

Optimasi *Battery Energy Storage System* Dalam Mengatasi *Renewable Energy Intermittency* dan *Load Leveling*

Novi Indriani, Iwa Garniwa

Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia
Depok 16423
E-mail: novi.indriani81@ui.ac.id

Naskah Masuk: 14 Februari 2022; Diterima: 02 Maret 2022; Terbit: 25 Maret 2022

ABSTRAK

Abstrak - Perkembangan pemanfaatan energi terbarukan di Indonesia saat ini tumbuh pesat, salah satunya adalah penggunaan *Photovoltaic* (PV). Namun masalah *intermittency* masih menjadi isu dari sisi pengoperasian PV. Untuk itu diperlukan adanya suatu *storage system* yang dapat menyuplai daya dengan cepat ketika PV tidak dapat beroperasi karena kondisi cuaca. *Battery Energy Storage System* (BESS) merupakan salah satu teknologi *Energy Storage System* yang dapat beroperasi dengan cepat untuk menyuplai kebutuhan listrik guna menjaga keandalan sistem dan menstabilkan penggunaan listrik dari energi terbarukan, seperti panel surya dan turbin angin. *Battery Energy Storage System* (BESS) sebagai alternatif dari teknologi penyimpanan jangka pendek yang berfungsi untuk meningkatkan suplai daya pada saat beban puncak dan *curtailment* sistem PV serta jangka panjang sebagai penyimpanan energi pada sistem kelistrikan di Pulau Timor. Pada studi ini diusulkan model yang mengintegrasikan PV System dan BESS terhadap sistem kelistrikan Pulau Timor dimana saat ini kebutuhan listriknya di suplai dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), *Leasing Marine Vessel Power Plant* (LMVPP), Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) dan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Model ini digunakan untuk mengetahui dampak integrasi PV-BESS terhadap Biaya Pokok Produksi (BPP) sistem. Meskipun harga BESS ini masih relatif mahal namun diharapkan dengan penggunaan BESS ini dapat meningkatkan keandalan sistem, meningkatkan bauran EBT dan mengurangi dampak lingkungan karena emisi. Simulasi dilakukan dengan membandingkan BPP sistem pada kondisi normal, kondisi intermitensi PV dan *load leveling*. Nilai BPP sistem dari hasil simulasi intermitensi PLTS dengan menggunakan BESS sebesar Rp 2.188,9/kWh dan simulasi *Load leveling* dengan BESS sebesar Rp. 2.174,11/kWh. BPP sistem untuk kedua simulasi tersebut masih lebih rendah jika dibandingkan dengan BPP sistem tanpa BESS yang berkisar Rp 2.202,01/kWh. Secara keekonomian BESS dapat menurunkan BPP sistem setempat.

Kata kunci: *Battery Energy Storage System*, Fotovoltaik, Biaya Pokok Produksi, *Intermittency*, *Load Leveling*

ABSTRACT

Abstract - The development of renewable energy in Indonesia is currently growing rapidly, Photovoltaic (PV) is one of them. However, the problem of intermittency is still an issue in PV operations. For this reason, it is necessary to have a storage system that can supply power quickly when the PV cannot operate due to weather conditions. Battery Energy Storage System (BESS) is an Energy Storage System technology that can operate quickly to supply electricity needs to maintain system reliability and stabilize electricity from renewable energy, such as PV and wind turbines. Battery Energy Storage System (BESS) as an alternative to short-term storage technology that functions to increase power supply during peak loads and curtailment of PV systems as well as long-term energy storage in the electricity system on Timor Island. This study proposes a model that integrates the PV System and BESS to the Timor Island electricity system where currently the electricity needs are supplied from Coal Fired Steam Power Plant (CFSP), Leasing Marine Vessel Power Plant (LMVPP), Diesel Power Plant (DPP) and Photovoltaic (PV). This model is used to determine the impact of PV-BESS integration on the production cost of the system. Although the price of BESS is still relatively expensive, but the use of BESS is expected to increase the reliability of the system, increase the energy mix and reduce environmental impacts due to emissions. Simulation is done by comparing the system production cost under normal conditions, PV intermittent conditions and load leveling. The system production cost value from the PV intermittent simulation results using BESS is IDR 2,188.9/kWh and load leveling simulation with BESS is IDR 2,174.11/kWh. The production cost of the system for both simulation is still lower than system cost production without BESS which is IDR 2,202.01/kWh. Economically, BESS can reduce cost production of the local system.

Keywords: *Battery Energy Storage System*, Photovoltaic, Cost Production, *Intermittency*, *Load Leveling*

Copyright © 2022 Universitas Muhammadiyah Jember.

