

Studi Kelayakan Sistem Hybrid PLTD-PLTS dan Analisis Sistem Tenaga (*Load Flow*) di Pulau Tabuan Provinsi Lampung

Charles R. Harahap^{1*}, Noer Soedjarwanto², Osea Zebua³, Richard Sabera⁴

^{1,2,3,4}Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung, Bandar Lampung, Jl. Prof. Sumantri Brojonegoro No.1 Bandar Lampung 35145

Received: 02-07-2025

Accepted: 23-07-2025

Keywords:

Homer pro, Hybrid Generation System, Cost of Electricity (COE), Isolated Power Grid, Load Flow.

Correspondent Email:

richardsabera@gmail.com

Abstrak. Pulau terpencil di Indonesia memenuhi kebutuhan energi listriknya menggunakan PLTD yang memiliki biaya operasional dan pemeliharaan tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kelayakan sistem pembangkit hybrid baru yang dapat menurunkan biaya operasional dan biaya cost of electricity (COE) yang tinggi. Hasil penelitian dari segi ekonomi menunjukkan adanya penurunan biaya pokok penyedia listrik dari sistem pembangkit sebelumnya sebesar 6.940 Rp/kWh ke sistem pembangkit hybrid yang baru sebesar 4.343,36 Rp/kWh atau mengalami penurunan sebesar 19% dan dari segi teknis menunjukkan bahwa jaringan distribusi listrik yang telah tersedia tidak mengalami pembebanan listrik yang berlebihan dan tidak mengalami drop tegangan yang lebih dari 5% saat dilakukan simulasi penerapan sistem pembangkit listrik hybrid yang baru sehingga dapat dikatakan jaringan distribusi listrik masih sanggup dan drop tegangan masih dalam batas wajar. Nilai cost of electricity (COE) yang masih di atas nilai COE listrik yang telah ditetapkan oleh PLN yaitu sebesar 1.352 Rp/kWh sehingga sistem hybrid PLTD-PLTS ini belum mampu atau belum layak untuk memenuhi standar nilai COE listrik PLN.

Abstract. Remote islands in Indonesia meet their electricity needs using diesel power plants that have high operational and maintenance costs. This study aims to determine the feasibility of a new hybrid power plant system that can reduce operational costs and high cost of electricity (COE). The results of the study from an economic perspective show a decrease in the basic cost of electricity providers from the previous power plant system of 6,940 Rp/kWh to the new hybrid power plant system of 4,343.36 Rp/kWh or a decrease of 19% and from a technical perspective it shows that the existing electricity distribution network does not experience excessive electricity loading and does not experience a voltage drop of more than 5% when simulating the implementation of the new hybrid power plant system so that it can be said that the electricity distribution network is still capable and the voltage drop is still within reasonable limits. The cost of electricity (COE) value is still above the COE value of electricity set by PLN, which is 1,352 Rp/kWh so that this hybrid PLTD-PLTS system is not yet capable or not yet feasible to meet PLN's electricity COE value standards.

1. PENDAHULUAN

Indonesia adalah negara beriklim tropis yang memiliki ribuan pulau dengan 5 pulau utama dan pulau-pulau kecil yang tersebar di seluruh wilayah Indonesia. Letak geografis Indonesia berada di garis khatulistiwa

menyebabkan potensi pemanfaatan energi surya cukup besar dengan rata-rata intensitas radiasi mencapai 4,8 kWh/m²[1]. Pulau-pulau terpencil memenuhi kebutuhan energi listriknya menggunakan pembangkit listrik tenaga disel atau PLTD. Pembangkit ini merupakan salah

satu jenis pembangkit yang biaya operasional dan pemeliharaannya tinggi. Untuk mengatasi permasalahan biaya pokok produksi listrik PLTD yang tinggi diperlukan suatu sistem yang dapat mengurangi kerja dari PLTD dalam menyediakan listrik hal ini dapat di atasi dengan menggabungkan antara PLTS dengan PLTD atau dapat disebut pembangkit *hybrid*[2]. Dalam merancang penambahan sistem pembangkit *hybrid* perlu dilakukan juga analisa sistem tenaga listrik yang ada. Hal ini dilakukan untuk mengetahui kesiapan sistem kelistrikan terhadap sistem pembangkit baru sehingga operasi sistem kelistrikan tidak terganggu dan meminimalkan kerugian akibat gangguan yang terjadi.

Perancangan sistem pembangkit *hybrid* PLTD-PLTS pulau Tabuan bertujuan untuk memberikan referensi sistem *hybrid* PLTD-PLTS untuk dikembangkan lebih lanjut di pulau Tabuan. Pada perancangan sistem PLTS ini, akan diperhitungkan aspek teknis dan aspek ekonomisnya. Aspek teknis berupa ukuran PLTS yang optimal, kapasitas baterai yang digunakan dan lainnya yang berkaitan dengan aspek teknis sistem [3]. Sedangkan untuk aspek ekonomis, *software* akan menampilkan biaya pokok penyediaan listrik dari sistem yang telah ditambah oleh PLTS, biaya penyediaan sistem, dan lainnya yang berkaitan dengan aspek ekonomi sistem[4].

2. TINJAUAN PUSTAKA

Tinjauan pustaka yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

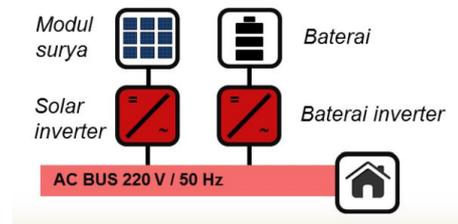
2.1. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) adalah pembangkit listrik yang menggunakan sinar matahari untuk mengubah radiasi matahari menjadi energi listrik melalui sel surya[5]. Semakin tinggi intensitas radiasi matahari yang mengenai sel surya maka semakin tinggi pula daya yang dihasilkan. PLTS menghasilkan arus searah yang dapat diubah menjadi arus bolak-balik dengan bantuan inverter[6].

