

Simulasi *Microgrid Hybrid* PLTS/PLTB/PLTBG dengan Sistem Baterai dan Beban

Asminar

Departemen Teknik Elektro
Universitas Hasanuddin
Makassar, Sulawesi Selatan
Departemen Teknik Elektro
Universitas Halu Oleo
Kendari, Sulawesi Tenggara
asminar.ft@uho.ac.id

Ansar Suyuti

Departemen Teknik Elektro
Universitas Hasanuddin
Makassar, Sulawesi Selatan
asuyuti@unhas.ac.id

Syafaruddin

Departemen Teknik Elektro
Universitas Hasanuddin
Makassar, Sulawesi Selatan
syafaruddin@unhas.ac.id

Sri Mawar Said

Departemen Teknik Elektro
Universitas Hasanuddin
Makassar, Sulawesi Selatan
srimawarsaid@yahoo.com

Abstrak—Penelitian ini membuat model simulasi *microgrid hybrid* PLTS/PLTB/PLTBG dengan sistem baterai dan beban. Kapasitas PLTS sebesar 8,078 kWp, kapasitas PLTB sebesar 13 kW, kapasitas PLTBG sebesar 1,175 kW, dan kapasitas baterai 1600 kWh untuk melayani beban sebesar 17 kW. PLTS, PLTB, PLTBG, baterai, dan beban dihubungkan secara paralel menggunakan *line* DC 200 V. Hasil simulasi menunjukkan kinerja dari *microgrid hybrid* yang diusulkan dapat memonitoring kondisi daya yang dihasilkan oleh pembangkit PLTS, PLTB, dan PLTBG serta kondisi baterai dan beban. Simulasi *microgrid hybrid* PLTS/PLTB/PLTBG dengan sistem baterai dan beban menggunakan MATLAB Simulink 2021b.

Kata Kunci— Simulasi *microgrid*, *hybrid* PLTS/PLTB/PLTBG, sistem baterai, model Simulink.

I. PENDAHULUAN

Bahan bakar fosil secara tradisional digunakan sebagai sumber energi utama untuk menghasilkan dan memenuhi kebutuhan listrik. Akan tetapi terjadinya krisis sumber bahan bakar konvensional, meningkatnya tren harga bahan bakar, dan emisi gas berbahaya akibat pembakaran bahan bakar fosil telah menantang kelangsungan masa depan peradaban manusia yang bergantung pada sumber energi konvensional [1]. Teknologi energi terbarukan menarik perhatian global karena dampak positifnya dalam mengatasi masalah lingkungan (emisi CO₂ yang menyebabkan pemanasan global) dan kemampuannya dalam memenuhi pertumbuhan permintaan energi. Selain itu, biaya operasi dan pemeliharaan yang rendah, serta pengaturannya yang mudah, telah menghasilkan peningkatan integrasi *Renewable Energy Resources* (RES) dalam beberapa tahun terakhir [2]. Terjadi pergeseran penggunaan dan ketergantungan yang cepat dari sumber energi tak terbarukan ke energi terbarukan di seluruh dunia. Dari semua sumber energi yang tersedia, sumber energi terbarukan digunakan hampir 8–10% pada skala dunia untuk kondisi saat ini [3].

Menurut data *International Energy Agency* (IEA) [4], Pembangunan pembangkit listrik terus bergeser dari pembangkit listrik tenaga batu bara menuju *photovoltaic* (PV), angin, dan sumber listrik terbarukan lainnya. Diantara berbagai teknologi energi terbarukan yang tersedia (panas

bumi, pasang surut, biomassa, dll), PV dan turbin angin dalam bentuk sumber energi terdistribusi telah mendapatkan perhatian yang lebih luas dan memiliki dampak penting pada sistem tenaga listrik saat ini untuk sistem tenaga besar (kapasitas pembangkit skala besar) maupun sistem distribusi kecil, dan *microgrid* (MG) [5]. Evaluasi pengembangan aplikasi energi terbarukan terus dilakukan agar sistem dapat beroperasi secara optimal. Dalam penggunaannya, pembangkit listrik energi terbarukan dapat dioperasikan secara sendiri-sendiri (*stand-alone*) ataupun gabungan beberapa sumber energi (*hybrid*) [6], [7], [8]. Selain itu, sumber-sumber energi terbarukan tersebut juga dapat diinterkoneksi dengan jaringan utility (on grid) maupun berdiri sendiri atau tidak terhubung dengan jaringan utility (*stand-alone/off grid*) [9].

