

Desain dan Analisa Kelayakan PV-Diesel-Grid Sistem Hibrid di Institut Teknologi Sumatera (ITERA)

Rishal Asri¹, Kiki Kanada²

Teknik Sistem Energi, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sumatera
Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sumatera
Lampug Selatan, Lampung
e-mail: rishal.asri@tse.itera.ac.id

ABSTRAK

Sistem energi hibrid merupakan solusi untuk mengatasi krisis energi listrik pada suatu wilayah. Pada penelitian ini sistem hibrid diterapkan untuk memenuhi kebutuhan listrik Institut Teknologi Sumatera yang memerlukan listrik untuk kebutuhan aktivitas akademik. Pada penelitian ini menggunakan pemodelan dan simulasi menggunakan perangkat lunak HOMER Energy dengan perancangan sistem kombinasi PV-Generator-Grid. Dari penelitian didapatkan desain dan analisa ekonomi yang sesuai dengan kebutuhan listrik ITERA serta biaya yang optimal. Penelitian ini digunakan sebagai perencanaan kebijakan pembangunan kampus ITERA untuk kampus yang mandiri secara teknologi.

Kata Kunci: PV, Generator, Grid, HOMER, ITERA.

PENDAHULUAN

Kebutuhan energi semakin meningkat setiap tahun tanpa adanya suplai daya yang memadai yang hanya mengandalkan teknologi konvensional seperti pembangkit listrik bertenaga uap dan diesel. Semua pembangkit energi tersebut menggunakan sumber energi fosil seperti batu bara, gas, dan minyak yang lama-kelamaan akan habis. Pergeseran pemenuhan energi telah beralih ke arah energi terbarukan dimana sumber energi didapatkan secara gratis seperti angin, matahari, dan air. Pembangkit listrik tenaga terbarukan memiliki kendala besar dibandingkan dengan pembangkit listrik konvensional yaitu penyediaan energi yang tidak berkelanjutan. Pembangkit listrik tenaga terbarukan dapat menjadi berkelanjutan apabila energi listrik yang dihasilkan dapat secara terus-menerus mensuplai kebutuhan daya listrik. Pembangkit listrik sistem hibrid merupakan pembangkit listrik yang diperoleh dari kombinasi lebih dari satu pembangkit. Pembangkit listrik hibrid dapat dikombinasikan dengan konvensional dengan konvensional, konvensional-terbarukan, atau terbarukan-terbarukan. Sistem energi yang berkelanjutan menggunakan sumber utama dari pembangkit tenaga terbarukan dan sumber cadangan dari pembangkit listrik konvensional atau sebaliknya. Berbagai macam penelitian lebih banyak menggunakan sumber energi terbarukan yang

utama karena ketersediaan sumber daya yang mudah didapatkan.

Di Provinsi Lampung memiliki perguruan tinggi negeri baru yaitu Institut Teknologi Sumatera (ITERA). ITERA berdiri sejak tahun 2014 dan saat ini masih mengalami krisis listrik untuk keperluan operasional dan manajemen. ITERA sendiri memiliki kebutuhan energi yang sangat besar karena penambahan jumlah mahasiswa setiap tahunnya. Jumlah mahasiswa ITERA bertambah sebesar 1000 orang setiap tahunnya. Setiap penambahan mahasiswa tersebut menjadikan kebutuhan energi meningkat per orang sedangkan penyediaan listrik masih menggunakan generator diesel dan jaringan PLN hanya mengalir beberapa gedung saja.

Generator diesel hanya dapat mensuplai listrik pada jam kerja saja yaitu pada pukul 07.00 pagi hingga pukul 16.30 lebih dari jam tersebut maka generator dipadamkan karena untuk menghemat bahan bakar. Selain itu penggunaan generator juga menimbulkan beberapa gangguan selain suara yang dihasilkan bising mengganggu kegiatan belajar mengajar yang saat berjalan. Generator diesel pun menghasilkan emisi yang membahayakan lingkungan sekitar sedangkan ITERA memiliki arbiteroom untuk penghijauan kampus itu sendiri. ITERA sendiri memiliki potensi yang besar untuk menghasilkan energi listrik berasal dari matahari menggunakan PV pada atap gedung. Energi matahari bersifat gratis dan bersih. Pembangkit listrik