1. PENDAHULUAN

Indonesia memiliki potensi energi terbarukan yang dapat digunakan dalam proses pembangkitan tenaga listrik dengan prediksi cadangan panas bumi (29,544 GW), air (75,091 GW), matahari (207,898 GW), angin (60,647 GW) dan energi laut (727 GW). Potensi tersebut merupakan *comparative advantage* bagi Indonesia untuk memenuhi kebutuhan energi dalam negeri (swasembada energi). Bila potensi tersebut ditingkatkan menjadi *competitive advantage* akan membuat kekuatan energi nasional yang kuat dan berdampak pada ketahanan nasional yang tinggi. Perkembangan pemanfaatan energi terbarukan di Indonesia saat ini tumbuh pesat, salah satunya adalah penggunaan *Photovoltaic* (PV). Kebutuhan untuk dekarbonisasi sistem energi mengikuti *Paris Agreement* meningkatkan penetrasi bauran energi terbarukan [1]. Di dalam Rencana Umum Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) 2021 – 2030, PT PLN (Persero) telah merencanakan bauran energi dari EBT sebesar 23% mulai tahun 2025 dan mendukung porsi EBT pada rencana pembangkit baru lebih dari 50% dimana pembangunan PLTS mendapat porsi sebesar 4,68 GW atau sekitar 12% dari total rencana penambahan pembangkitan yakni sebesar 40.6 GW. Namun masalah *intermittency* masih menjadi isu dari sisi pengoperasian PV terutama untuk PLTS yang terhubung dengan sistem (*On-Grid*). Untuk itu diperlukan adanya suatu *storage system* yang dapat mensuplai daya dengan cepat ketika PV tidak dapat beroperasi karena kondisi cuaca [2]. *Battery Energy Storage System* (BESS) merupakan salah satu teknologi *Energy Storage System* yang dapat beroperasi dengan cepat untuk mensuplai kebutuhan listrik guna menjaga kehandalan sistem dan menstabilkan penggunaan listrik dari energi terbarukan.

Pulau Timor adalah sebuah pulau di bagian selatan Indonesia yang terbagi antara wilayah negara Timor Leste dan kawasan Timor Barat yang merupakan bagian dari provinsi Nusa Tenggara Timur - Indonesia. Sistem kelistrikan di Pulau Timor atau biasa disebut Sistem Timor saat ini mendapat pasokan listrik dari PLTD, PLTU PLN, PLTU IPP, LMVPP, PLTMG Peaker dan PLTS dengan total daya mampu sebesar 202,25 MW. Beban puncak di Sistem Timor sebesar 96,3 MW. PLTS di Timor merupakan pembangkit *intermittent* dimana hanya beroperasi dari pukul 07:00 sampai dengan 17:00. Pada penelitian ini akan dilakukan analisa terhadap pemanfaatan BESS untuk mengatasi *renewable energy intermittency* dan *load leveling*. PLTU sebagai pembangkit *base load* dengan bahan bakar murah dapat dimanfaatkan untuk *charging* BESS pada saat kondisi beban rendah dan melepaskan energi selama kondisi *intermittency* PLTS terjadi. Untuk aplikasi BESS sebagai *load leveling* maka BESS menyerap daya selama kondisi beban rendah dan melepaskan energi selama kondisi beban puncak. BESS digunakan untuk mengontrol *economic dispatch* sistem dengan mempertimbangkan *unit commitment* dari pembangkit konvensional [3].

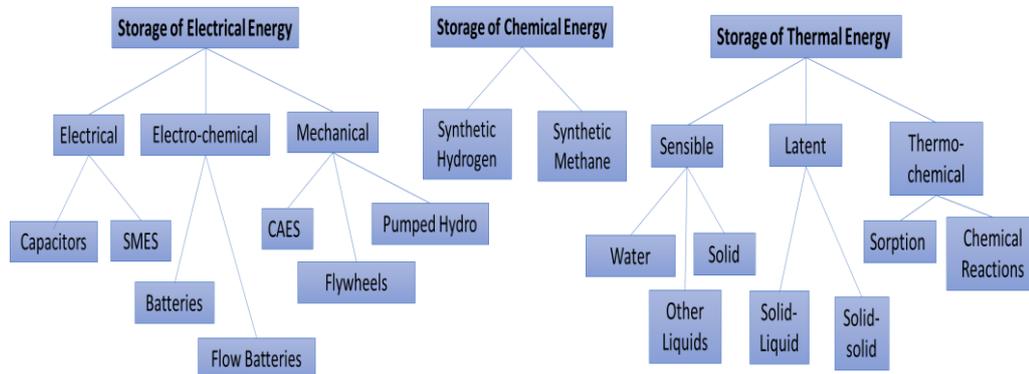
Penelitian ini bertujuan untuk membuat studi yang optimum dari desain *Battery Energy Storage System* yang diharapkan dapat mengatasi masalah *intermittency* PLTS *on grid* di Pulau Timor sehingga dapat meningkatkan kehandalan sistem dan mengurangi dampak lingkungan karena emisi. BESS memungkinkan waktu *charging* dan *discharging* yang cepat untuk secara efektif meningkatkan fleksibilitas jaringan listrik, terutama yang mengintegrasikan beberapa sumber energi terbarukan [4]. Pada aplikasi *load leveling*, BESS berguna untuk mengurangi kapasitas operasi dari PLTMG Peaker yang biaya bahan bakarnya cukup mahal. Manfaat dari penelitian ini ialah menjadi salah satu solusi dari masalah *intermittency* yang selalu menjadi isu penting dalam pengoperasian PLTS *on grid* dan memberikan gambaran mengenai biaya pokok produksi dengan penerapan BESS terhadap sistem kelistrikan Pulau Timor.