2.2. PLTS Off-Grid

PLTS *off-grid* adalah sistem PLTS yang tidak terkoneksi dengan jaringan. Sistem tersebut umumnya merupakan sistem dengan

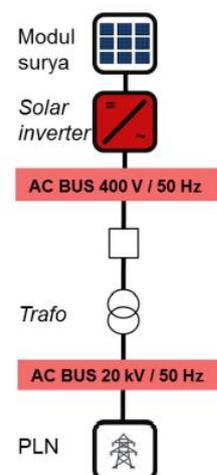
skema instalasi terdistribusi dan kapasitas produksi skala kecil sampai menengah. Sistem ini biasanya dilengkapi dengan sistem penyimpanan energi listrik berupa baterai [7].



Gambar 1. PLTS Off Grid

2.3. PLTS On-Grid

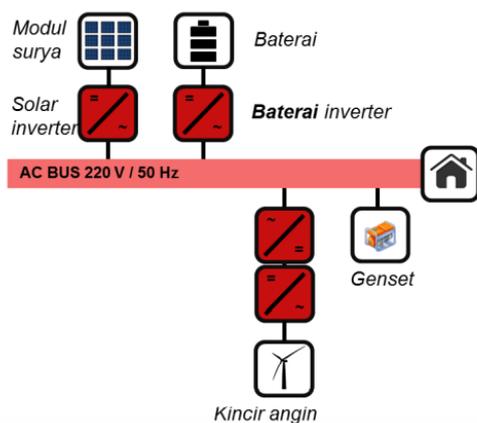
PLTS *on-grid* adalah sistem PLTS yang terhubung ke jaringan[8]. Berdasarkan pola perilaku distribusinya, sistem ini dapat dibagi menjadi dua bagian. Yaitu, sistem dengan PV yang terhubung ke jaringan dengan penyimpanan atau cadangan baterai, dan sistem dengan PV yang terhubung ke jaringan tanpa penyimpanan.



Gambar 2. PLTS On-Grid

2.4. PLTS Hybrid

PLTS *hybrid* merupakan jenis PLTS yang dalam pengoperasiannya digabungkan dengan jenis pembangkit listrik lain atau dengan sumber energi berbeda guna mendapatkan keandalan sistem yang lebih baik[9]. Selain untuk mendapatkan keandalan sistem yang baik, sistem PLTS *hybrid* ini juga diterapkan untuk menurunkan biaya pokok produksi listrik sehingga perusahaan penyedia energi listrik akan lebih ekonomis dalam proses penyediaan energi.



Gambar 3. PLTS Hybrid

2.5. Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD)

Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) ialah pembangkit listrik yang menggunakan mesin diesel sebagai penggerak [10]. Mesin Diesel adalah penggerak utama untuk mendapatkan energi listrik yang kemudian dikeluarkan oleh Generator. Pada mesin Diesel Energi Bahan bakar diubah menjadi energi mekanik dengan proses pembakaran di dalam mesin itu sendiri.



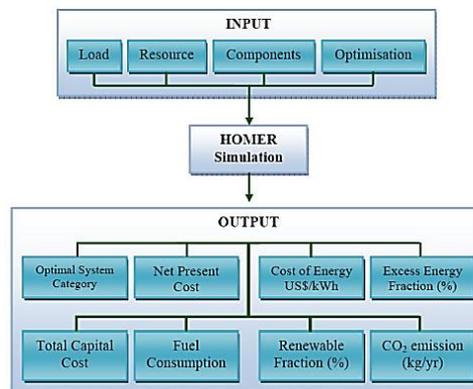
Gambar 4. PLTD

2.6. Software Homer Pro

Software HOMER dikembangkan oleh National Renewable Energy Laboratory (NREL), AS, bekerja sama dengan Mistaya Engineering, di mana hak cipta dilindungi oleh Midwest Research Institute (MRI) dan penggunaan Departemen Energi AS (DOE) [11]. Homer pro dapat merancang sistem pembangkit listrik hybrid dengan menggabungkan energi konvensional dan terbarukan.

Keunggulan software ini adalah mudah digunakan, dapat menjalankan simulasi, mengoptimalkan model, dan kemudian secara otomatis menemukan konfigurasi sistem optimal yang dapat memberi daya pada beban

dengan biaya arus (NPC) terendah, dan dapat menggunakan pengaturan sensitivitas agar mendapatkan hasil yang lebih baik.



Gambar 5. Langkah kerja software homer pro

2.7. Analisa Aliran Daya

Analisis aliran daya, atau sering disebut analisis aliran beban, dilakukan untuk mengetahui nilai tegangan, arus, dan daya yang mengalir melalui setiap komponen sistem dalam kondisi normal. Analisis aliran daya bertujuan untuk menghitung aliran daya masing-masing penyulang, rugi-rugi daya setiap penyulang, setiap drop tegangan penyulang, beban peralatan, dan setiap tegangan bus pada kondisi beban dan konfigurasi grid [12]. Hasil analisis aliran daya berguna untuk menilai dan menganalisis kondisi pembangkit dan beban.

3. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

3.1. Tempat dan Waktu

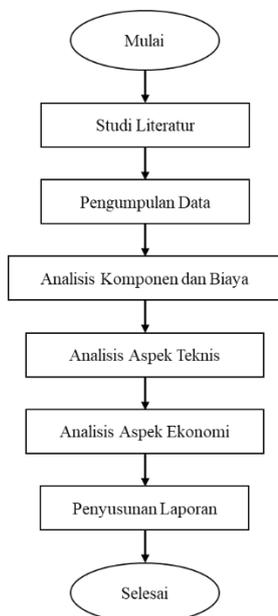
Kegiatan penelitian ini terbagi menjadi pengambilan dan pengolahan data. Pada kegiatan pengambilan data akan dilaksanakan di pulau Tabuan, Kecamatan Cukuh Balak, Kabupaten Tanggamus, Provinsi Lampung yang berkoordinat 5° 48' 8" S, 104° 49' 26" E dan kegiatan pengambilan data dilaksanakan juga di Kantor PLN UP3 Metro. Pada kegiatan pengolahan data akan dilaksanakan di Lab Konversi Energi Elektrik Universitas Lampung. Rentang waktu penelitian ini berlangsung dari bulan Maret 2022 – Desember 2024.

3.2. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian kali ini yaitu: Satu unit laptop dengan prosesor AMD Ryzen 5 4500 RAM 8 GB dan Sistem operasi Windows 11 Home 64 Bit, *Software Homer Pro, Google Earth Pro, Autocad, dan Microsoft Excel*, Data PLTD Tabuan, data beban pulau Tabuan, data intensitas radiasi matahari, data single line diagram pulau Tabuan dan data komponen-komponen PLTS.

3.3. Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian ini adalah sebagai berikut :



Gambar 6. Diagram alir penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan pembahasan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

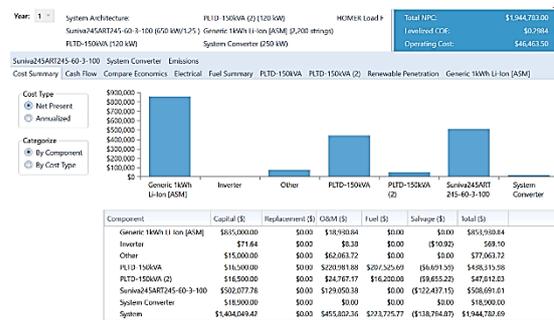
4.1. Hasil simulasi sistem *hybrid* PLTD-PLTS pulau Tabuan pada aplikasi Homer pro

Hasil simulasi sistem *hybrid* PLTD-PLTS pulau Tabuan pada aplikasi Homer pro menggunakan sistem simulasi *multi year*. Durasi simulasi *multi year* yang digunakan adalah 15 tahun dengan beberapa peningkatan nilai sebagai berikut yaitu biaya operasional diatur dengan kenaikan 1%/year, degradasi panel surya diatur dengan nilai 0.5%/year, biaya bahan bakar diesel diatur dengan kenaikan

3%/year, dan nilai beban listrik diatur dengan kenaikan 5%/year.

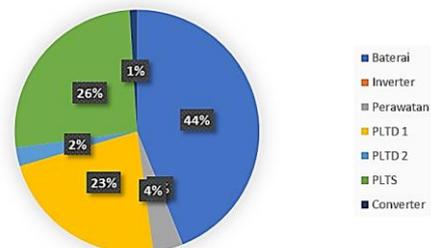
4.1.1. Hasil Simulasi Sistem *Hybrid* PLTD-PLTS Pulau Tabuan dari Segi Ekonomi

Berdasarkan simulasi pada aplikasi Homer pro, diketahui bahwa nilai proyek sistem *hybrid* PLTD-PLTS pulau Tabuan sebesar \$1.944.783 dolar dengan biaya operasional sebesar \$46.463,50 dolar. Biaya pengadaan dari sistem *hybrid* PLTD-PLTS pulau Tabuan disumbang oleh sistem terbaru dengan 75% dari total keseluruhan biaya proyek.



Gambar 7. Aspek ekonomi sistem *hybrid* PLTD-PLTS pulau Tabuan

Biaya Sistem *hybrid* PLTD-PLTS pulau Tabuan



Gambar 8. Biaya sistem *hybrid* PLTD-PLTS pulau Tabuan

Berdasarkan hasil perhitungan dan simulasi yang dilakukan oleh aplikasi Homer pro didapatkan nilai BPP atau biaya pokok penyediaan listrik yang rendah dengan penurunan dari BPP awal sebesar 6.940 Rp/kWh menjadi 4.343,36 Rp/kWh atau mengalami penurunan sebanyak 19%.

Biaya pokok penyedia listrik sistem *hybrid* PLTD-PLTS pulau Tabuan memiliki nilai yang masih cukup tinggi yaitu 4.343,36 Rp/kWh, nilai ini masih di atas dari tarif yang ditetapkan PLN untuk biaya listrik per kWh yaitu sebesar 1.352 Rp/kWh[13]. Pada sistem *hybrid* PLTD-PLTS pulau Tabuan ini

menggunakan kapasitas baterai sebesar 2,2 MW dan kapasitas panel surya sebesar 650 kWp, apabila ingin meminimalisir atau mengurangi biaya BPP listrik maka perlu dilakukan pengurangan kapasitas dari komponen baterai dan panel surya dan lebih mengedepankan kerja PLTD agar hasil produksi listrik pada sistem *hybrid* PLTD-PLTS ini seimbang di kedua sistem pembangkit.

4.1.2. Hasil Simulasi Sistem *Hybrid* PLTD-PLTS Pulau Tabuan dari Segi Teknis

Sistem *hybrid* PLTD-PLTS pulau Tabuan berdasarkan hasil simulasi memiliki kapasitas PLTS sebesar 650 kW dengan kapasitas *dedicated converter* sebesar 520 kW, selanjutnya kapasitas baterai sebesar 2.200 unit dengan masing-masing unit memiliki kapasitas 1 kWh sehingga total kapasitas baterai sebesar 2.200 kWh atau 2,2 MW, selanjutnya kapasitas dari *inverter* sebesar 250 kW dan kapasitas dari *rectifier* sebesar 250 kW. Hasil produksi energi listrik yang didapat setelah melakukan simulasi dengan metode *multi year* memiliki beberapa karakteristik sesuai dengan variabel tahun[14].