Microgrid merupakan bagian dari sistem distribusi skala kecil yang terdiri dari pembangkit tersebar (*distributed generation*) meliputi *microturbine*, *fuel cell*, *photovoltaic* (PV) dan energi terbarukan lainnya, serta dilengkapi dengan sistem penyimpanan energi yang bekerja secara mandiri untuk memasok sebagian atau semua permintaan pengguna sehingga dapat meningkatkan keandalan serta ramah lingkungan karena menggunakan sumber energi terbarukan [10]. *Microgrid* juga dapat digunakan sebagai solusi penghematan energi untuk industri. Sistem *microgrid hybrid* PLTS, PLTB dan PLTBG dapat digunakan sebagai model untuk sistem *hybrid*, di mana baterai digunakan sebagai penyimpan energi. Kondisi lingkungan menentukan ketersediaan sumber energi angin dan matahari, sehingga perlu dilakukan pemodelan sistem *hybrid* PLTS, PLTB, PLTBG dengan sistem baterai untuk mengoptimalkan kinerja dari setiap pembangkit yang digunakan. Model simulasi *microgrid hybrid* PLTS, PLTB, PLTBG dengan sistem baterai dan beban bertujuan untuk memonitoring kondisi pada masing-masing pembangkit dan kondisi baterai serta beban sehingga dapat menjamin kontinuitas penyaluran energi listrik ke beban.

II. KONFIGURASI MICROGRID HYBRID PLTS/PLTB/PLTBG DENGAN SISTEM BATERAI DAN BEBAN

Model *microgrid hybrid* terdiri dari tiga sumber energi terbarukan PLTS, PLTB, PLTBG yang dikoneksikan secara

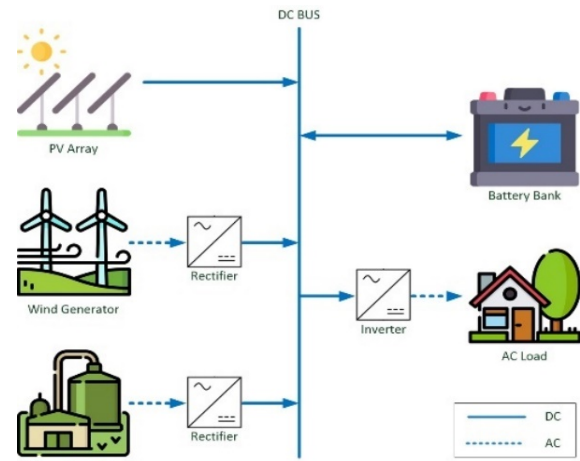
paralel dengan sistem penyimpanan baterai dan beban, seperti pada Gambar 1. Skenario data yang digunakan dalam perancangan model *microgrid* ini adalah data radiasi dan suhu per jam, data kecepatan angin per jam, dan data beban seperti terlihat pada Tabel 1. Pengambilan data dilakukan pada pukul 00.00 – 23.00 dengan beban puncak 17 kW yang terjadi pada pukul 03.00 s/d 06.00.

TABEL 1. SKENARIO PLTS, PLTB DAN BEBAN

Time	Irradiance (W/m ²)	Temperature (°C)	Wind speed (m/s)	Load (kW)
0	0	21	6.25	16
1	0	21	10.625	16
2	0	21	10	16
3	0	21	6.25	17
4	0	21	3.75	17
5	0	30	4	17
6	130	51	4	17
7	350	52	4	16
8	700	54	4	16
9	800	56	4.375	16
10	650	58	5.625	16
11	850	60	5.625	16
12	1000	61	6.25	16
13	875	61	8.125	16
14	650	60	11.25	16
15	780	59	17.5	16
16	350	58	20	16
17	175	57	7.5	16
18	120	55	4.375	16
19	0	25	3.125	16
20	0	24	1.875	16
21	0	23	1.875	16
22	0	22	4	16
23	0	21	4	16

Skenario input irradiance dari pukul 00.00 sampai pukul 23.00. Irradiance terjadi mulai pukul 06.00 sampai pukul 18.00 dimana irradiance mencapai peak pada pukul 12.00 sebesar 1000 W/m². Temperatur paling rendah pada pukul 23.00 sampai 04.00 sebesar 21°C dan temperature tertinggi pada pukul 12.00 sampai 13.00. Skenario kecepatan angin dari pukul 00.00 sampai 23.00 mencapai peak pada pukul 16.00 dengan kecepatan angin sebesar 20 m/s. Sedangkan scenario beban pada kondisi normal