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1 *Energy Storage System*

Berdasarkan teknologi *storage* yang digunakan maka perangkat *Energy Storage* dapat dikategorikan sebagai perangkat mekanik, elektrokimia, kimia, listrik atau termal. Teknologi mekanik, termasuk *pumped storage hydropower generation* adalah teknologi tertua. Namun, batasan penggunaan teknologi ini adalah kebutuhan akan sumber daya air yang melimpah dan ketinggian geografis yang berbeda, serta seperti pembangunan jaringan transmisi tenaga listrik ke pelanggan

rumah tangga yang mengkonsumsi listrik. Struktur teknologi *energy storage* dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Struktur Teknologi *Energy Storage System*

CAES : *Compressed Air Energy Storage*

SMES : *Superconductive Magnetic Energy Storage*

2.2 Battery Energy Storage System (BESS)

Inovasi teknologi EBT saat ini sangat berkembang pesat sehingga harga *Capital Expenditures* (CAPEX) peralatan EBT pun menunjukkan tren turun. Salah satunya yaitu harga CAPEX *Battery Energy Storage System* yang semakin murah. Teknologi baterai untuk perangkat penyimpanan energi dapat dibedakan berdasarkan kepadatan energi, efisiensi *charge* dan *discharge* (*round trip*), masa pakai, dan perangkat ramah lingkungan. Densitas energi didefinisikan sebagai jumlah energi yang dapat disimpan dalam suatu sistem per satuan volume atau per satuan berat. Baterai sekunder litium menyimpan 150–250 watt-jam per kilogram (kg) dan dapat menyimpan 1,5–2 kali lebih banyak energi daripada baterai Na–S, dua hingga tiga kali lebih banyak dari baterai *redox flow*, dan sekitar lima kali lebih banyak dari baterai timbal [5].

Efisiensi *charge* dan *discharge* adalah performance scale yang dapat digunakan untuk menilai efisiensi baterai. Baterai sekunder litium memiliki efisiensi pengisian dan pengosongan tertinggi sebesar 95%, sedangkan timbal baterai penyimpanan sekitar 60% -70%, dan baterai *redox flow* sekitar 70% -75%. Salah satu elemen kinerja penting dari perangkat penyimpanan energi adalah masa pakainya (*life span*), dan faktor ini memiliki dampak terbesar dalam meninjau efisiensi ekonomi. Pertimbangan lainnya adalah ramah lingkungan, atau sejauh mana perangkat tersebut tidak berbahaya bagi lingkungan dan dapat didaur ulang. Perubahan teknologi baterai berkembang menuju kepadatan energi yang lebih tinggi. Teknologi baterai generasi berikutnya seperti *lithium-ion*, *zinc-air*, *lithium-sulfur*, *lithium-air*, dan lain – lain diharapkan untuk meningkatkan kepadatan energi baterai litium sekunder (isi ulang).

2.3 Komponen BESS

Berdasarkan fungsinya maka komponen BESS dikelompokkan menjadi komponen baterai, komponen yang diperlukan untuk operasi sistem yang andal, dan komponen koneksi ke jaringan [6]. Sistem Baterai terdiri dari paket baterai, *Battery Management System* (BMS) dan *Battery Thermal Management System* (B-TMS). Komponen yang diperlukan untuk pengoperasian sistem yang andal secara keseluruhan adalah sistem kontrol dan monitoring, *Energy Management System* (EMS), dan sistem manajemen termal. Elektronika daya dapat dikelompokkan ke dalam unit konversi yang mengubah aliran daya antara grid dan baterai, komponen kontrol dan pemantauan yang diperlukan sebagai *unit voltage sensing* dan manajemen termal komponen elektronika daya (kipas pendinginan).

