

Analysis Of Hybrid Solar Power Plants With Battery Energy Storage Systems (BESS) To Anticipate Power Drops Due To Shading Conditions

[Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Surya Hybrid dengan Battery Energy Storage System (BESS) untuk Mengantisipasi Terjadinya Penurunan Daya Akibat Kondisi Shading]

Muhamad Saifudin Zuhri ¹⁾, Jamaaluddin²⁾, Shazana Dhiya Ayuni ³⁾, Izza Anshory ⁴⁾

¹⁾ Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

²⁾ Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

³⁾ Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

⁴⁾ Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

* Corresponding author, email: jamaaluddin@umsida.ac.id

Abstract. Currently, electrical energy is a basic need for human survival. Some of the human needs for electrical energy include, among others, lighting, entertainment, and jobs that depend on electrical energy. In Indonesia, a lot of electrical energy comes from fossil energy and petroleum, around 90%, and renewable energy (EBT) is still less than 10%. The Indonesian government is currently committed to emitting and contributing to the world's Net-Zero Emissions by encouraging the construction of power plants originating from new and renewable energy (EBT), namely, PLTM and PLTS. The use of new renewable energy from solar energy, commonly called PLTS in Indonesia, continues to increase, but this PLTS has an intermittent nature and cannot be stable in generating electricity. This intermittent nature, if in PLTS Hybrid conditions with PLTD, greatly affects the network system and PLTD because it can reduce power suddenly and cause frequency hunting or blackouts on the network system and PLTD. The solution to anticipate this sudden decrease in power requires a large enough battery, or what is known as the battery energy storage system (BESS), with a minimum capacity of 50% of the PLTS capacity. Hybrid PLTS simulations with the addition of BESS were carried out to determine the effect of adding BESS on overcoming problems from frequency hunting and blackouts that are likely to occur. According to the results of the simulations that have been carried out, when there is a 50% decrease in power from PLTS, there is an increase in PLTD generators by 55%. Then, in the simulation using BESS, when there is a 30% decrease in power from PLTS, there is an increase in power from PLTD of 21%, a 50% decrease in power from PLTS, and a 34% increase in power from PLTD, which means BESS is very functional when there is a significant decrease in power.

Keywords - PLTS Hybrid, Battery Energy Storage System (BESS)

Abstrak. Saat ini energi listrik menjadi kebutuhan pokok bagi kelangsungan hidup manusia. Beberapa kebutuhan manusia terhadap energi listrik antara lain, sebagai penerangan, hiburan dan pekerjaan-pekerjaan yang bergantung energi listrik. Di Indonesia banyak energi listrik berasal dari energi fosil dan minyak bumi sekitar 90% dan energi baru terbarukan (EBT) masih kurang dari 10%. Pemerintah Indonesia saat ini berkomitmen untuk melakukan emisi dan turut andil untuk kontribusi bagi Net-Zero Emission dunia dengan cara mendorong untuk pembangunan pembangkit yang berasal dari energi baru terbarukan (EBT) yaitu, PLTM dan PLTS. Pemanfaatan energi baru terbarukan dari energi surya biasa disebut PLTS di Indonesia terus meningkat, namun PLTS ini memiliki sifat intermittent dan tidak bisa stabil dalam membangkitkan energi listrik. Sifat intermittent ini jika dalam kondisi PLTS Hybrid dengan PLTD sangat mempengaruhi sistem jaringan dan PLTD karena dapat menurunkan daya secara tiba-tiba dan bisa menyebabkan hunting frekuensi atau blackout pada sistem jaringan dan PLTD. Solusi untuk mengantisipasi terjadinya penurunan daya secara tiba-tiba ini diperlukan baterai yang cukup besar atau bisa disebut dengan istilah battery energy storage system (BESS) dengan kapasitas minimal 50% dari kapasitas PLTS. Simulasi PLTS Hybrid dengan penambahan BESS dilakukan untuk mengetahui pengaruh dari penambahan BESS dapat mengatasi permasalahan dari hunting frekuensi dan blackout yang kemungkinan akan terjadi. Hasil dari simulasi yang sudah dilakukan ketika terjadi penurunan daya dari PLTS sebesar 50% terjadi peningkatan terhadap pembangkit PLTD sebesar 55%. Kemudian simulasi dengan menggunakan BESS ketika terjadi penurunan daya dari PLTS sebesar 30% terjadi peningkatan daya dari PLTD sebesar 21% dan penurunan daya sebesar 50% dari PLTS terjadi peningkatan daya pada PLTD sebesar 34% yang artinya BESS sangat berfungsi ketika terjadi penurunan daya yang cukup signifikan.