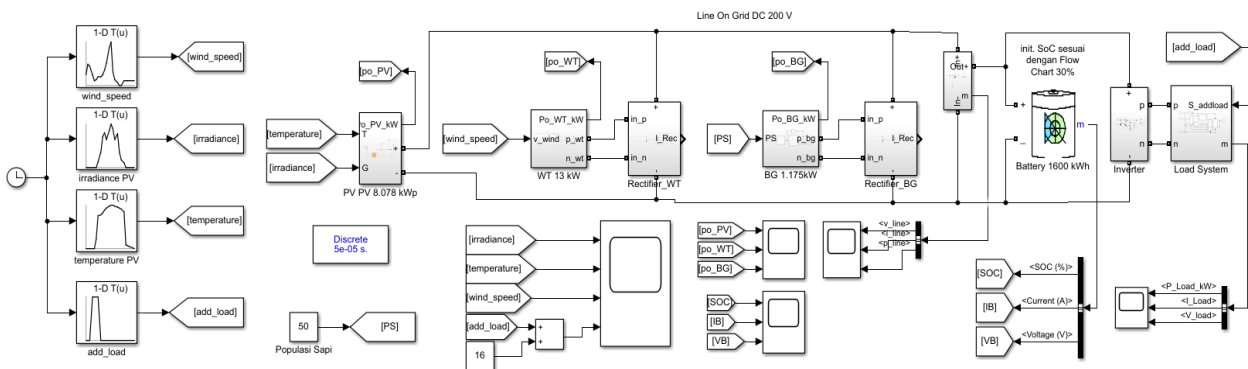
menggunakan daya sebesar 16 kW dan beban puncak 17 kW terjadi pada pukul 03.00 sampai 06.00.



Gambar 1. Desain sistem

Masukan PLTS berupa radiasi matahari dan suhu, masukan PLTB berupa kecepatan angin, dan masukan PLTBG adalah populasi sapi untuk menghitung potensi biogas. Keluaran PLTS adalah arus DC sehingga dapat langsung disimpan dalam sistem baterai. sedangkan output dari PLTB dan PLTBG adalah arus AC sehingga harus disearahkan terlebih dahulu baru kemudian disimpan dalam sistem baterai. Sebelum disuplai ke beban, energi yang tersimpan dalam baterai harus disearahkan terlebih dahulu.

Dengan kebutuhan energi sebesar 388 kWh per hari, dirancang model PLTS dengan kapasitas sebesar 8.078 kWp, kapasitas PLTB sebesar 13 kW, kapasitas PLTBG sebesar 1.175 kW, dan kapasitas baterai sebesar 1600 kWh. Beban puncak pada pukul 03.00 – 06.00 dengan konsumsi listrik 17 kW. Daya keluaran yang dihasilkan oleh PLTS, PLTB, dan PLTBG disimpan dalam baterai dan kemudian disuplai untuk melayani beban. Setiap pembangkit menghasilkan tegangan keluaran sekitar 200V DC yang dihubungkan secara paralel ke sistem baterai dan beban. Model *microgrid hybrid* PLTS/PLTB/PLTBG dengan baterai dan beban seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Model *microgrid hybrid* PLTS/PLTB/PLTBG dengan baterai dan beban

Model *microgrid hybrid* terdiri PLTS, PLTB, dan PLTBG yang dikoneksikan secara paralel dengan sistem penyimpanan baterai dan beban. Terdapat 5 blok parameter masukan yang digunakan yaitu radiasi matahari, suhu, kecepatan angin, populasi sapi, dan beban. Parameter

masukan merupakan data skenario yang akan terhubung ke sisi input dari masing-masing pembangkit PLTS, PLTB, dan PLTBG. Input data scenario dapat termonitoring oleh sistem *microgrid* sehingga dapat diketahui kondisi masukan dari masing-masing pembangkit dan juga kondisi beban. Daya

