

## Optimisasi Kapasitas Sistem Hibrid (Hydro-Bio-Disel Generator) Dengan *Hydro Generator Sensitivity*

Zulkifli

Politeknik Negeri Bengkalis, Jl. Bathin Alam Sei-Alam-Bengkal, Riau, Indonesia

*email: zulkifli@polbeng.ac.id*

**Abstrak** - Tulisan ini fokus pada sistem hibrid *Hydro generator, Bio generator, Disel generator, Baterai dan Converter (HG/BG/DG/B/C)* yang akan mensuplai energi listrik (AC load) sebuah industri kecil berdasarkan beban asumsi (*theoretical load*) rata-rata 300 kWh/d dengan puncak 53 kWp/d. Beban listrik, komponen-komponen hibrid dan sumber energi terbarukan (biomass) akan disimulasikan dengan menggunakan HOMER untuk menentukan kelayakan pembangunan pembangkit. Hasil menunjukkan bahwa dari 200 konfigurasi yang dihasilkan setiap sensitivitas *hydro generator*, terdapat satu konfigurasi yang dengan nilai ekonomi (COE, TCC, NPC, dan OC) terendah dan layak dikembangkan untuk melayani beban AC 300 kWh/d dan 53 kWp/d. Nilai ekonomi masing-masing konfigurasi optimal akan berkurang seiring dengan meningkatnya kapasitas *hydro generator*. Minimalnya nilai ekonomi ini disebabkan fraksi penggunaan energi terbarukan di atas 94 % yang mana produksi energi listrik lebih dominan disumbangkan oleh *hydro generator* dan *bio generator*. Tetapi penurunan nilai ekonomi suatu konfigurasi sistem optimal ini menyebabkan kelebihan energi listrik (*excess electricity*).

**Kata Kunci** - Sistem hibrid, energi terbarukan, nilai ekonomi.

**Abstract** - *This paper focuses on a hybrid system of Hydro generators, Bio generators, Diesel Generators, Batteries and Converters (HG/BG/DG/B/C) which will supply electrical energy (AC load) to a small industry based on an average theoretical load. 300 kWh/s average with a peak of 53 kWp/s. Electrical loads, hybrid components and renewable energy sources (biomass) will be simulated using HOMER to determine the feasibility of building a power plant. The results show that of the 200 configurations produced by each hydro generator sensitivity, there is one configuration with the lowest economic value (COE, TCC, NPC, and OC) and is feasible to be developed to serve AC loads of 300 kWh/d and 53 kWp/d. The economic value of each optimal configuration will decrease as the hydro generator capacity increases. The minimum economic value is due to the fraction of renewable energy use above 94 %, where the production of electrical energy is more dominantly contributed by hydro generators and bio generators. But the decrease in the economic value of an optimal system configuration causes excess electricity.*

**Keywords** - *hybrid system, economic value, renewable energy.*

### I. PENDAHULUAN

Masalah lingkungan dan ekonomi merupakan alasan dibalik dorongan yang cepat akan pemanfaatan energi terbarukan di seluruh dunia. Selain untuk mengatasi hambatan secara ekonomi dan komersial, pemanfaatan sumber energi terbarukan sesuai dengan tujuan atau *goal* yang ditetapkan oleh sebagian negara yang ingin memaksimalkan potensi energi terbarukan di wilayahnya dengan biaya murah. Energi listrik merupakan salah satu energi primer yang tidak dapat dilepaskan penggunaannya dalam kehidupan sehari-hari, baik di sektor rumah tangga, instansi pemerintah maupun industri. Semakin meningkatnya jumlah penduduk dan bertambahnya penggunaan peralatan yang menggunakan listrik mengakibatkan kebutuhan energi listrik meningkat pesat.

Salah satu cara untuk mengurangi kebergantungan kepada energi fosil adalah pemanfaatan energi terbarukan dengan teknologi yang kombinasi yang sesuai. Sebagian besar dari negara-negara telah fokus pada sistem hibrid energi untuk menyelesaikan masalah seperti kenaikan terus menerus dalam harga minyak mentah, defisit minyak mentah, emisi CO<sub>2</sub>.