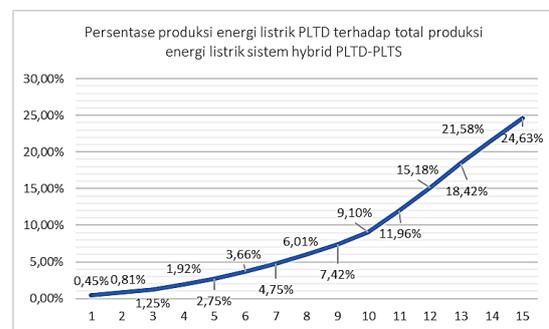
Tabel 1. Data produksi listrik dari sistem *hybrid* PLTD-PLTS pulau Tabuan menggunakan metode *multi year*

	Energi PLTS	Energi PLTD 1	Energi PLTD 2	Total Energi Listrik	Konsumsi Energi	Energi Terbuang	Renewable Fraction
1	853717	3872	0	857589	401135	389106	99%
2	849433	6938	0	856372	421192	373847	98,40%
3	845171	10597	90	855858	442251	349588	97,60%
4	840929	16302	150	857381	464364	326585	96,50%
5	836708	23158	510	860377	487582	303936	95,10%
6	832509	30827	810	864146	511961	280877	93,80%
7	828329	39112	2220	869661	537559	258287	92,30%
8	824171	49545	3180	876896	564437	236433	90,70%
9	820033	61321	4356	885710	592659	214946	88,90%
10	815915	74115	7534	897564	622292	195224	86,90%
11	811818	101154	9110	922082	653407	188036	83,10%
12	807741	133477	11047	952365	686077	186760	78,90%
13	803684	168188	13228	985101	720381	187194	74,80%
14	799647	203619	16381	1019647	756400	187622	70,90%
15	795630	239944	20078	1055652	794220	187735	67,30%
Total	12365435	1162169	88694	13616401	8655917	3866176	

Data hasil produksi energi listrik pada sistem *hybrid* PLTD-PLTS pulau Tabuan memiliki karakteristik yaitu total energi listrik yang dibangkitkan oleh PLTS akan semakin menurun di tiap tahunnya dikarenakan adanya degradasi dari panel surya yang sebelumnya di set di angka 0.5/year[15] sehingga akan mempengaruhi kemampuan PLTS dalam

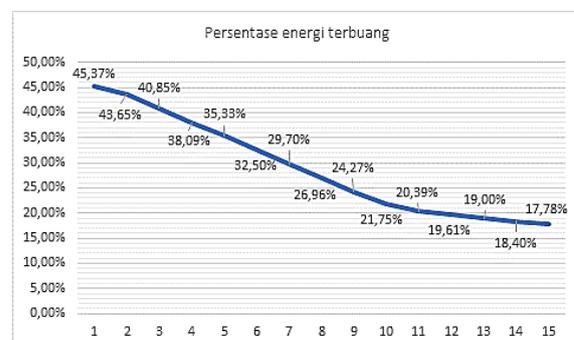
memenuhi kebutuhan daya yang akan bertambah sebesar 5% di tiap tahunnya, dengan adanya hal ini peran PLTD dalam memenuhi kebutuhan daya di tiap tahunnya akan semakin besar.

Persentase produksi energi listrik PLTD terhadap total produksi energi listrik sistem *hybrid* PLTD-PLTS dengan nilai tertinggi berada pada tahun ke 15 dengan persentase sebesar 24,63 persen dari total energi listrik yang dibangkitkan pada tahun ke 15. Dengan adanya data ini dapat diambil kesimpulan bahwa peran PLTD akan mulai terasa efeknya pada sistem *hybrid* PLTD-PLTS saat performa dari PLTS mulai menurun dan dibarengi dengan kenaikan beban listrik.



Gambar 9. Persentase produksi energi listrik PLTD terhadap total produksi energi listrik sistem *hybrid* PLTD-PLTS

Seperti yang terlihat pada Gambar 9 di bawah. Pada tahun-tahun awal sistem akan beroperasi dengan kapasitas pembangkit yang disesuaikan dengan nilai beban listrik pada tahun ke 15 dengan ini maka pada tahun awal beroperasinya sistem ini akan menghasilkan energi terbuang dengan nilai yang besar.

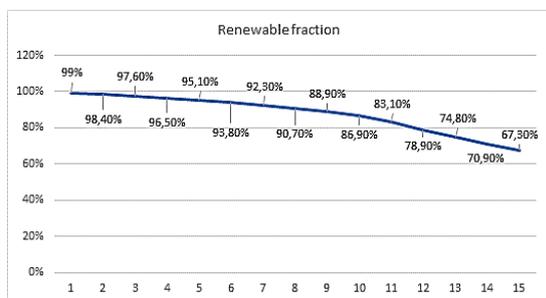


Gambar 10. Persentase energi terbuang

Beban listrik yang terus meningkat sebanyak 5% di tiap tahunnya akan mengurangi jumlah

energi yang terbuang, dengan ini dapat disimpulkan bahwa semakin lama sistem beroperasi maka akan semakin efektif produksi energi listrik yang dimanfaatkan dengan ditandai dengan menurunnya energi yang terbuang di tiap tahunnya[16].

Berdasarkan data hasil simulasi pada tabel 1, persentase *renewable fraction* akan mengalami penurunan di tiap tahunnya hal ini dipengaruhi oleh penurunan produksi energi listrik oleh PLTS untuk menyuplai beban yang terus meningkat di tiap tahunnya sehingga memerlukan bantuan dari PLTD yang berakibat pada menurunnya nilai persentase *renewable fraction*.