2.4 Tipe Baterai

Terdapat beberapa tipe baterai yang dapat digunakan sebagai BESS yaitu baterai *Lead acid* (PbA), baterai *Nickel Cadmium* (Ni-Cd), *Nickel-Metal Hydride* (Ni-MH), Baterai *Lithium-Ion* (Li-Ion), Baterai *Sodium-Sulfur* (Na-S) dan *Redox Flow Battery* (RFB). Adapun perbandingan dari ketiga baterai tersebut dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 1. Perbandingan karakteristik baterai [7]

No.	Baterai	Lead-acid	Ni-Cd	Ni-MH	Li-ion	Vanadium Redox
1	DOD	20 – 80%	100%	100%	80 - 100%	
2	Kerapatan energi (Wh/kg)	30 - 50	50 - 75	40 - 110	100 - 250	10 - 50
3	Tegangan (V)	~ 2.00	1.29	1.35	2.50 – 5.00	1.26
4	Siklus pakai (siklus)	500 - 1000	2000 - 2500	300 - 2000	>1000	12,000 – 14,000
5	Masa pakai (tahun)	2 - 3	>10	>5	10-15	5 - 15
6	Efisiensi	75 – 80%	60 – 70%		~ 100%	75 – 85%
7	Harga (\$/kWh)	300 - 600	~ 1000		~ 600 - 2500	150 - 1000
8	Dampak lingkungan	tinggi	tinggi	rendah	rendah	rendah
9	Suhu operasi (°C)	18 - 45	-40 - 50	- 30 - 70	20 - 65	5 - 45
10	Kemampuan <i>overcharging</i>	Baik	Baik	Baik	Buruk	<i>Overload</i> dengan durasi singkat

2.5 Aplikasi BESS

BESS memiliki banyak fungsi berdasarkan aplikasinya yaitu *load leveling*, *peak shaving*, *capacity firming*, *rate control*, *energy trading/arbitrage*, *back up power*, *grid frequency control*. Pada aplikasi *load leveling*, BESS menyerap daya selama kondisi beban rendah dan melepaskan energi selama kondisi beban puncak. Kelebihan aplikasi *load leveling* antara lain:

- Mengurangi kapasitas pembangkit puncak yang kurang ekonomis
- Memungkinkan penundaan investasi pada infrastruktur jaringan/kapasitas pembangkit

BESS dapat ditempatkan di beberapa lokasi seperti jaringan transmisi, jaringan distribusi dekat pusat beban atau ditempatkan bersama dengan pembangkit *renewable energy* [8].

2.6 Perhitungan Kapasitas BESS

Karena tingginya biaya pembelian dan pemasangan BESS, maka perlu ditentukan kebutuhan daya yang tepat agar diperoleh kapasitas BESS yang tepat guna menghindari *oversizing* sehingga BESS dapat memasok energi dengan harga serendah mungkin [9]. Metode perhitungan kapasitas BESS terdiri atas 2 metode yaitu:

1. Perhitungan berdasarkan kapasitas *power converter*

Metode ini digunakan untuk BESS yang berfungsi sebagai *frequency regulation* dan *black start*. Perhitungan dengan metode ini dapat dilihat pada persamaan 1.

$$\text{Kapasitas BESS [MW]} = \text{Frequency gain} \left[\frac{\text{MW}}{\text{Hz}} \right] * \text{Governor droop [\%]} * \text{Frekwensi Sistem [Hz]} \quad (1)$$

2. Perhitungan berdasarkan kapasitas *power storage*

Metode ini digunakan untuk BESS yang berfungsi sebagai *renewable integration*, *peak shaving*, *load leveling* dan *microgrid*. Perhitungan dengan metode ini dapat dilihat pada persamaan 2.

$$\text{Kapasitas BESS [MWh]} = \frac{\text{Power required [MW]} * \text{duration required [h]}}{\text{depth of discharge [\%]} * \text{efisiensi baterai [\%]}} \quad (2)$$

Depth of Discharge (DOD) adalah banyaknya daya yang diambil dari baterai dalam satu siklus pengeluaran daya, yang diekspresikan sebagai persentase (%). Umur baterai bergantung pada seberapa dalam pengeluaran daya itu terjadi dalam masing-masing siklus. Semakin dalam DOD, maka akan mengurangi usia baterai.

