

BESS Revolutionizes Renewable Stability in Indonesia: BESS Merevolusi Stabilitas Energi Terbarukan di Indonesia

Muhamad Saifudin Zuhri
Jamaluddin Jamaluddin
Shazana Dhiya Ayuni
Izza Anshory

Universitas Muhammadiyah Sidoarjo
Universitas Muhammadiyah Sidoarjo
Universitas Muhammadiyah Sidoarjo
Universitas Muhammadiyah Sidoarjo

This study examines the integration of Battery Energy Storage Systems (BESS) with Solar Power Plants (PLTS) to enhance electrical grid stability in Indonesia, where 90% of electricity is from fossil fuels. The intermittent nature of PLTS often destabilizes the network, causing frequency hunting or blackouts. Using Etap 12.6 software, simulations showed that adding BESS to hybrid PLTS-PLTD systems significantly mitigates these issues. For instance, a 50% drop in PLTS power without BESS required a 55% increase in PLTD power, but with BESS, this increase was only 34%. Thus, BESS is crucial for stabilizing renewable energy integration and supporting Indonesia's Net-Zero Emissions goal.

Highlights:

BESS Stabilizes Power: Reduces impact of PLTS power fluctuations on PLTD.

Simulation Insight: 50% PLTS drop increases PLTD by 34% with BESS.

Net-Zero Goal: BESS supports Indonesia's renewable energy and emission targets.

Keywords: Renewable Energy, Solar Power, Battery Storage, Electrical Grid Stability, Indonesia

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.

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 silicon (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.

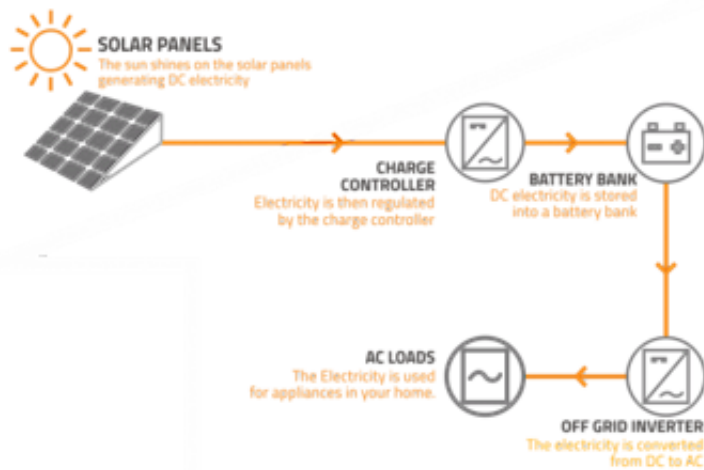


Figure 1. Pembangkit listrik tenaga surya Off-Grid

[4]

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.

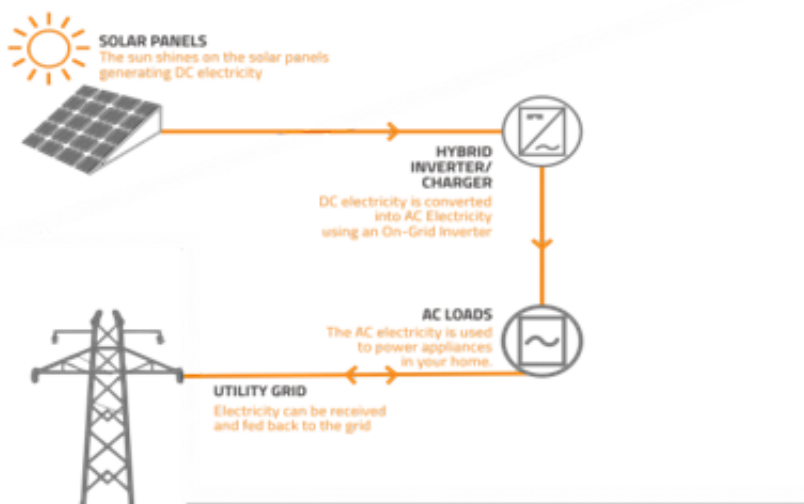


Figure 2. Pembangkit listrik tenaga surya On-Grid

[4]

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).