Kata Kunci – PLTS Hybrid, Battery Energy Storage System (BESS)

I. PENDAHULUAN

Saat ini energi listrik bisa dikatakan sebagai kebutuhan pokok bagi kelangsungan hidup manusia. Sadar atau tidak banyak manusia bergantung pada energi listrik, baik untuk penerangan, hiburan, dan untuk beberapa pekerjaan juga banyak yang bergantung pada energi listrik. Di Indonesia energi listrik masih banyak dijumpai menggunakan sumber energi fosil dan minyak bumi, yaitu sekitar 90 %, sedangkan untuk sumber energi baru terbarukan (EBT) masih kurang dari 10%.

Saat ini Indonesia berkomitmen untuk melakukan penurunan emisi dan turut andil berkontribusi bagi Net-Zero Emission Dunia[1]. Sampai saat ini pemerintah Indonesia terus mendorong untuk melakukan pembangunan energi baru terbarukan (EBT), salah satunya yaitu Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), baik PLTS terapung, PLTS skala besar maupun PLTS skala kecil seperti PLTS Atap. Pembangunan PLTS skala besar atau biasa disebut dengan PLTS On-Grid yaitu PLTS yang terhubung dengan jaringan milik PT PLN (Persero). Beberapa PLTS skala besar yang ada di Indonesia seperti, PLTS Oelpuah Kupang 5 MW, PLTS Sambelia NTB 5 MW, PLTS Likupang 21 MW. Pada kenyataannya PLTS On-Grid ini sangat bergantung pada pembangkit lainnya, seperti PLTD, PLTU dan PLTG, karena PLTS On-Grid ini masih memiliki kelemahan yaitu kendala pada saat shading, dimana kasus shading ini dapat menurunkan energi yang dibangkitkan PLTS. Ketika PLTS mendapat kendala shading, penurunan energi yang dibangkitkan sangat mempengaruhi pembangkit di sekitar sehingga terjadi hilang/timbulnya beban. Selain mempengaruhi pembangkit di sekitar, juga mempengaruhi pendapatan dari penjualan energi PLTS. Oleh karena itu, untuk menghindari pengaruh penurunan energi yang besar ketika terjadi shading diperlukan baterai supaya energi yang dibangkitkan dari PLTS bisa stabil dan tidak terlalu mempengaruhi pembangkit di sekitar.

Pada penelitian ini untuk mencari solusi dari permasalahan pengaruh shading terhadap pembangkit di sekitar, dimana PLTS membutuhkan bantuan baterai yang saat ini disebut dengan istilah BESS (Battery Energy Storage System) sehingga energi yang dibangkitkan PLTS menjadi stabil dan penurunan daya terhadap kondisi shading bisa tercover akibat adanya BESS ini.

II. METODE

Metode pengumpulandata dilakukan dengan beberapa cara, diantaranya sebagai berikut :

A. Studi Kepustakaan

Studi pustaka mengenai informasi yang diperoleh dari pengumpulan data maupun teori dari buku, *ebook*, jurnal ilmiah yang berkaitan dengan aliran daya pembangkit listrik tenaga surya, jaringan distribusi, dan *Battery Energy Storage System* (BESS)

B. Studi Literatur

1. Pembangkit Listrik Tenaga Surya

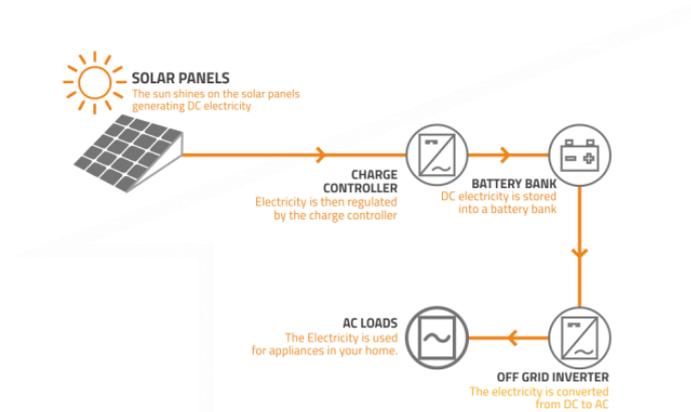
[2]Pembangkit listrik tenaga surya adalah pembangkit yang memiliki prinsip pengkonversian energi dari radiasi matahari diubah menjadi energi listrik. Proses konversi energi ini diakibatkan karena adanya *photovoltaic module* yang berupa potongan-potongan sel kecil yang dirangkai sedemikian rupa dalam bentuk modul. Sel-sel kecil ini berupa lapisan-lapisan tipis dari silikon (si) murni dan bahan semikonduktor lainnya. Apabila bahan tersebut terpapar radiasi matahari maka terjadilah proses konversi energi dan energi listrik yang dihasilkan merupakan tegangan listrik arus searah (DC).

Untuk bisa memanfaatkan hasil konversi energi dari radiasi matahari menjadi energi listrik maka pembangkit listrik tenaga surya ini membutuhkan inverter yang berguna untuk mengubah tegangan arus searah (DC) menjadi arus bolak balik (AC). Pemanfaatan hasil konversi ini harus disesuaikan dengan sistem kelistrikan yang ada di Indonesia yaitu 220 V dan 50 Hz.