Sistem hibrid energi mengacu perangkat konversi energi yang digunakan bersama-sama untuk memasok kebutuhan energi. Sistem ini sering digunakan dalam aplikasi terisolasi dan biasanya menyertakan setidaknya satu sumber energi terbarukan di dalam sistem konfigurasi. Tujuan utama penerapan sistem hibrid energi terbarukan (*Hybrid Renewable Energy Systems*, HRES) adalah untuk meminimalisasi biaya (*life cycle cost*) dan memperbaiki kinerja sistem pembangkit [1].

Beberapa kajian telah dilakukan untuk penerapan dan pemodelan HRES [2], [3], [4], [5] dan pemodelan matematika untuk menghasilkan konfigurasi HRES yang paling optimal [6], [7]. Penerapan teknologi HRES sangat bergantung pada sumber energi terbarukan, (tenaga matahari dan efek tak langsungnya seperti energi biomassa, energi angin, energi air dan lain-lain) dan sistem perekonomian daerah (harga komponen hibrid, minyak, *interest rate*, dan lain-lain) [8], [9].

Konfigurasi HRES, PV/Angin/air/biomassa, *back-up energy* seperti Generator (AC/DC), baterai (*energy storage*) dan *Converter* (AC/DC) merupakan kombinasi yang sering dilakukan di berbagai daerah. Desain/penafsiran teknologi HRES sangat perlu dilakukan untuk memperoleh kombinasi yang paling optimal sehingga layak secara teknis maupun ekonomis [10], [11], [12].

Untuk menentukan kelayakan sistem hibrid bisa dipermudah dengan menggunakan *software* (HES *software*) seperti Homer, PVSol, Hybrid2, Retscreen, LEAP, HOGA, dan lain-lain. Razak [13] menggunakan *software* (HOMER) untuk menentukan konfigurasi HRES yang optimum dengan mengurangi energi yang terbuang, Kaiser dan Aditya [14], Givler dan Liliental [15], Ma [16] dan Barley [17], [18] menentukan kapasitas (*sizing*) konfigurasi HRES optimum dengan *initial cost*, *life cycle cost*, *cost of energy* paling minimum. Zulkifi [3] [4] menentukan konfigurasi optimum dengan pengaturan jam kerja generator dan harga energi terendah. Selain itu, manajemen, strategi kontrol dan operasional juga menjadi pertimbangan penting seperti yang dilakukan oleh Sopian [19], Lopez dan Bernal-Agustin [20], El-Tamaly [21], Al-Shamiry [22], dan Karasavvas [23].

Dari sistem hibrid di atas, penerapan sumber energi terbarukan berupa air (hydro), limbah ternak (biomass) melalui hydrogenerator dan biogenerator yang dikombinasi dengan *disel generator* menjadi salah satu bahan pertimbangan dalam pemenuhan kebutuhan listrik. Selain itu, pengurangan jam kerja *disel generator* menjadi pertimbangan dalam sistem hibrid mengingat mahalnya harga bahan bakar fosil. Untuk itu, pada tulisan ini akan dilakukan desain sistem hibrid dengan hanya lima komponen utama yaitu *Hydro generator*, Biogas Generator, *Disel generator*, Battery dan *Converter*.

## II. METODE

Sistem hibrid energi terbarukan (*Hybrid renewable energy system*, HRES) yang diusulkan dalam tulisan ini adalah *Hydro generator* (HG), *Biogas Generator* (BG) yang dikombinasikan dengan *Disel generator* (DG), Baterai (B) dan *Converter* (C) sebagai *back-up* dan sistem penyimpanan energi.