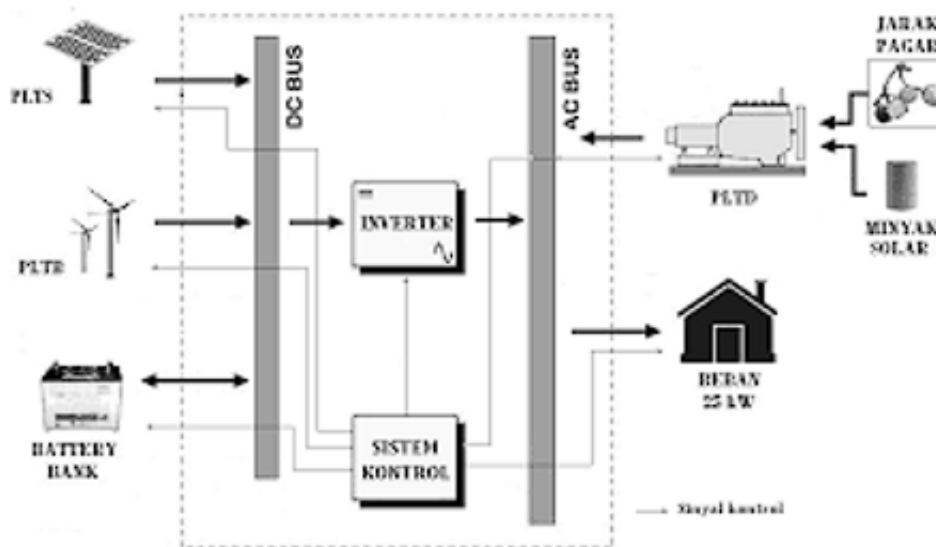


Figure 3. Pembangkit listrik tenaga Hybrid

[5]

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.



Figure 4. *Battery Energi Storage System (BESS)*

[7]

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

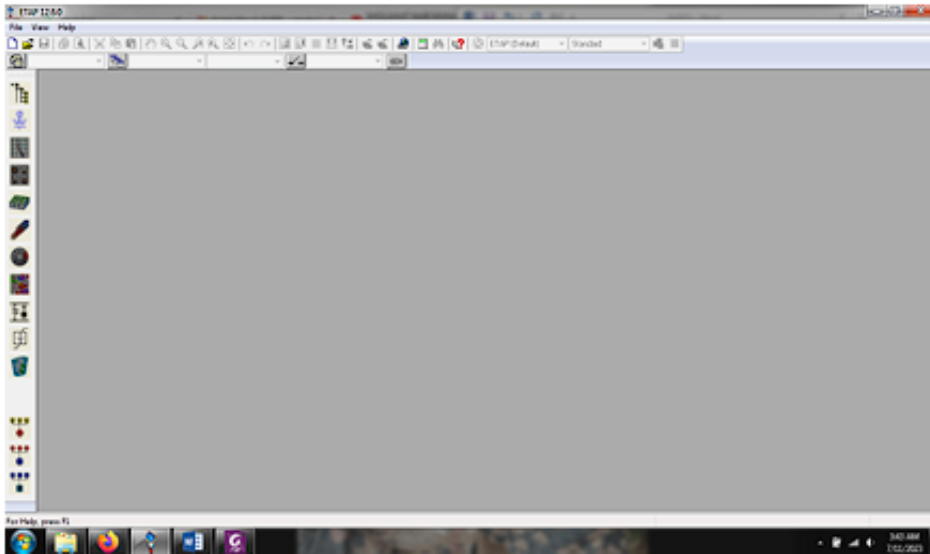


Figure 5. *Tampilan Software Etap 12.6*

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 elektrikal, 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 analisis) dan analisa hubung singkat (short circuit analisis).

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).