Berdasarkan klasifikasinya Pembangkit listrik tenaga surya ini dibagi menjadi 2 yaitu :

a. PLTS *off-grid*

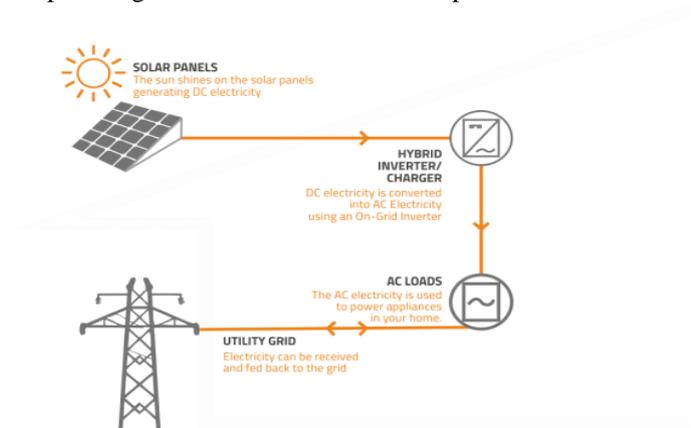
[3]PLTS *off-grid* biasa disebut *stand alone system*, yang artinya sistem ini bisa berdiri sendiri. Pada umumnya sistem PLTS *off-grid* terdiri dari *Photovoltaic module*, *solar charge controller*, *inverter* dan baterai. PLTS *off-grid* dapat beroperasi selama 24 jam dikarenakan memiliki sistem penyimpanan berupa baterai, sistem bisa menjamin ketersediaan pasokan energi listrik tanpa adanya pengaruh kondisi cuaca dan kondisi malam hari. Namun sistem ini sangat bergantung pada kapasitas dan kondisi baterai.



[4]Gambar 1. Pembangkit listrik tenaga surya *Off-Grid*

b. PLTS *on-grid*

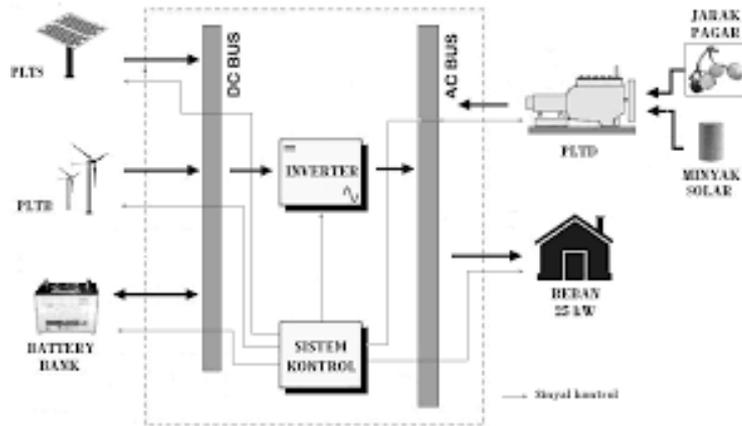
[3]PLTS *on-grid* adalah pembangkit listrik tenaga surya yang terhubung dengan sistem jaringan listrik. Pada umumnya PLTS *on-grid* yang ada di Indonesia sangat bergantung pada sistem jaringan listrik, dikarenakan kebanyakan inverter yang digunakan membutuhkan *supply* energi listrik dari sistem jaringan sehingga bisa mengkonversi tegangan arus searah (DC) menjadi tegangan arus bolak balik (AC). PLTS ini terdiri dari *photovoltaic module*, *inverter* dan *transformator step up*, sehingga dalam prosesnya PLTS *on-grid* hanya dapat beroperasi pada saat matahari terbit sampai matahari akan tenggelam. Pada dasarnya PLTS *on-grid* tergantung kondisi iradian dan memberikan dampak terhadap sistem jaringan listrik, salah satu dampak yang ditimbulkan akibat kondisi *shading* yaitu terjadinya hunting frekuensi dari pembangkit lain dan bisa berakibat *trip/blackout*.



[4]Gambar 2. Pembangkit listrik tenaga surya *On-Grid*

2. Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (PLTH)