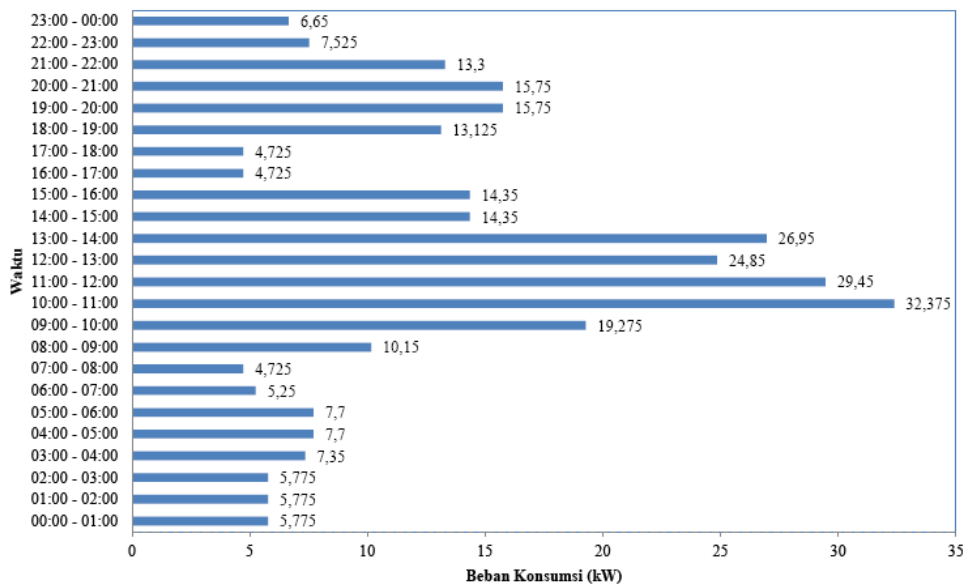
Desain sistem konfigurasi hibrid HG/BG/DG/B/C ini menggunakan *NREL HOMER 2.67 Beta Micro-power Optimization Model*. HOMER (*Hybrid Optimization Model for Electric Renewable*) merupakan perangkat lunak yang lebih mengutamakan kapasitas (*sizing*) dan produksi energi pembangkit HRES dengan sistem konfigurasi yang paling optimum. Konfigurasi hibrid PV yang optimum akan menampilkan biaya investasi awal (*initial cost*)

dan total biaya (*life cycle cost/total net present cost*) selama kegiatan (*life of project*) terendah yang diikuti dengan COE yang paling minimum [8], [15].

Keberhasilan dalam mendesain sistem konfigurasi HG/BG/DG/B/C sangat bergantung pada ketepatan pemilihan data awal. Berikut merupakan data asumsi yang menjadi *input* HOMER dengan produksi energi listrik sistem hanya untuk kebutuhan rumah tangga sederhana, *interest rate* 9 % dan umur kegiatan (*project lifetime*) 25 tahun.

**A. Profil Beban**

Desain konfigurasi hibrid HG/BG/DG/B/C berdasarkan beban pemakaian (AC) sebuah industri kecil dengan rata-rata beban listrik tiap hari 300 kWh/d beban puncak 53 kWp/d (Gambar 1).



Gambar 1. Profil Beban Pemakaian Setiap Jam Selama Sehari untuk Industri Kecil

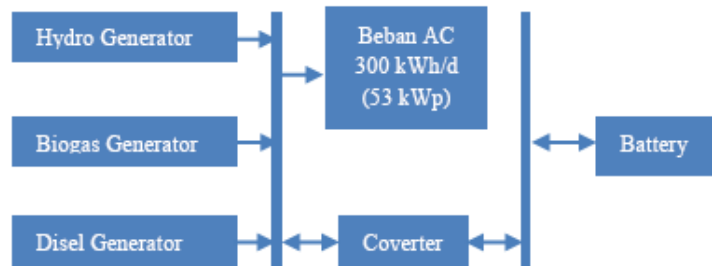
Gambar 1 menunjukkan profil beban pemakaian per jam selama satu hari untuk sebuah industri kecil dengan desain *mini-grid* atau *off-grid*.