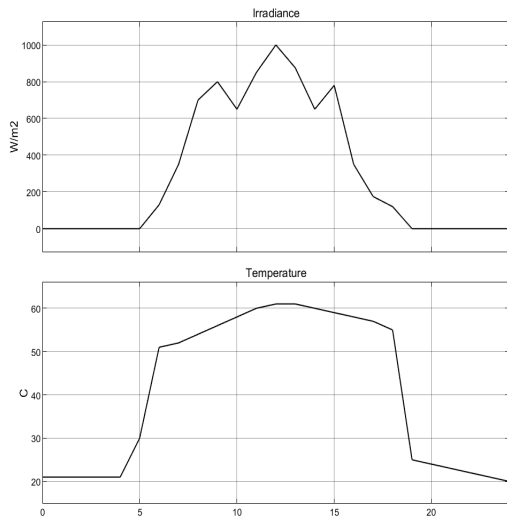
yang dihasilkan oleh PLTS, PLTB, dan PLTB disuplai ke beban dan disimpan ke dalam sistem baterai. Kapasitas baterai yang digunakan adalah 1600 kWh dengan *initial* SoC 30%. Output daya yang dihasilkan oleh PLTS, PLTB, dan PLTB dapat termonitoring demikian pula dengan kondisi baterai dan beban. *Line synchronization* juga dapat dimonitoring oleh sistem untuk mengetahui sinkronisasi dari arus, tegangan, dan daya pada sistem.

III. HASIL SIMULASI DAN DISKUSI

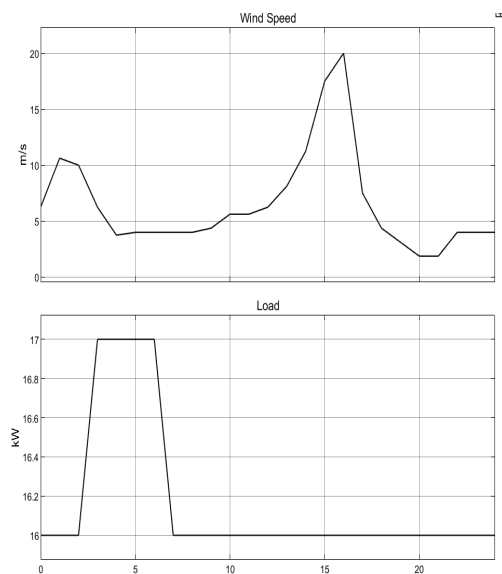
Sistem *microgrid* yang dirancang menggunakan skenario data input radiasi matahari, temperatur, kecepatan angin, dan beban. Sistem dapat memonitoring kondisi input dari data skenario, memonitoring output daya dari masing-masing pembangkit, memonitoring sinkronisasi output, dan memonitoring kondisi baterai.

A. Monitoring Input.

Input radiasi, temperatur, kecepatan angin, dan beban dipantau setiap jam dari pukul 00.00 hingga 23.00. Radiasi dan temperatur mencapai *peak* pada pukul 12.00 dengan radiasi 1000 W/m² dan suhu 61°C seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Monitoring radiasi dan temperatur

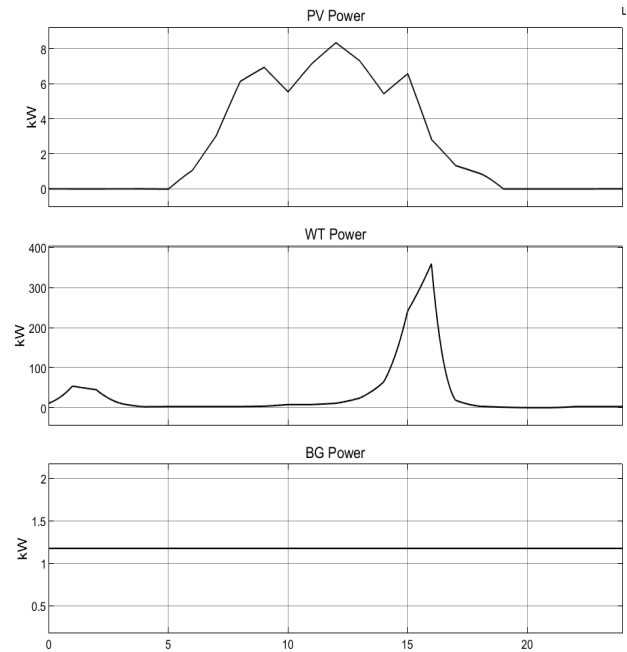


Gambar 4. Monitoring kecepatan angin dan beban.

Monitoring kecepatan angin menunjukkan bahwa kecepatan angin mencapai puncaknya pada pukul 16.00 dengan kecepatan angin 20 m/s seperti pada Gambar 4. Monitoring beban dilakukan untuk melihat kondisi beban puncak sebesar 17 kW terjadi pada pukul 03.00 sampai dengan pukul 06.00.