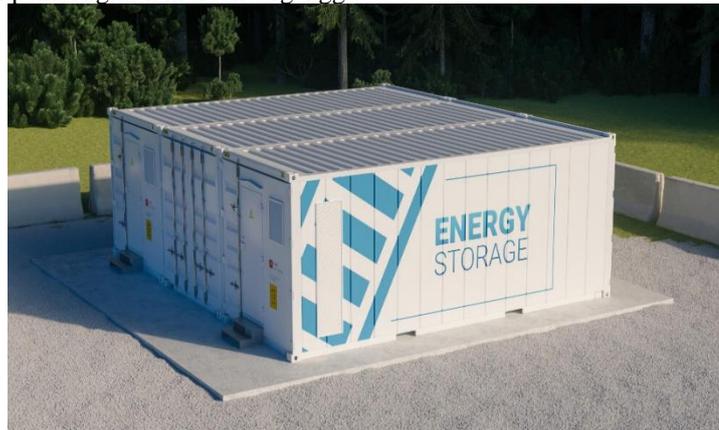
[2]Pembangkit listrik tenaga *hybrid* adalah perpaduan antara beberapa jenis pembangkit antara pembangkit berbahan bakar dengan pembangkit energi baru terbarukan. Adapun pembangkit yang digunakan untuk pembangkit listrik tenaga *hybrid* (PLTH), antara lain pembangkit listrik tenaga diesel (PLTD), pembangkit listrik tenaga surya (PLTS), pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH) dan pembangkit listrik tenaga bayu/angina (PLTB). Pada umumnya pembangkit listrik tenaga *hybrid* (PLTH) terdiri dari Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) dan pembangkit listrik tenaga diesel (PLTD) dengan pola operasi PLTD beroperasi 24 jam dan PLTS beroperasi pada siang hari (matahari terbit sampai akan terbenam).



[5]Gambar 3. Pembangkit listrik tenaga Hybrid

3. Battery Energy Storage System (BESS)

[6]Battery Energy Storage System (BESS) saat ini menjadi alternatif untuk meningkatkan pasokan energi listrik pada saat beban puncak karena memiliki fasilitas penyimpanan energi dengan sistem yang cukup baik. Terdiri dari 2 peralatan utama yaitu, baterai dan *bi-directional* inverter. Baterai yang digunakan memiliki kemampuan *charge* dan *discharge* yang cepat sehingga bisa mengkompensasi PLTS yang memiliki sifat *intermittent*, sehingga dalam penggunaannya BESS dapat membantu mensuplai energi ketika PLTS terjadi kondisi *shading* dan pembangkit lain tidak terganggu.

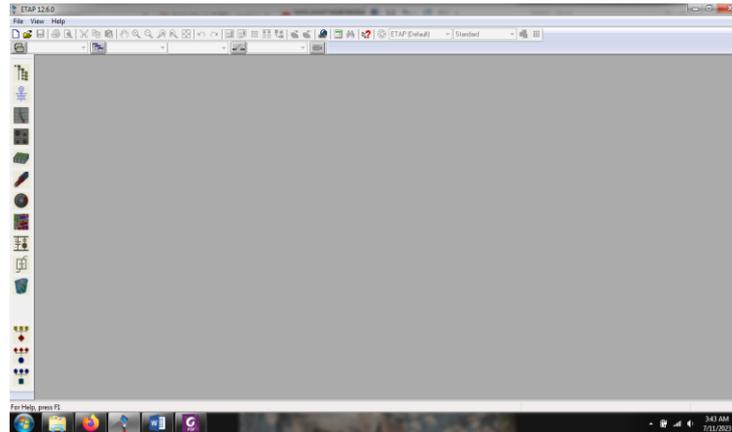


[7]Gambar 4. Battery Energi Storage System (BESS)

4. Aplikasi Etap 12.6

[8]Software Etap 12.6 adalah perangkat lunak yang berguna untuk mendukung masalah-masalah yang timbul pada sistem tenaga listrik. Etap digunakan untuk merancang dan menguji serta mensimulasikan sistem tenaga listrik yang akan atau sudah dibangun. Dalam penggunaannya Etap bisa membantu menganalisis beberapa permasalahan yang ditimbulkan pada sistem tenaga listrik, antara lain :

1. Analisa aliran daya
2. Analisa hubung singkat
3. Arc flash analysis
4. Starting motor
5. Kordinasi proteksi
6. Analisa kestabilan transient, dll