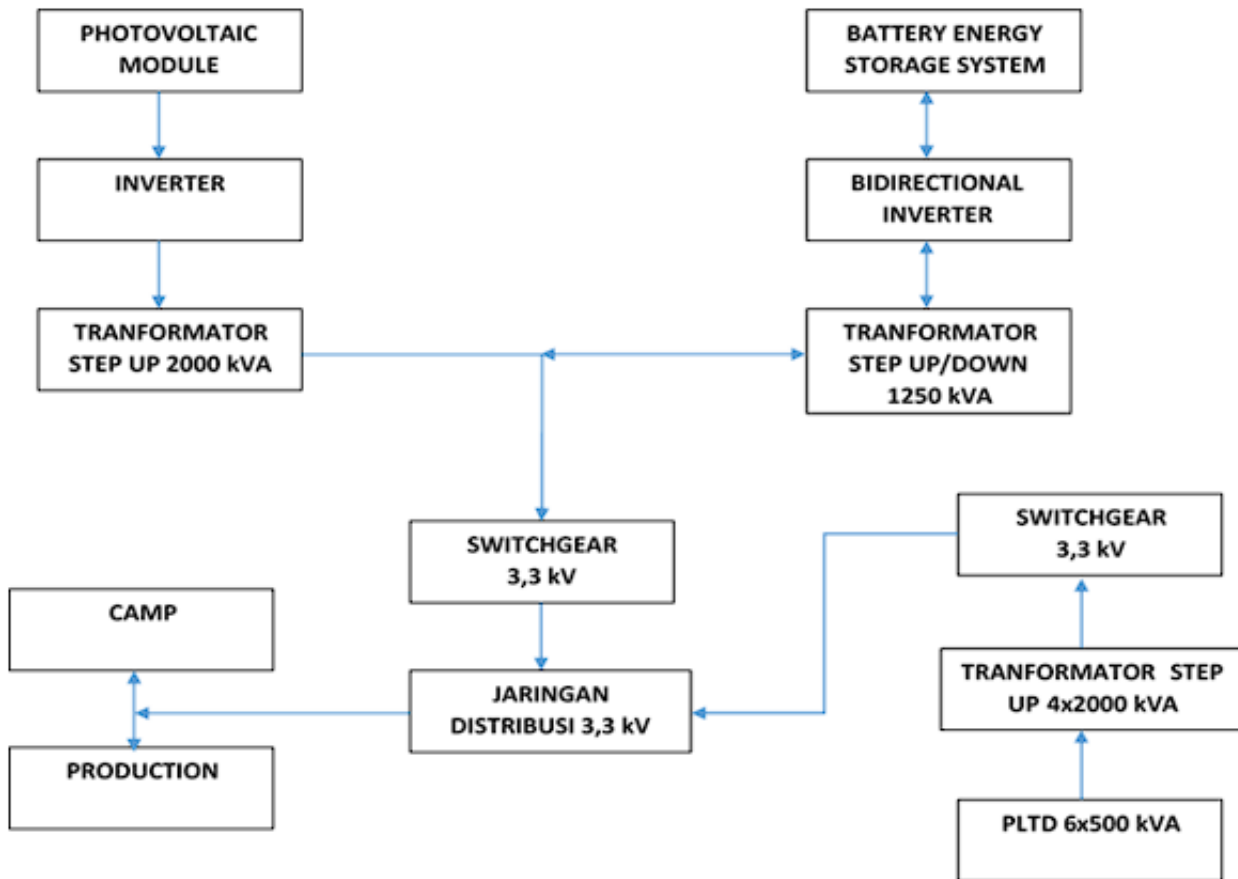


Figure 6. Blok diagram sistem

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 tranformator 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 tranformator 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 analysys dan cara yang sama dilakukan dengan beberapa sekenario yang sudah direncanakan sebelumnya.

