproduksi Per Jenis Pembangkit (GWh)

Satuan PLN/Provinsi	Produksi Sendiri									
	PLTA	PLTM	PLTMH	PLTU	PLTG	PLTGU	PLTP	PLTD	PLTMG	PLT Surya
UIW Aceh	-	-	6,44	-	-	-	-	-	136,39	-
UIW Sumatera Utara	-	-	-	-	-	-	-	-	5,00	-

Data Tahunan 2022

Tabel 23 : Energi yang Diproduksi Per Jenis Pembangkit (GWh)

Satuan PLN/Provinsi	Produksi Sendiri									
	PLTA	PLTM	PLTMH	PLTU	PLTG	PLTGU	PLTP	PLTD	PLTMG	PLT Surya
UIW Aceh	-	-	3,53	-	-	-	-	-	128,89	-
UIW Sumatera Utara	-	-	-	-	-	-	-	-	5,08	-

Lampiran III: Data Jumlah Pelanggan Listrik Berdasarkan Statistik PLN 2014-2022

Tabel 4 : Jumlah Pelanggan per Jenis Pelanggan

2014

Satuan PLN/Provinsi	Rumah Tangga	Industri	Bisnis	Sosial	Gdg. Kantor Pemerintah	Penerangan Jalan Umum	Jumlah	(%)
Wilayah Aceh	1.067.703	1.441	76.605	33.473	6.470	1.207	1.186.899	2,06
Wilayah Sumatera Utara	2.863.592	3.698	106.876	55.721	7.437	14.498	3.051.822	5,31

Table 4 : Number of Customers by Type of Customers

2015

PLN Operational Unit/ Province	Residential	Industrial	Business	Social	Gov. Office Building	Publ. Street Lighting	Total	(%)
Region of Aceh	1,117,644	1,884	81,964	35,575	7,224	1,353	1,245,644	2,04
Region of North Sumatera	2,975,872	3,724	111,302	57,716	7,836	14,841	3,171,291	5,18

Tabel 4 : Jumlah Pelanggan per Jenis Pelanggan

2016

Satuan PLN/Provinsi	Rumah Tangga	Industri	Bisnis	Sosial	Gdg. Kantor Pemerintah	Penerangan Jalan Umum	Jumlah	(%)
Wilayah Aceh	1.157.061	2.213	89.368	37.917	8.295	1.448	1.296.302	2,02
Wilayah Sumatera Utara	3.098.909	3.867	123.284	60.699	8.498	15.338	3.310.595	5,15

Table 4 : Number of Customers by Type of Customers

2017

PLN Operational Unit/ Province	Residential	Industrial	Business	Social	Gov. Office Building	Publ. Street Lighting	Total	(%)
Region of Aceh	1,200,091	2,669	104,385	41,172	9,165	1,650	1,359,132	2,00
Region of North Sumatera	3,251,410	4,031	132,701	64,294	9,223	15,818	3,477,477	5,11

Tabel 4 : Jumlah Pelanggan per Jenis Pelanggan

2018

Satuan PLN/Provinsi	Rumah Tangga	Industri	Bisnis	Sosial	Gdg. Kantor Pemerintah	Penerangan Jalan Umum	Jumlah	(%)
Wilayah Aceh	1.250.058	3.012	117.286	43.571	10.653	1.843	1.426.423	1,98
Wilayah Sumatera Utara	3.405.433	4.307	137.632	67.238	9.889	16.348	3.640.847	5,06

Tabel 4 : Jumlah Pelanggan per Jenis Pelanggan

2019

Satuan PLN/Provinsi	Rumah Tangga	Industri	Bisnis	Sosial	Gdg. Kantor Pemerintah	Penerangan Jalan Umum	Jumlah	(%)
UIW Aceh	1.303.772	3.236	126.752	46.098	11.424	2.086	1.493.368	1,97
UIW Sumatera Utara	3.560.516	4.401	142.679	70.347	10.460	16.710	3.805.113	5,03

Tabel 4 : Jumlah Pelanggan per Jenis Pelanggan **2020**

Satuan PLN/Provinsi	Rumah Tangga	Industri	Bisnis	Sosial	Gdg. Kantor Pemerintah	Penerangan Jalan Umum	Jumlah	(%)
UIW Aceh	1.354.112	3.582	136.068	48.577	12.065	2.580	1.556.984	1,97
UIW Sumatera Utara	3.707.599	4.519	145.972	72.893	10.795	16.988	3.958.766	5,01

Tabel 4 : Jumlah Pelanggan per Jenis Pelanggan **2021**

Satuan PLN/Provinsi	Rumah Tangga	Industri	Bisnis	Sosial	Gdg. Kantor Pemerintah	Penerangan Jalan Umum	Jumlah	(%)
UIW Aceh	1.396.567	3.903	145.970	51.171	12.432	2.708	1.612.751	1,95
UIW Sumatera Utara	3.882.049	4.733	152.048	76.150	11.129	17.446	4.143.555	5,02

Tabel 4 : Jumlah Pelanggan per Jenis Pelanggan **2022**

Satuan PLN/Provinsi	Rumah Tangga	Industri	Bisnis	Sosial	Gdg. Kantor Pemerintah	Penerangan Jalan Umum	Jumlah	(%)
UIW Aceh	1.436.434	4.106	155.509	53.024	12.707	2.848	1.664.628	1,94
UIW Sumatera Utara	4.029.877	4.893	157.710	79.050	11.301	17.885	4.300.716	5,02

Lampiran IV: Data Iradiasi Matahari HOMER PRO