2.7 Economic Dispatch

Economic Dispatch adalah kegiatan menjadwalkan unit – unit pembangkitan yang beroperasi dalam suatu sistem tenaga listrik untuk dapat memenuhi kebutuhan beban pada biaya pembangkitan paling minimum. Prinsip *dispatch* adalah output yang memberikan biaya operasi (biaya bahan bakar) termurah di sistem. Biaya bahan bakar termurah diperoleh dengan mengoperasikan unit berdasarkan *merit order* yaitu dari yang paling murah sampai yang termahal. Model matematika dari *economic dispatch* dapat dilihat pada persamaan 3.

$$F_T = \sum F_i (P_i) \quad (3)$$

$$F_i (P_i) = a_i + b_i P_i + c_i P_i^2 \quad (4)$$

Dimana:

F_T : total biaya pembangkitan (Rp)

$F_i (P_i)$: fungsi biaya input output dari pembangkit I (Rp/jam)

a_i, b_i, c_i : koefisien biaya dari pembangkit i

P_i : output pembangkit I (MW)

N : jumlah unit pembangkit

i : indeks dari *dispatchable* unit

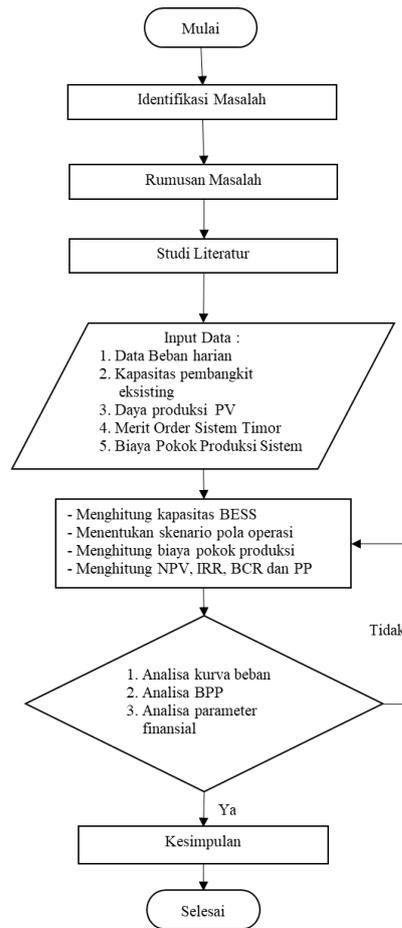
3. METODE PENELITIAN

Tahapan awal yang akan dilaksanakan pada penelitian ialah identifikasi masalah, rumusan permasalahan, studi literatur, dan pengumpulan data. Setelah itu dilanjutkan pada proses penelitian dimana pada tahapan ini akan dilakukan perhitungan kapasitas BESS yang diperlukan sistem dan simulasi operasi sistem. Simulasi akan dilakukan dalam 2 studi kasus yaitu pada kondisi normal/tidak terjadi intermitensi PLTS dan ketika terjadi intermitensi PLTS sehingga BESS dioperasikan. Selain itu juga akan dilakukan simulasi jika BESS digunakan sebagai pengganti PLTMG Peaker pada kondisi beban puncak (*load leveling*). Setelah melakukan perhitungan kapasitas BESS dan simulasi maka dilanjutkan dengan perhitungan biaya pokok produksi sistem dan perhitungan kelayakan finansial proyek. Tahap terakhir penelitian adalah menarik kesimpulan berdasarkan hasil perhitungan, simulasi dan analisis dari penerapan BESS terhadap sistem kelistrikan Timor. Diagram alir penelitian ditampilkan pada gambar 2. Spesifikasi baterai yang digunakan untuk *Battery Energy Storage System* (BESS) dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

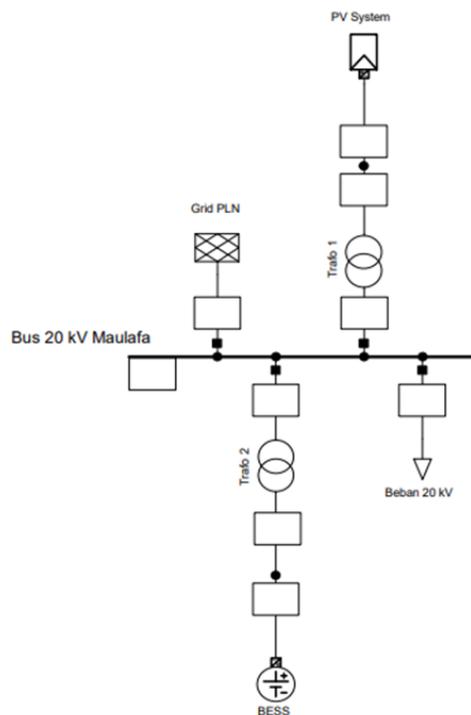
Tabel 2. Spesifikasi baterai

Tipe	C-rate	Charging/discharging duration	Life time
Lithium Ion	0.5 C	2 Jam	15 Tahun