**B. Sumber Biomass**

Tidak adanya data produksi limbah ternak (kotoran sapi) yang terukur, maka produksi limbah ternak diasumsikan rata-rata 5 ton per hari. Besaran tersebut menjadi data *input* HOMER yang akan disimulasikan.

**C. Komponen Sistem Hibrid**

Konfigurasi sistem hibrid HG/BG/DG/B/C ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2: Konfigurasi HRES HOMER

**1. Hydro Generator**

Harga awal Rp. 10.725.000,- (*initial cost*) untuk semua kapasitas, penggantian Rp.2,860.000 (*replacement cost*) dan operasional dan perbaikan Rp. 143.000,- per tahun (O&M). Sensitivitas daya yang digunakan adalah 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 20, 25, 30 dan 35 kW.

## 2. *Disel Generator*

Harga awal Rp. 1.501.100,- per kW (*initial cost*), penggantian Rp. 715.500,- per kW (*replacement cost*) dan operasional dan perbaikan Rp. 150,- per jam (O&M). Batas pengoperasian 40.000 jam. Harga minyak Rp.6450/liter. *Range* Biogenerator yang digunakan 0 - 6 kW. Generator tidak beroperasi (*off*) dari pukul 07.00 WIB sampai dengan pukul 18.00 WIB.

## 3. *Bio Generator*

Harga *Bio generator* diperkirakan sama dengan harga *Disel generator* (sedikit modifikasi). *Range* Biogenerator yang digunakan 0 - 40 kW.

Kehadiran generator dalam sistem hibrid ini adalah sebagai *back-up* energi. Untuk menghindari kelebihan daya yang disuplai generator, maka strategi yang digunakan adalah *Cycle-Charging Strategy* (*CC strategy*). Pemilihan *CC strategy* mengizinkan generator mensuplai daya listrik ke beban dan sekaligus melakukan pengisian baterai serta mengurangi waktu/lama pengoperasian (jam kerja) generator.

1. Selain *CC Strategy* tersebut di atas, Beberapa pertimbangan dalam pemakaian generator, hanya diperlukan sebuah generator dan diizinkan memiliki kapasitas daya di bawah beban puncak,
2. Generator tidak diizinkan beroperasi di bawah 30 % kapasitasnya

## 4. *Battery*

Baterai yang digunakan untuk sistem konfigurasi ini adalah Trojan T-105 dengan *range state of charge* (SOC) baterai 30 % - 80 %. Harga untuk sebuah baterai Rp. 3.203.200 (*initial cost* dan *replacement cost*) dan tidak ada biaya operasional dan perbaikan (O&M). *Range* yang digunakan 0-80 buah.

## 5. *Converter*

Efisiensi inverter dan *rectifier* diasumsikan 90 % dan 85 % berturut-turut untuk semua kapasitas dayanya. Konverter diizinkan beroperasi secara simultan dengan generator. Artinya daya listrik yang disalur ke industri berasal dari generator dan baterai. Harga konverter Rp.1.716.000,- per kW (*initial cost* dan *replacement cost*) dan Rp. 143.000,- per tahun operasional dan perbaikan (O&M). *Range* yang digunakan 0-24 kW.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemenuhan kebutuhan beban AC sebuah industri kecil dengan rata-rata beban listrik tiap hari 300 kWh/d dan beban puncak 53 kWp/d bergantung kebijakan dan kemampuan ekonomi suatu lembaga baik pemerintah maupun swasta. Dengan menentukan sensitivitas *hydro generator* (1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 20, 25, 30 dan 35 kW) sebagai acuan awal untuk penentuan kapasitas hibrid (HG/BG/DG/B/C), maka kapasitas masing-masing komponen hibrid lainnya dapat ditentukan.

Hasil simulasi untuk 11 sensitivitas *hygro generator*, masing-masing mempunyai 200 konfigurasi kapasitas. Dari 200 konfigurasi kapasitas tersebut terdapat 1 konfigurasi kapasitas yang optimum (Tabel 1).