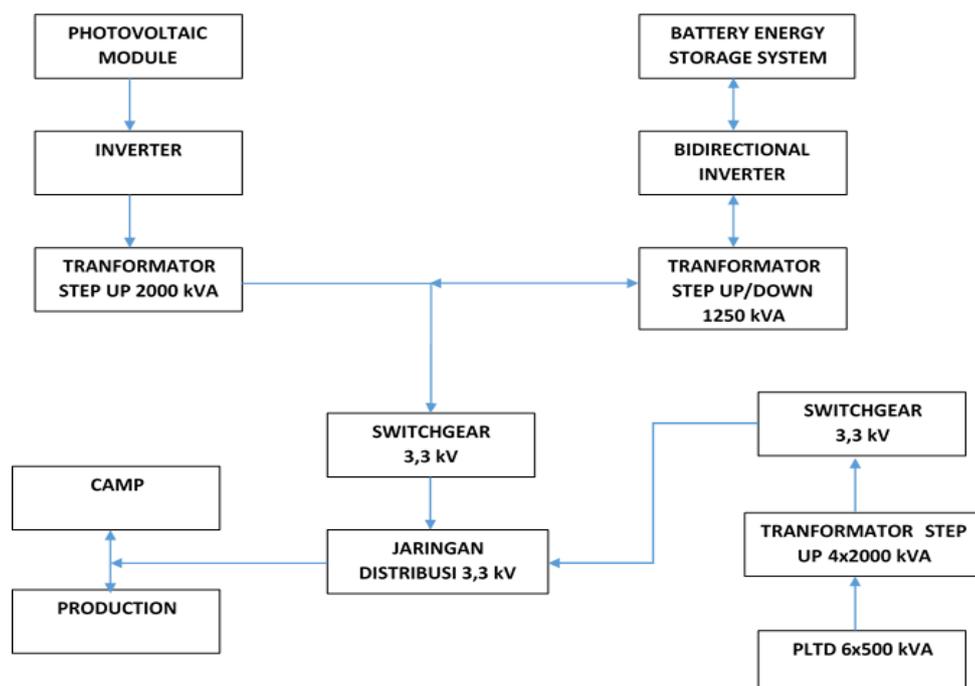
Gambar 5. Tampilan *Software Etap 12.6*

Kelebihan dari *Etap* yaitu sudah dilengkapi dengan 2 standar internasional yaitu ANSI dan IEC. Pengguna *Etap* dapat bekerja secara langsung dengan tampilan gambar *single line diagram*, dan dirancang dengan 3 konsep utama, antara lain :

1. *Virtual Reality Operasi*
Sistem operasi yang ada mirip dengan kondisi sistem aslinya. Seperti ketika membuka atau menutup *circuit breaker* dan mengubah status operasi suatu motor
2. *Total Integration Data*
Etap menggabungkan informasi sistem elektrik, sistem mekanik, sistem logika, dan data fisik dari yang dibuat dari sistem aslinya. Contoh, komponen kabel berisikan informasi data spesifikasi kabel sesuai standar ANSI dan IEC. Data tersebut dapat digunakan untuk menganalisis aliran daya (*load flow analysis*) dan analisa hubung singkat (*short circuit analysis*).
3. *Simplicity in Data Entry*
Etap memiliki data detail untuk setiap komponen yang digunakan sesuai dengan data-data yang ada dilapangan dan bisa menggunakan editor data untuk mempercepat proses *entry* data.

C. Perancangan Sistem

Perancangan sistem ini membahas mengenai blok diagram sistem kerja dari Pembangkit Listrik Tenaga Surya Hybrid dengan *Battery Energy Storage System (BESS)*.



Gambar 6. Blok diagram sistem

Blok diagram dibuat untuk mempermudah dalam menjelaskan sistem kerja Pembangkit listrik tenaga *hybrid*. Pembangkit ini terdiri dari 2 pembangkit, antara lain :

1. Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS On-grid) dengan transformator *step-up* 400 Volt ke 3300 Volt sinkron dengan *Battery Energy Storage System (BESS)* dilengkapi dengan *bi-directinal* inverter sehingga bisa digunakan untuk *charge* dan *discharge* dengan transformator *Step-up/Down* 690 Volt – 3300 Volt
2. Pembangkit listrik tenaga diesel (PLTD) yang sebelumnya sudah ada untuk mensuplai area produksi dan camp.
3. Antara PLTS dan PLTD ini sinkron pada tegangan 3300 Volt yang didistribusikan pada jaringan dengan panjang 2,2 km, proses sinkron secara otomatis terjadi pada sisi inverter PLTS maupun BESS

D. Analisa Sistem

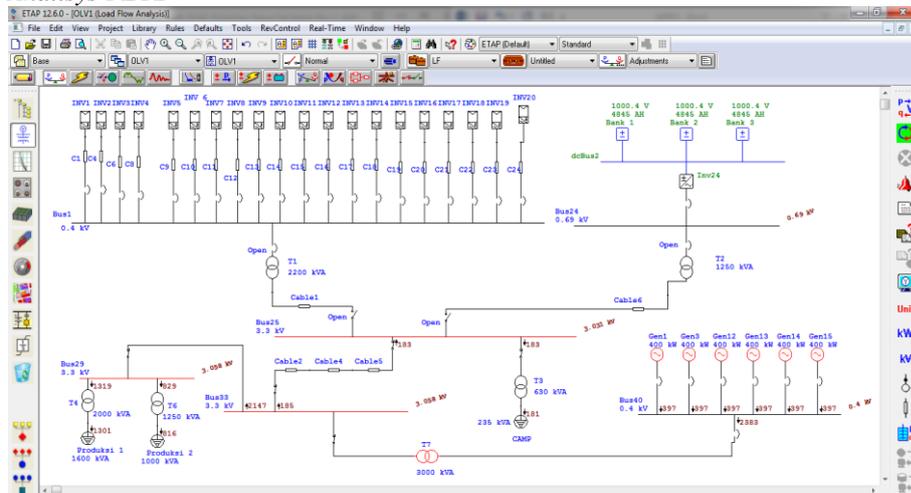
Pengujian sistem dilakukan dengan cara simulasi menggunakan *Etap 12.6*, adapun Tahapan untuk menganalisa aliran daya menggunakan *Etap 12.6*, antara lain :