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

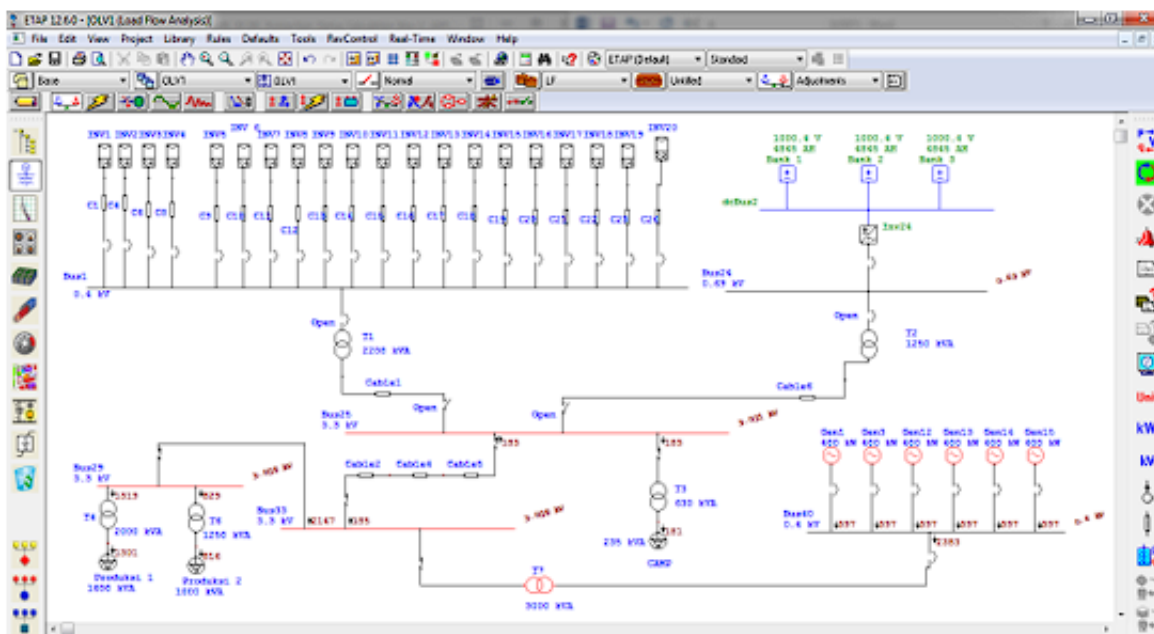


Figure 7. Load Flow Analisis PLTD

Hasil simulasi aliran daya, yaitu :

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

Table 1. Load Flow Analisis PLTD

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

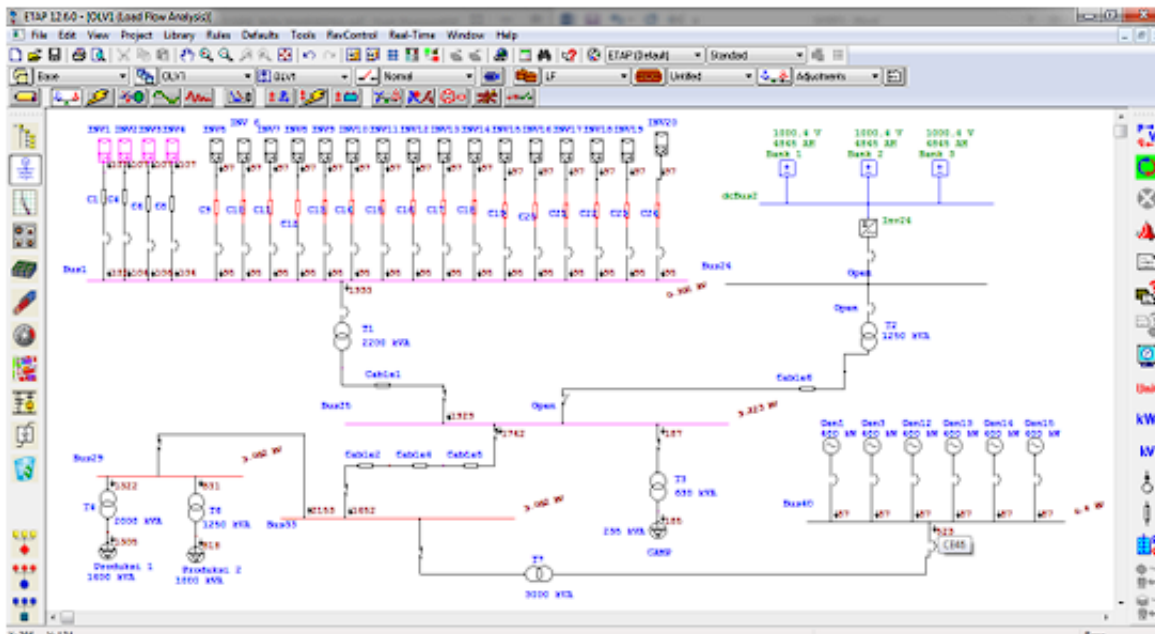


Figure 8. Load Flow Analisis PLTS Hybrid

Hasil simulasi aliran daya, yaitu :