TABEL 1. HASIL OPTIMISASI KAPASITAS SISTIM HIBRID DENGAN PENETAPAN KAPASITAS *HYDRO GENERATOR*

No.	HG	DG	BG	B	C	TCC	NPC	OC
1	1	5	30	45	19	240.025.500	1.388.930.400	116.959.700
2	2	4	30	40	17	219.076.000	1.245.086.700	104.461.500

3	3	3	30	35	16	199.842.500	1.072.199.000	88.817.300
4	4	2	30	30	15	180.609.000	918.131.500	75.089.300
5	5	2	30	25	14	162.877.000	800.528.300	64.922.000
6	10	0	25	25	12	148.934.500	470.584.400	32.747.000
7	15	3	30	0	0	60.274.500	273.845.000	21.736.000
8	20	0	35	0	0	48.262.500	154.668.800	10.839.400
9	25	0	15	0	0	33.247.500	656.513.000	3.303.300
10	30	0	10	0	0	25.740.000	338.195.000	829.400
11	35	0	5	0	0	18.232.500	201.630.000	200.200
No.	COE	HP	DP	BP	TEP	AC-PLS	RF	EE
1	1.287	119.450	7.316	8.349	17,61	09.473	94	6.330
2	1.158	236.280	7.028	85.407	116.063	109.471	94	4.727
3	1.001	35.705	6.500	73.751	115.057	109.472	95	4.047
4	858	47.521	3,26	65.622	116.403	109.473	97	5.774
5	744	59.470	2.073	57.595	119.139	109.469	98	8.837
6	433	118.940	0	29.515	148.455	109.485	100	38.286
7	257	178.523	131	18.321	196.976	109.493	100	87.485
8	143	237.608	0	8.834	246.442	109.499	100	136.931
9	57	297.993	0	2.769	300.762	109.484	100	191.265
10	29	357.047	0	636	357.683	109.494	100	248.193
11	14	415.832	0	82	415.913	109.500	100	306.442

**Keterangan**

- HG : *Hydro generator* (kW)      COE : *Cost of Energy* (Rp/kWh)
- DG : *Disel generator* (kW)      HP : *Hydro Production* (kWh/yr)
- BG : *Bio generator* (kW)      DP : *Disel Production* (kWh/yr)
- B : *Battery* (buah)      BP : *Bio Production* (kWh/yr)
- C : *Converter* (kW)      TEP : *Total Electrical Production* (kWh/yr)
- TCC : *Total Capital Cost* (Rp)      AC-PLS : *AC Primary Load Served* (kWh/yr)
- NPC : *Net Present Cost* (Rp)      RF : *Renewable Energy Fraction* (%)
- OC : *Operating Cost* (Rp)      EE : *Excess Electricity* (kWh/yr)

Dari 11 sensitivitas konfigurasi *hydro generator* tersebut menunjukkan bahwa TTC, NPC, OC, COE menurun dengan bertambahnya kapasitas *hydro generator*. Tetapi penurunan nilai TTC, NPC, OC, COE tersebut menyebabkan kelebihan energi listrik (EE) terutama untuk fraksi energi terbarukan (RF) 100 %.

Untuk pelayanan beban AC (AC-PLS), masing-masing konfigurasi sensitivitas sangat mencukupi (TEP) bahkan berlebih (EE). TEP untuk setiap konfigurasi sensitivitas lebih dominan disumbangkan oleh sumber energi terbarukan (HP dan BG), ini ditunjukkan dengan besarnya RF (94 % - 100 %).

Secara teknis, kapasitas yang diperoleh merupakan komponen-komponen hibrid yang paling optimal. Sedangkan secara ekonomi, memiliki biaya energi listrik (COE) minimal. Dari sebelas sensitivitiats tersebut, terdapat enam konfigurasi yang menghasilkan COE kecil dari Rp. 500,- (Tabel 2).