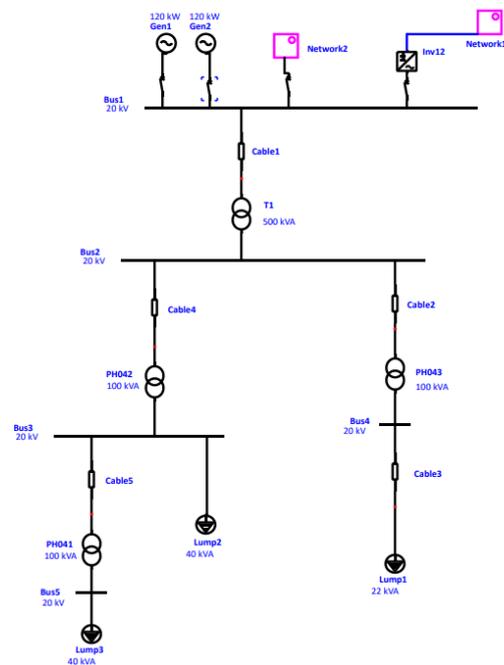


Gambar 11. *Renewable fraction*

Nilai *renewable fraction* pada Gambar 11 di atas menunjukkan nilai *renewable fraction* selalu di atas 50% hal ini menandakan bahwa sistem ini mayoritas energi listrik yang dibangkitkan berasal dari sumber energi terbarukan yaitu PLTS[17] dengan nilai tertinggi berada di 99% di tahun pertama dan akan semakin menurun hingga nilai 67,30 persen di tahun ke 15.

4.2. Analisis Aliran Daya (Load Flow) Sistem Hybrid PLTD-PLTS di Pulau Tabuan

Sistem kelistrikan yang berada di pulau Tabuan untuk sistem *hybrid* PLTD-PLTS ini terdiri dari beberapa komponen penyusun seperti sumber listrik dari 2 unit PLTD yang berkapasitas 120kW, Transformator T1 berkapasitas 500 kVA, Transformator T2 (PH041) berkapasitas 100 kVA, Transformator T3 (PH042) berkapasitas 100 kVA, Transformator T4 (PH043) berkapasitas 100 kVA, kabel penghubung, sistem proteksi seperti CB dan *fuse*, dan juga sistem *hybrid* yang terdiri dari PLTS yang berkapasitas 650 kW, baterai berkapasitas 2,2 MW, *Inverter* berkapasitas 250 kW lalu beban 3 buah *lump load*.



Gambar 12. *Single line diagram* sistem *hybrid* PLTD-PLTS pulau Tabuan

Pada perhitungan *load flow* ini dihitung beberapa kemungkinan yang dapat terjadi berkaitan dengan perubahan jumlah generator/sumber yang beroperasi[18]. Konfigurasi pembangkitan yang di analisa pada *load flow* dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2. Skenario analisis *load flow* sistem *hybrid* PLTD-PLTS pulau Tabuan

No.	Skenario	PLTD	PLTS	Total Beban (kVA)
1	Skenario-1	ON	OFF	102
2	Skenario-2	OFF	ON	102
3	Skenario-3	ON	ON	178,5

4.2.1. Skenario 1

Hasil simulasi dengan kondisi pembebanan sebesar 0,104 MVA pada sistem kelistrikan dapat dilihat dari data berikut. tegangan kurang dari 5 %. Berdasarkan standar IEC60364-5-52, nilai drop tegangan kurang dari 5% masih tergolong dalam batas yang diizinkan[19].

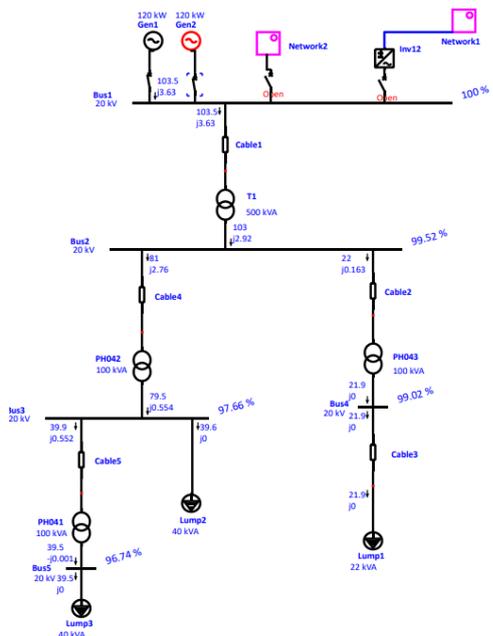
Dalam skenario 1 semua transformator dalam kondisi ON. Transformator yang mengalami pembebanan dan rugi-rugi terbesar terdapat pada PH042 dengan 81% yang telah dibebani dari kapasitas sebesar 100 kVA, *drop voltage* sebesar 1,86 %, *kW losses* sebesar 8,57

kW, dan kvar losses sebesar 2.2 kvar. Transformator PH042 mengalami pembebanan sebesar 81% dari kapasitasnya yaitu 100 kVA dan masih dapat dimanfaatkan sebesar 19,9% atau 19,9 kVA. Transformator PH041 mengalami pembebanan sebesar 39.9% dari kapasitasnya yaitu 100 kVA, *drop voltage* sebesar 0.92%, kW losses sebesar 35,48 kW, dan kvar losses sebesar 0.555 kvar. Transformator PH041 mengalami pembebanan sebesar 60,1% dari kapasitasnya yaitu 100 kVA dan masih dapat dimanfaatkan sebesar 19,9% atau 19,9 kVA.