BESS direncanakan akan terhubung ke bus 20 kV dari GI Maulafa. Hal ini bertujuan agar dekat dengan PLTS 5 MWp sehingga memudahkan manuver dari PLTS ke BESS ketika terjadi intermitensi dan dekat dengan *feeder* beban 20 kV. Gambar koneksi *Battery Energy Storage System* ke Sistem Timor ditampilkan pada gambar 3.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. Single Line Diagram Koneksi BESS

Berdasarkan Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No. 55. K/20/MEM/2019 tentang Besaran Biaya Pokok produksi PT PLN Perusahaan Listrik Negara Tahun 2020 disebutkan bahwa Biaya Pokok Produksi (BPP) tahun 2018 untuk Sistem Timor ialah sebesar Rp/kWh 2.588 atau Cent US\$/kWh 18,17. Dengan beroperasinya BESS sebagai *load leveling* diharapkan dapat menurunkan BPP Sistem.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

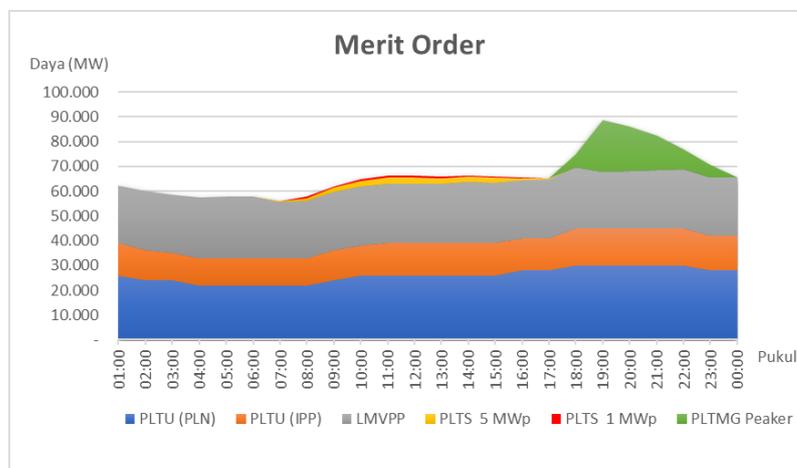
4.1 Perhitungan kapasitas BESS

Perhitungan kapasitas BESS sebagai *renewable energy integration* dan *load leveling* mengacu pada persamaan 2. Berdasarkan persamaan tersebut, terdapat 4 (empat) data yang diperlukan yaitu daya yang dibutuhkan, durasi operasi, asumsi efisiensi baterai dan asumsi kapasitas efektif baterai (DoD). Asumsi daya yang dibutuhkan merupakan daya rata-rata dari total daya yang dibangkitkan PLTS dari pukul 07:00 - 17:00 yaitu sekitar 2.164 kW.

Tabel 3. Perhitungan kapasitas baterai

Daya yang dibutuhkan	Durasi operasi	DOD	Efisiensi baterai	Kapasitas BESS
2.164 kW	2 Jam	80%	90%	6.010 MWh

Dari hasil perhitungan diatas diperoleh minimum kapasitas BESS yang diperlukan sekitar 6,01 MWh namun kapasitas yang terpilih untuk BESS sebesar 6.5 MWh dengan *discharge rate* yang diharapkan selama 2 jam. Dalam hal pengoperasian suatu sistem tenaga listrik, terlebih dahulu dilakukan perencanaan operasi salah satunya *unit commitment* dan *merit order*. *Unit commitment* adalah suatu kegiatan menentukan pembangkit mana saja yang siap beroperasi pada periode tertentu. Setelah itu kemudian dilakukan ranking pengoperasian pembangkit tersebut berdasarkan biaya bahan bakar dari yang paling murah sampai dengan yang termahal atau yang biasa kita kenal dengan istilah *merit order*. Hal ini perlu dilakukan agar pengoperasian sistem memenuhi kriteria handal, ekonomis dan berkualitas. Merit order pembangkit di Sistem Timor dapat dilihat pada gambar 4. Biaya pokok produksi sistem pada kondisi tersebut adalah sebesar Rp/kWh 2.202,01.