TABEL 2. KONFIGURASI SENSITIVITAS *HYDRO GENERATOR* OPTIMUM DENGAN COE KECIL.

No	HG	DG	BG	B	C	COE	RF
1	10,0	0	25	25	12,0	443	100 %
2	15,0	3	30	0	0,0	257	100 %
3	20,0	0	25	0	0,0	143	100 %
4	25,0	0	15	0	0,0	57	100 %
5	30,0	0	10	0	0,0	29	100 %
6	35,0	0	5	0	0,0	14	100 %

Tabel 2 menunjukkan bahwa kecilnya harga energi (COE) disebabkan produksi energi listrik (TP) bersumber dari energi terbarukan (RE) dengan RF-nya 100 %. Dari hasil di atas, perbedaan kapasitas komponen, TCC, NPC dan COE yang dihasilkan, konfigurasi yang memiliki nilai COE terendah merupakan sistem yang sangat layak untuk dikembangkan.

#### IV. KESIMPULAN

Seperti yang telah dikemukakan di atas, bahwa konfigurasi yang paling layak untuk menghasilkan COE terendah adalah HG-35, walaupun EE lebih besar (306.442 kWh/yr). Kelebihan EE ini memungkinkan sistem menjadi *on-grid*. Penerapan konfigurasi sistem hibrid tersebut bergantung kepada kebijakan penyedia dana, apakah RF lebih besar atau kecil.

Untuk pekerjaan berikutnya, *sensitivity analysis* dan *reliability constraints* perlu dimasukkan mengingat berfluktuasinya harga komponen-komponen HG/DG/BG/B/C, minyak, *interest rate* dan beban listrik. Disamping itu, sistem *on-grid* perlu dipertimbangkan karena banyaknya energi yang berlebih (EE).

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih sebesar-besarnya kepada Tom Lambert, M.Sc., P.Eng yang telah mengizinkan penggunaan NREL HOMER dan telah mengirim beberapa penerapan HOMER

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Touryan, J.O.V. & Kernell J.T. *Renewable Energy for Sustainable Rural Village Power*. American Scientific Affiliation Conference, Arkansas. 1999; pp.1-9.
- [2] Juwito, F. J., Sasongko, P. & Haryono, T. Optimalisasi Energi Terbarukan pada Pembangkit Tenaga Listrik dalam Menghadapi Desa Mandiri Energi di Margajaya. *Jurnal Ilmiah Semesta Teknika*. 2012; 15(1): pp.22-34.
- [3] Zulkifli. Optimalisasi konfigurasi sistem PV/Gen *hybrid* dengan pengaturan jam kerja generator. Proceeding SNIT08, Bengkalis. 2008.
- [4] Zulkifli. Minimalisasi Biaya Energi Sistem Hibrid Biogas Generator/Disel Generator/Battery/Converter untuk Beban Puncak 27 kWp. *Jurnal Inovtek Polbeng*. Politeknik Bengkalis. 2013; 3(1): pp.1-9.
- [5] Deshmukh, M. K. & Deshmukh, S. S. Modeling of Hybrid Renewable Energy Systems, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2008; 12(1): pp.235-249.
- [6] Razak, J. A., Nopiah, M., Sopian, K dan Ali, Y. *Genetic Algorithms for Optimization of Hybrid Renewable Energy System*. Regional Conference on Engineering Mathematics, Mechanics, Manufacturing & Architecture (EM3ARC). Mathematical Sciences in Engineering. 2007.
- [7] Koutroulis, E., Kolokotsa, D., Potirakis, A & Kalaitzakis, K. Methodology for Optimal Sizing of Stand-alone Photovoltaic/Wind-Generator Systems Using Genetic Algorithms. *Solar Energy*. 2006; 80(9): pp.1072–1088.
- [8] Lambert, T., Lilienthal, P. & Gilman, P. *Micropower System Modeling with HOMER*. 2006. Available at: [www.nrel.gov] (Akses Tanggal: 13 Juli 2021).
- [9] Dalton G., Lockington, D. A. & Baldock. T. Feasibility Analysis of Stand Alone Renewable Energy Supply Options for a Large Hotel. *Renewable Energy*. 2008; 33: pp.1475-1490.
- [10] Dhass, A. D. & Harikrishnan, S. Cost Effective Hybrid Energy System Employing Solar-Wind-Biomass Resources for Rural Electrification. *International Journal of Renewable Energy Research*. 2013; 3(1): pp.222-229.
- [11] Servert, J., Miguel, G. S. & López, D. Hybrid Solar - Biomass Plants For Power Generation; Technical and Economic Assessment. *Global Nest Journal*. 2011; 13(3): pp.266-276.