B. Monitoring Output Daya PLTS, PLTB, dan PLTBG.

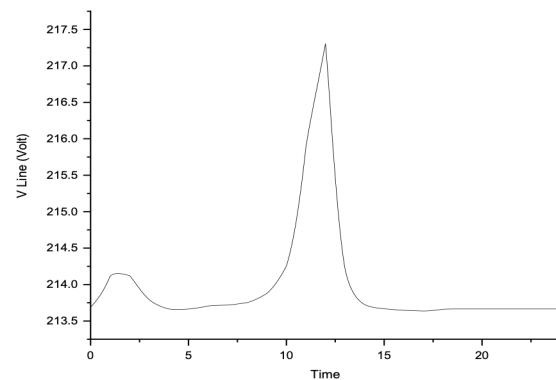
Output daya yang dihasilkan oleh PLTS mencapai *peak* pada pukul 12.00 sebesar 8.17 kW, output PLTB mencapai *peak* pada pukul 16.00 sebesar 356 kW, dan output biogas stabil sebesar 1.175 kW seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Monitoring output daya PLTS, PLTB, PLTBG

C. Monitoring Output Sinkronisasi

Monitoring output sinkronisasi menampilkan kondisi line tegangan, arus, dan daya seperti pada Gambar 6, 7 dan 8.



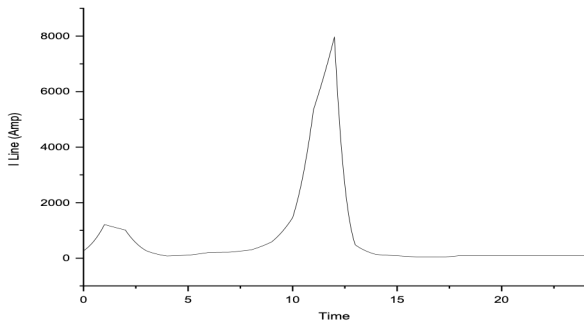
Gambar 6. Monitoring Output Line Tegangan

Tegangan, arus, dan daya pada line sinkronisasi mencapai puncaknya pada pukul 12.00 saat kondisi radiasi, temperatur, dan kecepatan angin tinggi. *Peak line* tegangan 217 Volt, *Peak line* arus 800 Ampere dan *Peak line* daya 1500 kW.

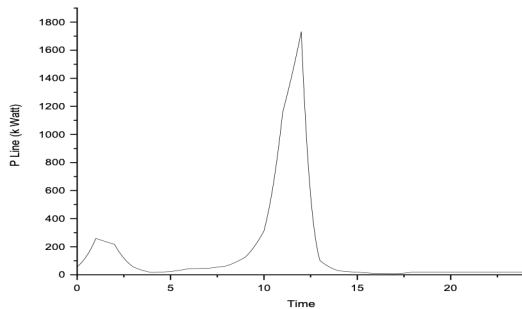
IV. KESIMPULAN

Konfigurasi microgrid dengan kapasitas PLTS 8.078 kWh, kapasitas PLTB 13 kW, dan kapasitas PLTBG 1.175 kW dapat memasok kebutuhan beban sebesar 388 kWh per hari. Dimana masih ada sisa energi sebesar 9,6 kWh per hari. Dalam model ini, kapasitas baterai yang digunakan sangat besar untuk mengimbangi peak dari PLTB, proteksi baterai, dan *over charging*. Jika kapasitas baterai kurang dari 1600 kWh, maka peak dari PLTS akan mengakibatkan kerusakan pada baterai. *Peak* PLTB adalah 365 kW.

Monitoring output daya yang dihasilkan oleh PLTS mencapai peak pada pukul 12.00 dengan output daya sebesar 8,17 kW, output PLTB mencapai *peak* pada pukul 16.00 dengan output daya sebesar 356 kW dan output PLTBG dengan daya konstan sebesar 1,175 kW. *Monitoring* tegangan, arus, dan daya pada line sinkronisasi mencapai *peak* pada pukul 12.00 saat kondisi radiasi, suhu, dan kecepatan angin tinggi. *Peak line* tegangan 217 Volt, *peak line* arus 800 Ampere dan *peak line* daya 1500 kW. Kapasitas awal baterai adalah 30%. Setelah *peak* kapasitas baterai menjadi 30,06% pada pukul 12.00. peningkatan sebesar 0,6% soc atau setara dengan 9,6 kWh. Arus *charging* mencapai 8000 A dan tegangan baterai 217 V. Kondisi baterai ini sangat dipengaruhi oleh *peak irradiance* oleh PV dan kecepatan angin.