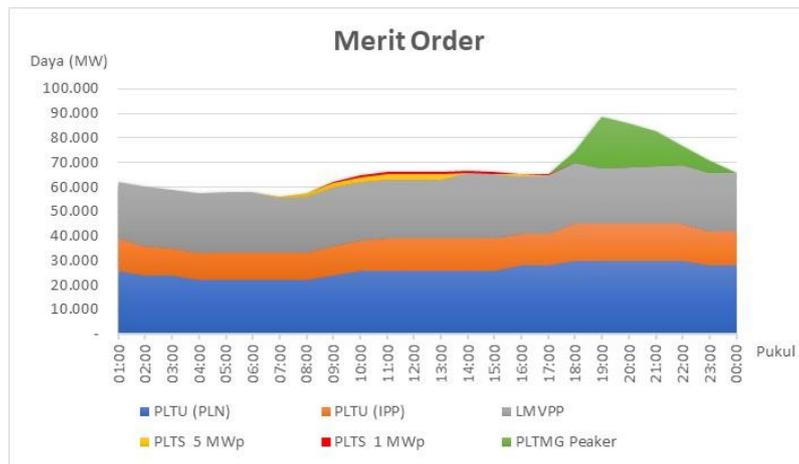


Gambar 4. Merit Order Sistem Timor

4.2 Simulasi Renewable Energy Intermittency

4.2.1 Skenario 1

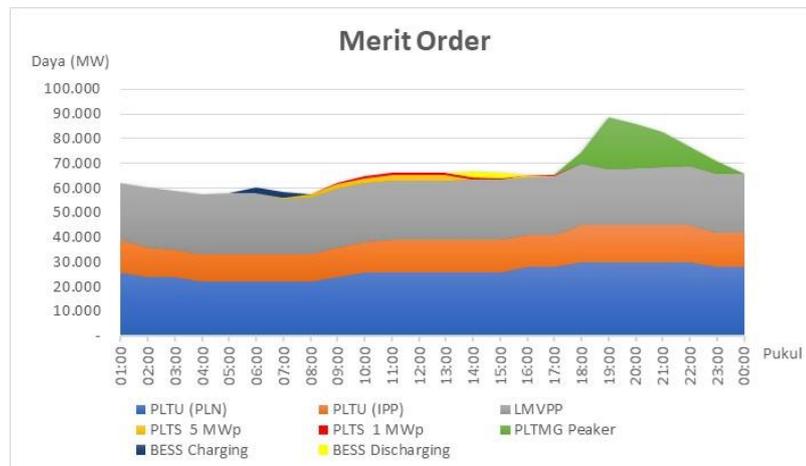
Pada skenario ini dilakukan simulasi ketika terjadi intermitensi PLTS pada pukul 13:00 – 15:00 maka LMVPP sebagai pembangkit yang *fast response* diminta untuk menaikkan suplai daya ke sistem. Dari hasil simulasi operasi ini diperoleh biaya pokok produksi sebesar Rp/kwh 2.201,98.



Gambar 5. Merit Order untuk Skenario 1 *Renewable Energy Intermittency*

4.2.2 Skenario 2

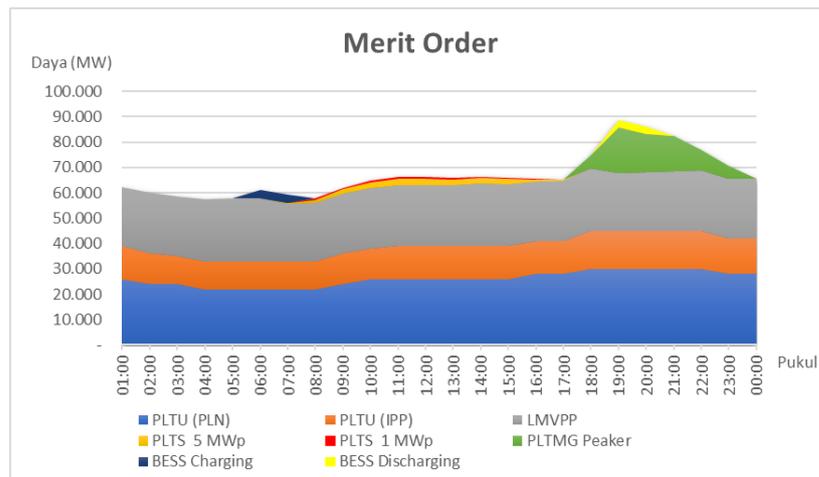
BESS menyerap daya selama kondisi beban rendah dan melepaskan energi selama kondisi intermitensi PLTS terjadi. Dilakukan simulasi pada kurva beban dengan melakukan *charging* BESS dari pukul 05:00 – 07:00 dan ketika terjadi intermitensi PLTS pada pukul 13:00 – 15:00 maka BESS beroperasi. Dari hasil simulasi operasi ini diperoleh biaya pokok produksi sebesar Rp/kwh 2.188,19.



Gambar 6. Merit Order untuk Skenario 2 *Renewable Energy Intermittency*

4.3 Simulasi Load Leveling

Pada simulasi *load leveling*, BESS akan menyerap daya selama kondisi beban rendah dan melepaskan energi selama kondisi beban puncak guna mengurangi kapasitas operasi dari PLTMG Peaker yang biaya bahan bakarnya cukup mahal. Dari hasil simulasi operasi ini diperoleh biaya pokok produksi sebesar Rp/kwh 2.174,11.