1. Membuat *single line diagram*
Tahap pertama yaitu membuat *single line diagram* dengan data yang sudah diperoleh dari lapangan.
2. Data masukan
Tahap kedua yaitu memasukkan data komponen yang sudah didapat dari observasi di lapangan
3. Pelaksanaan program
Tahap selanjutnya yaitu dengan cara jalankan program untuk *load flow analysis* dan cara yang sama dilakukan dengan beberapa sekenario yang sudah direncanakan sebelumnya.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa sekenario untuk mengetahui perbandingan aliran daya dari pembangkit secara individu maupun secara *hybrid* (menggabungkan dua pembangkit dengan karakteristik yang berbeda). Berikut sekenario analisis yang telah dilakukan, antara lain :

1. *Load Flow Analisis PLTD*



Gambar 7. *Load Flow Analisis PLTD*

Hasil simulasi aliran daya, yaitu :

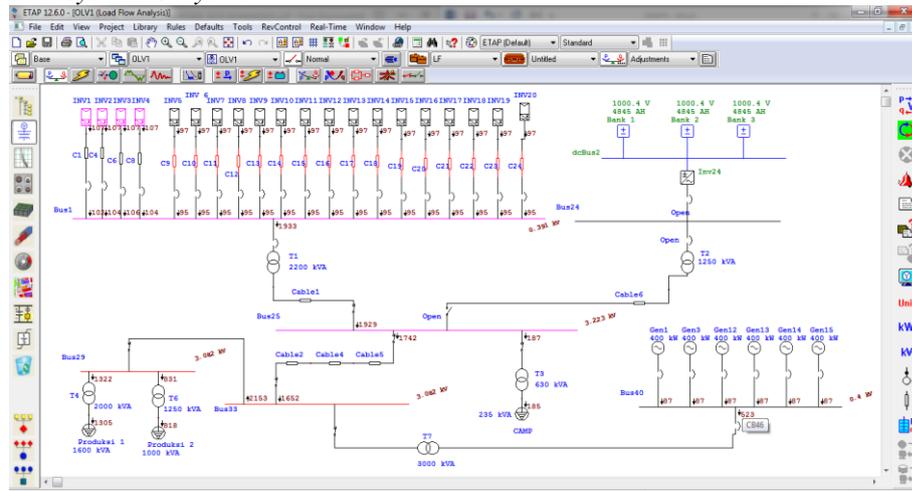
Tabel 1. *Load Flow Analisis PLTD*

Bus	Tegangan (kV)	Daya Aktif (kW)
Bus 40 (PLTD)	0.4	2383
Bus 33 (Step Up)	3.058	2332
Bus 29 (beban produksi)	3.058	2148
Bus 25 (sinkron & beban camp)	3.031	183

Dari hasil simulasi proyeksi instalasi yang ada di Banpu, dibuat 4 bus utama yaitu:

- Bus 40 adalah bisa dikatakan sebagai panel sinkron PLTD
- Bus 33 adalah kubikel sebagai pengaman *transformator step up* 3000 kVA dan jaringan distribusi
- Bus 29 adalah kubikel sebagai pengaman *transformator step down* 2000kVA dan 1250kVA
- Bus 25 sebagai pengaman *transformator step down* 630kVA yang ada di *camp*

2. Load Flow Analisis PLTS Hybrid



Gambar 8. Load Flow Analisis PLTS Hybrid

Hasil simulasi aliran daya, yaitu :

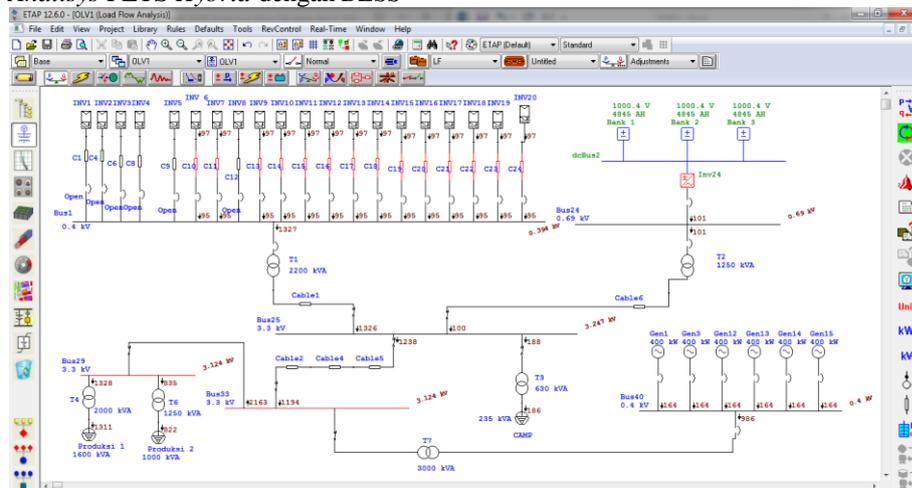
Tabel 2. Load Flow Analisis PLTS Hybrid

Bus	Tegangan (kV)	Daya Aktif (kW)
Bus 40 (PLTD)	0.4	523
Bus 33 (Step Up)	3.082	2153
Bus 29 (beban produksi)	3.082	2153
Bus 25 (sinkron & beban camp)	3.211	1929
Bus 1 (sinkronisasi inverter)	0.389	1933