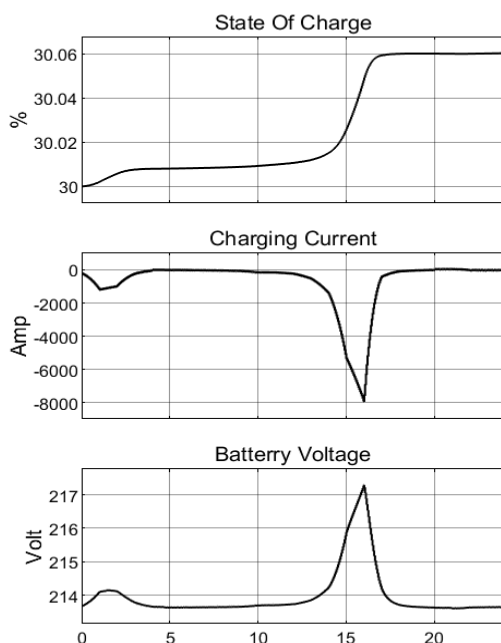
Gambar 7. Monitoring Output Line Arus



Gambar 8. Monitoring Output Line Daya

D. Monitoring Kondisi Baterai

Monitoring kondisi baterai berupa status pengisian, arus pengisian baterai, dan tegangan baterai seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9. Kapasitas awal baterai adalah 30%. Setelah peak kapasitas baterai menjadi 30,06% pada pukul 12.00. Terjadi peningkatan sebesar 0,6% SoC atau setara dengan 9,6 kWh. Arus *charging* mencapai 8000 A dengan tegangan baterai 217 V. Kondisi baterai ini sangat dipengaruhi oleh *peak irradiance* dan kecepatan angin.



Gambar 9. Monitoring kondisi baterai

REFERENSI

- [1] H. Fathima, N. Prabakaran, K. Palanisamy, A. Kalam, and ..., *Hybrid-Renewable Energy Systems in Microgrids: Integration, Developments and Control*. books.google.com, 2018. [Online]. Available: https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=qaRBDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=smart+microgrid+hybrid&ots=8AHZd8r1XU&sig=WxMfwu5BkqjQTX_O7usn-t5U7M
- [2] T. Couture, H. Busch, T. Hansen, and A. Leidreiter, "REN21-Renewables in Cities 2019 Global Status Report-Preliminary Findings." portal.research.lu.se, 2019. [Online]. Available: https://portal.research.lu.se/portal/files/65761158/190605_City_Report_2019_web_FINAL.pdf
- [3] S. Hadian and K. Madani, "The water demand of energy: implications for sustainable energy policy development," *Sustainability*, 2013, [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/60348>
- [4] L. Cozzi *et al.*, "World Energy Outlook 2020," vol. 2050, no. October, pp. 1–461, 2020, [Online]. Available: https://www.oecd-ilibrary.org/energy/world-energy-outlook-2020_557a761b-en
- [5] U. Datta, A. Kalam, and J. Shi, "Hybrid PV–wind renewable energy sources for microgrid application: an overview," *Hybrid-Renewable Energy Systems in Microgrids*, 2018, [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780081024935000017>
- [6] C. T. Tsai, T. W. Shen, Y. P. Chen, and ..., "Control strategy of PV/diesel/battery hybrid system for island-based microgrid," ... *Symposium on Computer ...*, 2018, [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8644962/>
- [7] S. Sinha, A. K. Sinha, and P. Bajpai, "Solar PV fed standalone DC microgrid with hybrid energy storage system," *2017 6th International ...*, 2017, [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8343296/>
- [8] A. Elizabeth, W. ST, A. Felix, M. Simeon, and ..., "Hybridization of Biomass–Solar PV (Photovoltaic) Microgrid Power System Potentials for Kaduna in Nigeria," *International Journal of ...*, 2019, [Online]. Available: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3453604

- [9] W. Tang, "A centralized coordinated control strategy for distributed generation when microgrid on grid," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Oct. 2019, vol. 354, no. 1. doi: 10.1088/1755-1315/354/1/012011.
- [10] J. B. Dias, S. Bator, P. Poggi, and ..., "Hybrid Microgrid Simulation," *Journal of Solar ...*, 2016, [Online]. Available: <https://asmedigitalcollection.asme.org/solarenergyengineering/article-abstract/138/4/044501/472738>