Tabel 3. Kondisi pembangkitan skenario 1

No.	Keterangan	MW	Mvar	MVA	%PF
1.	Source (Swing Buses)	0,103	0,004	0,104	99,94 Lagging
2.	Source (Non-Swing Buses)	0,000	0,000	0,000	
3.	Total Demand	0,103	0,004	0,104	99,94 Lagging
4.	Total Motor Load	0,082	0,000	0,082	100,00 Leading
5.	Total Static Load	0,019	0,000	0,019	100,00 Lagging
6.	Total Constant I Load	0,000	0,000	0,000	
7.	Total Generic Load	0,000	0,000	0,000	
8.	Apparent Losses	0,002	0,004		
9.	System Mismatch	0,000	0,000		

Number of Iteration 2



Gambar 13. Single line diagram load flow skenario 1

Tabel 4. Konsumsi daya dan rugi-rugi pada trafo dan kabel skenario 1

ID	Status	kW Flow	kVAr Flow	Amp Flow	% PF	% Loading	% Voltage Drop	kW Losses	kvar Losses
T1	ON	103.5	3.63	2.988	99.94	20.7	0.48	7.81	0.713
PH041	ON	39.86	0.554	1.178	99.99	39.9	0.92	35.48	0.555
PH042	ON	80.95	2.76	2.35	99.94	81	1.86	8.57	2.2
PH043	ON	22.02	0.163	0.639	100	22	0.49	0.635	0.163
C.1		103.5	3.63	2.988	99.94	20.7	0	2.29	0.0001
C.2		22.02	0.163	0.639	100	-	0	2.06	0.0004
C.3		21.91	0	0.639	100	-	0	2.06	0
C.4		80.96	2.76	2.35	99.94	-	0	3.47	0.0008
C.5		39.86	0.552	1.178	99.99	-	0	3.11	0.0001

Dari simulasi kasus skenario 1 diperoleh pembebanan trafo dan kabel dalam kondisi normal (tidak mengalami *overload*) dan drop

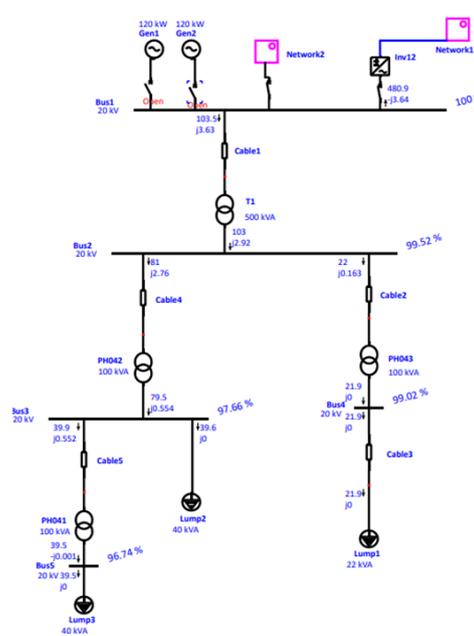
4.2.2. Skenario 2

Hasil simulasi dengan kondisi pembebanan sebesar 0,104 MVA pada sistem kelistrikan dapat dilihat dari data berikut.

Tabel 5. Kondisi pembangkitan skenario 2

No.	Keterangan	MW	Mvar	MVA	%PF
1.	Source (Swing Buses)	-0,481	0,004	0,481	100,00 Leading
2.	Source (Non-Swing Buses)	0,584	0,000	0,584	100,00 Lagging
3.	Total Demand	0,104	0,004	0,104	99,94 Lagging
4.	Total Motor Load	0,082	0,000	0,082	100,00 Leading
5.	Total Static Load	0,019	0,000	0,019	100,00 Lagging
6.	Total Constant I Load	0,000	0,000	0,000	
7.	Total Generic Load	0,000	0,000	0,000	
8.	Apparent Losses	0,002	0,004		
9.	System Mismatch	0,000	0,000		

Number of Iteration 2



Gambar 14. Single line diagram load flow skenario 2

Dari simulasi kasus skenario 2 diperoleh pembebanan trafo dan kabel dalam kondisi

normal (tidak mengalami *overload*) dan drop tegangan kurang dari 5 %. Berdasarkan standar IEC60364-5-52, nilai drop tegangan yang kurang dari 5% masih tergolong dalam batas yang diizinkan[20].

Dalam skenario 1 semua transformator dalam kondisi ON. Transformator yang mengalami pembebanan dan rugi-rugi terbesar terdapat pada PH043 dengan 81% yang telah dibebani dari kapasitas sebesar 100 kVA, *drop voltage* sebesar 1,86 %, kW *losses* sebesar 1.47 kW, dan kvar *losses* sebesar 2.2 kvar. Transformator PH043 mengalami pembebanan sebesar 81% dari kapasitasnya yaitu 100 kVA dan masih dapat dimanfaatkan sebesar 19,9% atau 19,9 kVA. Transformator PH041 mengalami pembebanan sebesar 39.9% dari kapasitasnya yaitu 100 kVA, *drop voltage* sebesar 0.92%, kW *losses* sebesar 35,48 kW, dan kvar *losses* sebesar 0.555 kvar. Transformator PH041 mengalami pembebanan sebesar 60,1% dari kapasitasnya yaitu 100 kVA dan masih dapat dimanfaatkan sebesar 19,9% atau 19,9 kVA.

4.2.3. Skenario 3

Hasil simulasi dengan kondisi pembebanan sebesar 0.183 MVA pada sistem kelistrikan dapat dilihat dari data berikut.

Dari simulasi kasus skenario 3 diperoleh pembebanan trafo dan kabel dalam kondisi normal (tidak mengalami *overload*) dan drop tegangan kurang dari 5 %. Berdasarkan standar IEC60364-5-52, nilai drop tegangan yang kurang dari 5% masih tergolong dalam batas yang diizinkan.