- [12] Thakur, M. S., Gupta, B., Kumar, V. & Pandey, M. Renewable Hybrid Energy System for Sustainable and Economical Power Supply- A Review. *International Journal of Engineering Research & Technology*. 2012; 1(6): pp.1-9.
- [13] Razak, J. A., Sopian, K., Yusoff, A., Alghoul, M., Zaharim, A & Ahmad, I. *Optimization of PV-Wind-Hydro-Diesel Hybrid System by Minimizing Excess Capacity*. European Journal of Scientific Research. 2009; 25(4): pp.663-671.
- [14] Kaiser, M. S & Aditya, S. K. Energy Efficiency System for St Martin's Island of Bangladesh, *Journal of Engineering and Applied Science*. 2006; 1(2): pp.93-97.
- [15] Givler, T dan Lilienthal, P. Using HOMER® Software, NREL's Micropower Optimization Model, to Explore the Role of Gen-sets in Small Solar Power Systems. Case Study: Sri Lanka. 2005. Available at: [www.nrel.gov] (akses tanggal: 13 Juli 2021).
- [16] Ma, S., Yin, H dan Kline, D. M. *Efficient System Design and Sustainable Finance for China's Village Electrification Program*. 2006. Available at: [www.nrel.gov] (akses tanggal: 27 Juli 2021).
- [17] Barley, C. D dan Le, D. J. *Sizing Wind/Photovoltaic Hybrids for Households in Inner Mongolia*. 1997. Available at: [www.nrel.gov] (akses tanggal: 2 Juli 2021).
- [18] Barley, C. D., Flowers, L. T., Benavidez, P. J., Abergas, R. L dan Barruela, R. B. *Feasibility of hybrid retrofits to off-grid diesel power plants in the Philipines*. 1999. Available at: [www.nrel.gov] (akses tanggal: 18 Juli 2021).
- [19] Sopian, K., Zaharim, A., Ali, Y. & Nopiah, Z. M. Optimal Operational Strategy for Hybrid Renewable Energy System Using Genetic Algorithms. *Wseas Transactions on Mathematics*. 2008; 7(4): pp.130-140.
- [20] Dufo-López, R & Bernal-Agustín, J. L. Design and Control Strategies of PV-Diesel Systems Using Genetic Algorithms. *Solar Energy*. 2005; 79(1): pp.33-46.
- [21] El-Tamaly, H. H., El-Tamaly, A. M & Mohammed, E. A. A. Design and Control Strategy of Utility Interfaced Pv/Wtg Hybrid System. *The Ninth International Middle-East Power Systems Conference*. Shebin El-Kom, 2003: pp.699-704.
- [22] Al-Shamiry, F., Ahmad, D., Sharif, R., Aris, I. & Kamaruddin, R. Design and Development of a Photovoltaic Power System for Tropical Greenhouse Cooling, *American Journal of Applied Sciences*. 2007; 4(6): pp386-389.
- [23] Karasavvas, K. C. Modular Simulation of a Hybrid Power System with Diesel, Photovoltaic Inverter and Wind Turbine Generation, *Journal of Engineering Science and Technology Review 1*: 2008; pp.38-40.