Penambahan PLTS pada sistem kelistrikan di Banpu cukup membantu, penambahan instalasi pada bus 25 PLTS sinkron dengan jaringan distribusi 3300 Volt. Jika pada bus 1 sebagai panel sinkron inverter dengan tegangan 389 Volt maka untuk bisa sinkron di bus 25 perlu ditambah transformator step up 2200 kVA. Proses sinkron dilakukan inverter, karena desain inverter ini bisa menyesuaikan dengan tegangan, frekuensi dan urutan fasa sesuai tegangan grid yang masuk pada inverter.

Jika simulasi sebelumnya bus 40 terukur 2383kW, setelah penambahan PLTS terjadi penurunan daya bus 40 terukur 523 kW yang artinya PLTS sangat membantu karena hampir 70% beban di Banpu dipikul PLTS dengan total daya yang dibangkitkan 1929 kW.

3. Load Flow Analisis PLTS Hybrid dengan BESS



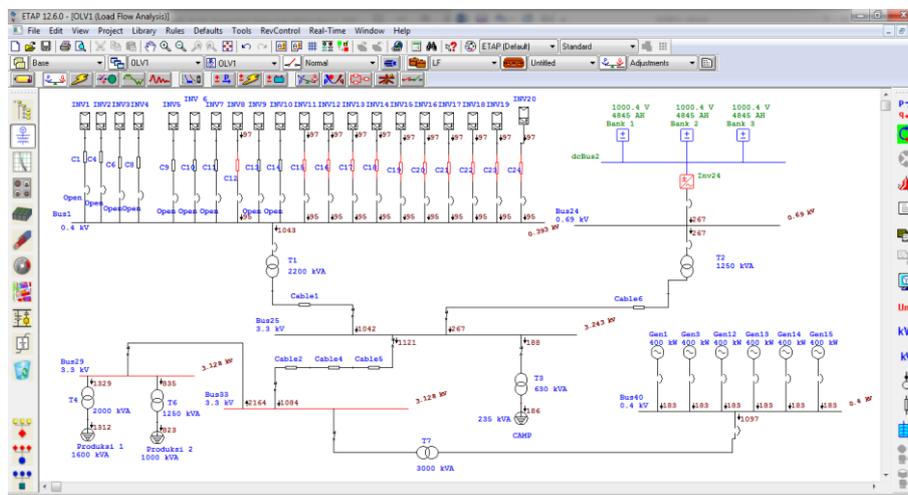
Gambar 8. Load Flow Analisis PLTS Hybrid dengan BESS (PLTS 70%)

Hasil simulasi aliran daya, yaitu :

Table 3. *Load Flow Analisis PLTS Hybrid dengan BESS (PLTS 70%)*

Bus	Tegangan (kV)	Daya Aktif (kW) 100 % PLTS	Daya Aktif (kW) 70 % PLTS
Bus 40 (PLTD)	0.4	755	949
Bus 33 (Step Up)	3.123	2161	2163
Bus 29 (beban produksi)	3.123	2161	2163
Bus 25 (sinkron & beban camp)	3.248	1930	1465
Bus 1 (sinkronisasi inverter)	0.394	1934	1422
Bus 24 (BESS Discharge)	0.69	256	45

Hasil simulasi berikutnya yaitu membandingkan pada saat kondisi PLTS 100% daya puncak yang dibangkitkan dan PLTS kondisi 70% daya yang dibangkitkan, terlihat pada tabel 4.4 terlihat penurunan daya PLTS sekitar 30% dan kenaikan daya terjadi pada PLTD sekitar 30% pada kondisi beban normal Banpu. Terjadi perubahan kondisi pada area BESS di bus 24 dengan adanya daya yang dibangkitkan atau kondisi *discharge* 45 kW.