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

Table 2. Load Flow Analisis PLTS Hybrid

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

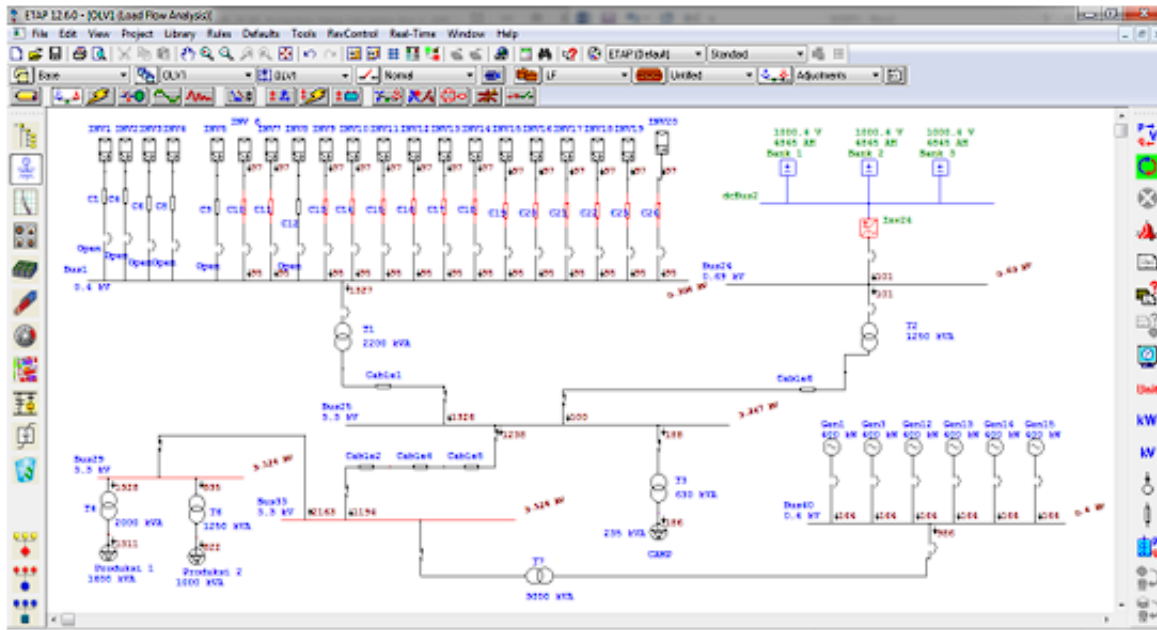


Figure 9. Load Flow Analisis PLTS Hybrid dengan BESS (PLTS 70%)

Hasil simulasi aliran daya, yaitu :

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

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

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.