Dalam skenario 1 semua transformator dalam kondisi ON. Transformator yang mengalami pembebanan dan rugi-rugi terbesar terdapat pada PH042 dengan 81% yang telah dibebani dari kapasitas sebesar 100 kVA, *drop voltage* sebesar 1,86 %, kW *losses* sebesar 1.47 kW, dan kvar *losses* sebesar 2.2 kvar. Transformator PH042 mengalami pembebanan sebesar 81% dari kapasitasnya yaitu 100 kVA dan masih dapat dimanfaatkan sebesar 19,9% atau 19,9 kVA. Transformator PH041 mengalami pembebanan sebesar 39.9% dari kapasitasnya yaitu 100 kVA, *drop voltage* sebesar 0.92%, kW *losses* sebesar 0.37 kW, dan kvar *losses* sebesar 0.555 kvar. Transformator PH041 mengalami pembebanan sebesar 60,1% dari kapasitasnya yaitu 100 kVA dan masih

dapat dimanfaatkan sebesar 19,9% atau 19,9 kVA.

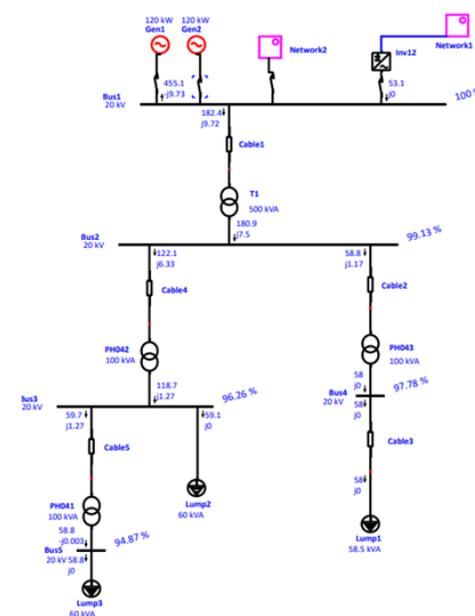
Tabel 6. Konsumsi daya dan rugi-rugi pada trafo dan kabel skenario 2

ID	Status	kW Flow	kVAr Flow	Amp Flow	% PF	% Loading	% Voltage Drop	kW Losses	kvar Losses
T1	ON	103.5	3.63	2.988	99.94	20.7	0.48	0.476	0.713
PH041	ON	39.86	0.554	1.178	99.99	39.9	0.92	35.48	0.555
PH042	ON	0.554	1.178	99.99	39.9	0.92	0.37	0.555	0.554
PH043	ON	80.95	2.76	2.35	99.94	81	1.86	1.47	2.2
C.1		22.02	0.163	0.639	100	22	0.49	0.109	0.163
C.2		103.5	3.63	2.988	99.94		0	0.0003	0.0001
C.3		22.02	0.163	0.639	100		0	0.001	0.0004
C.4		21.91	0	0.639	100		0	0.0001	0
C.5		80.96	2.76	2.35	99.94		0	0.0018	0.0008
C.7		584.4	0	16.87	-100	18.3	0.01	0.0578	0.0058

Tabel 7. Kondisi pembangkitan skenario 3

No.	Keterangan	MW	Mvar	MVA	%PF
1.	Source (Swing Buses)	-0.402	0.010	0.402	99.97 Leading
2.	Source (Non-Swing Buses)	0.584	0,000	0.584	100,00 Lagging
3.	Total Demand	0.182	0,010	0.183	99.86 Lagging
4.	Total Motor Load	0.143	0,000	0.143	100,00 Leading
5.	Total Static Load	0.033	0,000	0.033	100,00 Lagging
6.	Total Constant I Load	0,000	0,000	0,000	
7.	Total Generic Load	0,000	0,000	0,000	
8.	Apparent Losses	0,002	0,004		
9.	System Mismatch	0,000	0,000		

Number of Iteration 2



Gbr 12. Single line diagram load flow skenario 3

Tabel 8. Konsumsi daya dan rugi-rugi pada trafo dan kabel skenario 3

ID	Status	kW Flow	kVAr Flow	Amp Flow	% PF	% Loading	% Voltage Drop	kW Losses	kvar Losses
T1	ON	103.5	3.63	2.988	99.94	20.7	0.48	0.476	0.713
PH041	ON	39.86	0.554	1.178	99.99	39.9	0.92	0.37	0.555
PH042	ON	80.95	2.76	2.35	99.94	81	1.86	1.47	2.2
PH043	ON	22.02	0.163	0.639	100	22	0.49	0.109	0.163
C.1		103.5	3.63	2.988	99.94		0	0.0003	0.0001
C.2		22.02	0.163	0.639	100		0	0.001	0.0004
C.3		21.91	0	0.639	100		0	0.0001	0
C.4		80.96	2.76	2.35	99.94		0	0.0018	0.0008
C.5		39.86	0.552	1.178	99.99		0	0.0003	0.0001
C.7		584.4	0	16.87	-100	18.3	0.01	0.0578	0.0058