Gambar 7. Merit Order untuk *Skenario Load Leveling*

4.4 Perhitungan Keekonomian

Analisa keekonomian dilakukan dengan menghitung *levelized tariff* dan parameter kelayakan seperti NPV, IRR, *Benefit Cost Ratio* dan *Payback period*. Asumsi yang digunakan ketika dibandingkan dengan Tarif Dasar Listrik (TDL) yang berlaku sebesar Rp 1,445/kWh dengan asumsi eskalasi 3% pertahun. Hasil perhitungan keekonomian dan parameter finansial dapat dilihat pada tabel 4 dan tabel 5.

Tabel 4. Perbandingan *levelized tariff*

No	Tariff Structure	Unit	Levelized Tariff
1	BESS	Rp/kWh	1.499
2	Tarif Dasar Listrik (TDL)	Rp/kWh	1.752,5
3	BPP Sistem Timor	Rp/kWh	2.588

Tabel 5. Parameter finansial

No	Deskripsi	Unit	Nilai
1	Discount rate (WACC)	%	10
2	IRR	%	10,6
3	NPV	Rp	992.098.362
4	BCR	-	1,04
5	Payback Period	Tahun	7

Dari hasil perhitungan diatas dapat terlihat bahwa *Levelized Cost* BESS masih lebih rendah jika dibandingkan dengan BPP sistem Timor dan secara keekonomian BESS dapat menurunkan BPP Sistem setempat. Dari sisi investasi BESS, NPV bernilai positif, BCR > 1 dan IRR > WACC sehingga memenuhi kriteria kelayakan.

5. KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan dan simulasi yang telah dilakukan pada penelitian ini diperoleh beberapa kesimpulan yaitu:

1. Biaya pokok produksi sistem dengan menggunakan BESS untuk *renewable emergency intermittency* dan *load leveling* masih lebih rendah jika dibandingkan dengan BPP Sistem Timor tanpa BESS.
2. Ditinjau dari sisi keekonomian, *Levelized Cost* BESS masih lebih rendah jika dibandingkan dengan BPP sistem sehingga dapat menurunkan BPP Sistem setempat.
3. Dari sisi investasi BESS juga memenuhi kriteria kelayakan.
4. *Battery Energy Storage System* dapat digunakan untuk mengatasi masalah *intermittency* PLTS On Grid di Pulau Timor dan dapat digunakan sebagai *load leveling*.

REFERENSI

- [1] S. Afzentsis *et al.*, "Technical Assessment of Coupled PV and Battery Systems-A Case Study from the Mediterranean Region," in *2019 1st International Conference on Energy Transition in the Mediterranean Area (SyNERGY MED)*, 2019, pp. 1-6: IEEE.
- [2] H. Yang, Z. Gong, Y. Ma, L. Wang, B. J. I. J. o. E. P. Dong, and E. Systems, "Optimal two-stage dispatch method of household PV-BESS integrated generation system under time-of-use electricity price," vol. 123, p. 106244, 2020.
- [3] T. Masuta, J. G. da Silva, H. Ootake, and A. Murata, "Application of battery energy storage system to power system operation for reduction in PV curtailment based on few-hours-ahead PV forecast," in *2016 IEEE International Conference on Power System Technology (POWERCON)*, 2016, pp. 1-6: IEEE.
- [4] H. Shin and J. J. I. A. Hur, "Optimal energy storage sizing with battery augmentation for renewable-plus-storage power plants," vol. 8, pp. 187730-187743, 2020.
- [5] *Handbook on Battery Energy Storage System*. Asian Development Bank, 2018.
- [6] H. C. Hesse, M. Schimpe, D. Kucevic, and A. J. E. Jossen, "Lithium-ion battery storage for the grid—A review of stationary battery storage system design tailored for applications in modern power grids," vol. 10, no. 12, p. 2107, 2017.
- [7] X. Fan *et al.*, "Battery technologies for grid-level large-scale electrical energy storage," vol. 26, no. 2, pp. 92-103, 2020.
- [8] T. Bowen, I. Chernyakhovskiy, and P. L. Denholm, "Grid-scale battery storage: frequently asked questions," National Renewable Energy Lab.(NREL), Golden, CO (United States)2019.
- [9] M. N. Ashtiani, A. Toopshekan, F. R. Astaraei, H. Yousefi, and A. J. S. E. Maleki, "Techno-economic analysis of a grid-connected PV/battery system using the teaching-learning-based optimization algorithm," vol. 203, pp. 69-82, 2020.