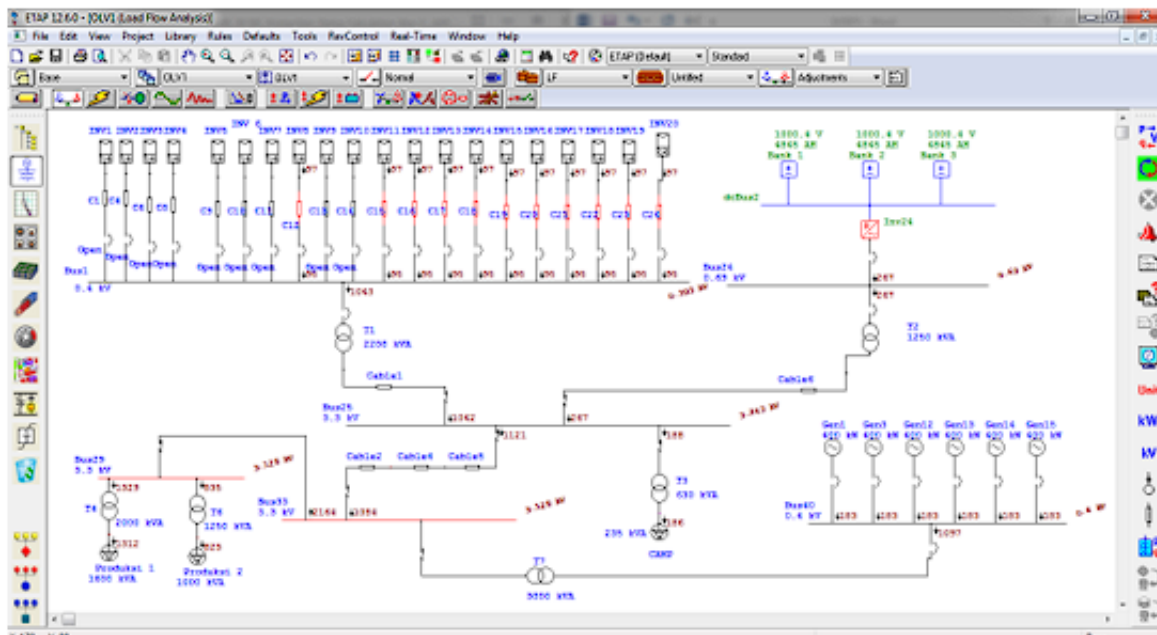


Figure 10. Load Flow Analisis PLTS Hybrid dengan BESS (PLTS 50%)

Hasil simulasi aliran daya, yaitu :

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

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

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.

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

References

1. 1. Kementerian ESDM, "Andil Lemigas Sukseskan Transition To Net Zero Emission Dengan CCUS," Situs Ditjen Migas, 2020. [Online]. Available: <https://migas.esdm.go.id/post/read/andil-lemigas-sukseskan-transition-to-net-zero-emission-dengan-ccus>. [Accessed: Jul. 24, 2023].
2. 2. N. Hajir, "Planning Analysis of Roof Solar Power Plant with Hybrid System at PT East Colony," 2021.
3. 3. P. A. Mertasana, "Pengaruh Kebersihan Modul Surya Terhadap Efisiensi," 2017.
4. 4. Sedayu.com, "Perbedaan On Grid, Off Grid dan Hybrid pada PLTS," 2020. [Online]. Available: <https://sedayu.com/2021/12/27/perbedaan-on-grid-off-grid-dan-hybrid-pada-plts/>. [Accessed: Jul. 26, 2023].
5. 5. A. Nurrohim, "Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid sebagai Solusi Kelistrikan di Daerah Terpencil," 2012.
6. 6. A. J. Asyadili, "Penalaan Kontroler PID dan Battery Energy Storage System (BESS) untuk Load Frequency Control (LFC) Menggunakan BAT Algorithm (BA)," 2019.
7. 7. Indonesia Window, "Indonesia Bangun Fasilitas Penyimpanan Listrik Berbasis Baterai 5 MW," 2022. [Online]. Available: <https://indonesiawindow.com/indonesia-bangun-fasilitas-penyimpanan-listrik-berbasis-baterai-5-mw/>. [Accessed: Jul. 24, 2023].
8. 8. M. Hafid and M. JP, "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. 9. B. Ramadhani, "Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya: Dos & Don'ts," 2018.
10. 10. Badan Standardisasi Nasional, "Standar Nasional Indonesia," 2020. [Online]. Available: www.bsn.go.id.
11. 11. Badan Standardisasi Nasional, "Standar Nasional Indonesia," 2017. [Online]. Available: www.bsn.go.id.
12. 12. F. Sutijastoto, "Panduan Komisioning PLTS Off Grid," 2020.
13. 13. A. Rachmi, B. Praskoso, H. Berchmans, I. Agustina, I. D. Sara, and Winne, "Panduan Perencanaan dan Pemanfaatan PLTS Atap di Indonesia," 2020.
14. 14. O. Jamaaluddin, J. Mojopahit, and B. Sidoarjo, "Buku Petunjuk Pengoperasian Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)," UMSIDA Press, 2021.
15. 15. A. Gumintang, F. Sofyan, and I. Sulaeman, "Design and Control of PV Hybrid System in Practice," 2020.