5. KESIMPULAN

Adapun kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut

- Berdasarkan analisis ekonomi pada software Homer pro, didapatkan data bahwa sistem *hybrid* PLTD-PLTS pulau Tabuan ini dapat menurunkan BPP awal sebesar 6.940 Rp/kWh menjadi 4.343,36 Rp/kWh atau mengalami penurunan sebesar 19%.
- Berdasarkan hasil simulasi pada penelitian ini, didapatkan bahwa BPP listrik sistem *hybrid* PLTD-PLTS pulau Tabuan yaitu sebesar 4.343,36 Rp/kWh masih di atas nilai BPP listrik yang telah ditetapkan oleh PLN yaitu sebesar 1.352 Rp/kWh sehingga sistem *hybrid* PLTD-PLTS ini belum mampu atau belum layak untuk memenuhi standar nilai BPP listrik PLN.
- Berdasarkan penelitian ini, untuk menurunkan nilai BPP listrik sistem *hybrid* PLTD-PLTS menjadi lebih kecil atau mendekati tarif BPP listrik PLN maka perlu dilakukan penyeimbangan kerja dari sistem *hybrid* PLTS-PLTS dengan menurunkan kapasitas dari sistem PLTS terutama di komponen baterai dan panel surya yang memiliki biaya pengadaan yang tinggi.
- Berdasarkan hasil simulasi pada penelitian ini, didapatkan data produksi listrik sistem *hybrid* PLTD-PLTS sebesar 857.589 kWh/year yang didominasi oleh produksi PLTS sebesar 99,5%.
- Berdasarkan hasil simulasi pada software Etap, didapatkan data bahwa jaringan listrik yang ada pada pulau Tabuan masih sanggup untuk menampung sistem yang baru yaitu sistem *hybrid* PLTD-PLTS

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak terkait yang telah memberi dukungan terhadap penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Afif, F., & Martin, A. (2022). Tinjauan Potensi dan Kebijakan Energi Surya di Indonesia. *Jurnal Engine*. <https://doi.org/10.30588/jeemm.v6i1.997>
- Chamdareno, P. G., & Hilal, H. (2018). Analisa Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid* PLTD-PLTS di Pulau Tunda Serang Banten. <https://doi.org/10.24853/RESISTOR.1.1.35-42>
- Ardiansyah, A., Setiawan, I. N., & Sukerayasa, I. W. (2022). Perancangan plts atap on grid system pada kantor badan perencanaan pembangunan daerah penelitian dan pengembangan kota probolinggo. *Jurnal Spektrum*. <https://doi.org/10.24843/spektrum.2021.v08.i04.p23>
- Borretta, E., Giglio, E., Luzzani, G., Terranova, V., Trivigno, G., Niccolai, A., & Grimaccia, F. (2021, September 7). Software-based solutions for the optimization of a building electric bill using integrated PV and storage systems: a case study. *International Conference on Environment and Electrical Engineering*. <https://doi.org/10.1109/EEEIC/ICPSEUROPE51590.2021.9584626>
- Cramer, G., Engel, B., Greizer, F., & Laschinski, J. (2008). Solar power plant.
- Damarwan, E. S., Hakim, M. L., Wardhana, A. S. J., & Budiastuti, P. (2023). The Effect of Luminous Intensity, Humidity, and Temperature on The Output Voltage of Solar Panels. *Jurnal Edukasi Elektro*. <https://doi.org/10.21831/jee.v7i1.60179>
- Hasanah, A. W., Koerniawan, T., & Yuliansyah, Y. (2019). Kajian kualitas daya listrik plts sistem off-grid di stt-pln. <https://doi.org/10.33322/ENERGI.V10I2.211>
- Ardiansyah, A., Setiawan, I. N., & Sukerayasa, I. W. (2022). Perancangan plts atap on grid system pada kantor badan perencanaan pembangunan daerah penelitian dan pengembangan kota probolinggo. *Jurnal Spektrum*. <https://doi.org/10.24843/spektrum.2021.v08.i04.p23>
- Kines, K. E. (2024). Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Sistem On Grid pada Kantor PT PLN Unit Induk Distribusi Lampung Berbasis Simulasi. *Electrician*:

- Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro, 18(3), 285-292.
- [10] Balladi, R. K., & Loránd, D. (2021). A *hybrid* power plant.
- [11] Koturbach, I. I. (2021). Diesel-steam power plant.
- [12] Khalil, L., Bhatti, K. L., Awan, M. A. I., Riaz, M., Khalil, K., & Alwaz, N. (2021). Optimization and designing of *hybrid* power system using HOMER pro. *Materials Today: Proceedings*.
<https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2020.06.054>
- [13] Muzzammel, R., Khail, I., Tariq, M. H., Asghar, A. M., & Hassan, A. (2019). Design and Power Flow Analysis of Electrical System Using Electrical Transient and Program Software. *Energy and Power Engineering*.
<https://doi.org/10.4236/EPE.2019.114011>
- [14] Figueiredo, R., Nunes, P., & Brito, M. (2018). Multiyear calibration of simulations of energy systems. *Energy*.
<https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2018.05.188>
- [15] Theristis, M., Stein, J. S., Deline, C., Jordan, D., Robinson, C., Sekulic, W., Anderberg, A., Colvin, D. J., Walters, J., Seigneur, H., & King, B. J. (2022). Onymous early-life performance degradation analysis of recent photovoltaic module technologies. *Progress in Photovoltaics*.
<https://doi.org/10.1002/pip.3615>
- [16] Obrecht, T., Jordan, S., Legat, A., & Passer, A. (2021). The role of electricity mix and production efficiency improvements on greenhouse gas (GHG) emissions of building components and future refurbishment measures. *International Journal of Life Cycle Assessment*.
<https://doi.org/10.1007/S11367-021-01920-2>
- [17] Chen, L., Shen, J., Zhou, B., Wang, Q., & Buja, G. (2022). Quantitative Analysis on the Proportion of Renewable Energy Generation Based on Broadband Feature Extraction. *Applied Sciences*.
<https://doi.org/10.3390/app122111159>
- [18] Salam, Md. A. (2020). Load Flow Analysis.
https://doi.org/10.1007/978-981-15-3212-2_7
- [19] Analisis Penentuan Harga Jual Listrik pada PT PLN (Persero) ULP Medan Timur. (2022). *VISA: Journal of Vision and Ideas*.
<https://doi.org/10.47467/visa.v3i1.1946>
- [20] Gokbayrak, K., & Avci, H. (2020). A voltage drop limited decentralized electric power distribution network. *Computers & Operations Research*.
<https://doi.org/10.1016/J.COR.2020.104907>