Gambar 9. *Load Flow Analisis PLTS Hybrid dengan BESS (PLTS 50%)*

Hasil simulasi aliran daya, yaitu :

Table 4. *Load Flow Analisis PLTS Hybrid dengan BESS (PLTS 50%)*

Bus	Tegangan (kV)	Daya Aktif (kW) 100 % PLTS	Daya Aktif (kW) 50% PLTS
Bus 40 (PLTD)	0.4	755	1135
Bus 33 (Step Up)	3.129	2161	2164
Bus 29 (beban produksi)	3.129	2161	2164
Bus 25 (sinkron & beban camp)	3.248	1930	1269
Bus 1 (sinkronisasi inverter)	0.394	1934	948
Bus 24 (BESS Discharge)	0.69	256	322

Hasil simulasi berikutnya dengan kondisi PLTS terjadi penurunan sebanyak 50% dari daya puncak yang dibangkitkan, jika dilihat pada tabel 4 perubahan penurunan daya terjadi pada PLTS sekitar 50% dari daya yang dibangkitkan. Dan kenaikan daya yang dibangkitkan pada PLTD sekitar 35% dari sebelumnya ketika PLTS berada di daya puncak yang dibangkitkan.

Pada area BESS terlihat perubahan yang cukup signifikan ketika PLTS pada daya puncak yang dibangkitkan BESS berapa pada kondisi *stanby* (*charging*) dengan daya 256 kW, namun pada saat terjadi penurunan daya dari PLTS perubahan besar terjadi BESS berada pada kondisi *discharge* dengan daya yang dibangkitkan 322 kW.

V. SIMPULAN

Dari penelitian yang sudah dilakukan mengenai pengaruh *Battery Energy Storage System* (BESS) pada pembangkit listrik tenaga *hybrid* di Banpu – Kalimantan Timur dapat disimpulkan bahwa:

1. Penambahan *Battery Energy Storage System* (BESS) sangat mempengaruhi sistem kelistrikan pada pembangkit listrik tenaga *hybrid*, hal ini dibuktikan adanya *Battery Energy Storage System* (BESS) dapat mengurangi peningkatan kenaikan daya pada pembangkit listrik tenaga diesel
2. Penurunan daya dari PLTS sebesar 50% terjadi peningkatan terhadap pembangkit PLTD sebesar 55%.
3. Penurunan daya dari PLTS sebesar 30% terjadi peningkatan daya dari PLTD sebesar 21%.
4. Penurunan daya sebesar 50% dari PLTS terjadi peningkatan daya pada PLTD sebesar 34%
5. Pengaturan pola operasi PLTD tidak mempengaruhi sistem jaringan

REFERENSI

- [1] “Andil Lemigas Sukseskan Transition To Net Zero Emission dengan CCUS | Situs Ditjen Migas,” *kementerian ESDM*, 2020. <https://migas.esdm.go.id/post/read/andil-lemigas-sukseskan-transition-to-net-zero-emission-dengan-ccus> (accessed Jul. 24, 2023).
- [2] N. Hajir, “PLANNING ANALYSIS OF ROOF SOLAR POWER PLANT WITH HYBRID SYSTEM AT PT EAST COLONY,” 2021.
- [3] P. Arya Mertasana, “PENGARUH KEBERSIHAN MODUL SURYA TERHADAP,” 2017.
- [4] “Perbedaan On Grid, Off Grid dan Hybrid pada PLTS,” *sedayu.com*, 2020. <https://sedayu.com/2021/12/27/perbedaan-on-grid-off-grid-dan-hybrid-pada-plts/> (accessed Jul. 26, 2023).
- [5] A. Nurrohim, “PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA HIBRID SEBAGAI SOLUSI KELISTRIKAN DI DAERAH TERPENCIL,” 2012.
- [6] A. Jabbar Asyadili, “Penalaan Kontroler PID dan Battery Energy Storage System (BESS) untuk Load Frequency Control (LFC) Menggunakan BAT Algorithm (BA),” 2019.
- [7] “Indonesia bangun fasilitas penyimpanan listrik berbasis baterai 5 MW - Indonesia Window,” *indonesiawindow.com*, 2022. <https://indonesiawindow.com/indonesia-bangun-fasilitas-penyimpanan-listrik-berbasis-baterai-5-mw/> (accessed Jul. 24, 2023).
- [8] M. Hafid and M. JP, “Perancangan Perancangan Interkoneksi Pembangkit Listrik Tenaga Surya 1 MWp On-Grid Pada Jaringan Distribusi Cileungsi,” *SUTET*, vol. 9, no. 2, pp. 112–124, Dec. 2019, doi: 10.33322/sutet.v9i2.901.
- [9] B. Ramadhani, “Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Dos & Don'ts,” 2018.
- [10] “Standar Nasional Indonesia,” 2020. [Online]. Available: www.bsn.go.id
- [11] “Standar Nasional Indonesia,” 2017, [Online]. Available: www.bsn.go.id
- [12] F. Sutijastoto, “Panduan Komisioning PLTS off grid,” 2020.
- [13] A. Rachmi, B. Praskoso, H. Berchmans, I. Agustina, I. Devi Sara, and Winne, “Panduan Perencanaan dan Pemanfaatan PLTS ATAP DI INDONESIA_final-1,” 2020.
- [14] O. Jamaaluddin, *BUKU PETUNJUK PENGOPERASIAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) Diterbitkan oleh UMSIDA PRESS*. 2021.

Conflict of Interest Statement:

The author declares that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.