hibrid dengan menggunakan sumber energi terbarukan yaitu Solar PV pada atap gedung dapat meningkatkan suplai daya listrik dengan sumber tenaga cadangan generator diesel. Pembangkit listrik hibrid dapat diterapkan disetiap gedung menyesuaikan kebutuhan energi listrik pada setiap gedungnya. Pada penelitian ini perbedaan tipe pembangkit listrik hibrid disesuaikan dengan skenario dan perbandingan energi listrik serta optimasi. Setiap kombinasi dari pembangkit listrik hibrid khususnya solar pv menggunakan data meteorologi yang berasal dari stasiun Metrologi, Klimatolgi, dan Geofisika yang ada di ITERA. Data konsumsi penggunaan beban gedung menggunakan pemodelan dari hasil konsumsi listrik menggunakan data secara ekonomi. Optimasi dari pemodelan sistem pembangkit energi hibrid ini menggunakan software Hybrid Optimization Model Electric Renewable (HOMER) . Software ini dapat membantu menganalisa sensitivitas ekonomi dan optimasi pada desain sistem pembangkit. LCC Life Cycle Cost digunakan pada analisa sistem ini. LCC memiliki beberapa komponen seperti biaya operasi, biaya instalasi, dan biaya investasi dari saat pembangunan pembangkit hingga durasi pembangkit berfungsi. Software HOMER mensimulasikan sistem dengan jaminan pada penyediaan kebutuhan energi pada konsumsen dan alternatif teknologi yang sudah ada. Penelitian ini menggunakan kurs mata uang Dollar karena Solar PV masih dijual secara impor oleh distributor mengikuti fluktuasi harga dolar di harga \$ 1 setara Rp 14.500,00 serta harga minyak dunia yaitu diesel yang dipengaruhi harga minyak dunia menggunakan sensitivitas harga. Pada penelitian ini berisi pada sub bab 2 mengenai tinjauan pustaka, sub bab 3 mengenai metodologi penelitian, hasil dan diskusi berada pada bab 4, dan yang terakhir bab 5 berisi mengenai kesimpulan.

PEMBAHASAN

Tinjauan Pustaka

Pembangkit listrik tenaga hibrid menjadikan aspek kelayakan ekonomi-teknik dan penerapannya untuk mengatasi kebutuhan dari pembangkit yang terisolir dari jaringan listrik pemerintah untuk 20 tahun dengan acuan pembangkit hibrid menggunakan sumber tenaga terbarukan seperti sinar matahari yang memiliki waktu penggunaan 20 tahun. Setiap pembangkit energi hibrid harus memiliki tidak kurang dari sumber energi terbarukan sebagai pembangkit dan memenuhi kebutuhan beban seluruhnya.

Beberapa komponen penting dalam pembangkit tenaga hibrid adalah setiap sistem hibrid dapat mengukur potensi dari setiap daerah yang berbeda secara iklim geografisnya seperti intensitas matahari, kecepatan angin, suhu, tingkat curah hujan dan lain-lain. Analisa perbandingan dari sistem hibrid ini menghasilkan beberapa solusi optimal berdasarkan biaya minimum.

Beberapa penelitian menunjukkan hasil penelitian berbeda menurut (Ghosh et al., 2016) dengan menggunakan Solar atau sel surya pada atap gedung perkuliahan di Institut Teknik dan Manajemen Kalkuta, India. Energi listrik yang dihasilkan dapat memenuhi kebutuhan gedung dan surplus energi dengan tanpa menggunakan baterai sebagai penyimpan energi sehingga dapat memangkas biaya. Listrik yang dihasilkan langsung digunakan untuk perkuliahan di pagi hari dan siang hari. Sedangkan pada penelitian (Pandey and Agrawal, 2015) pada Universitas Lakshmiapat dengan menggunakan sel surya dengan kombinasi hibrid dengan jaringan listrik/ grid dapat mengurangi biaya bulanan listrik sebesar 65%.

Menurut (Deshmukh and Deshmukh, 2008) Sistem energi hibrid digunakan untuk memenuhi kebutuhan energi pada area khususnya daerah terpencil atau jauh dari sumber energi listrik. Harga sumber daya energi listrik yang berasal dari fosil dan biaya produksi energi listrik yang mahal membuat banyak daerah yang terpencil sangat sulit mengakses energi listrik. Peneliti lain (Lau et al., 2010) sistem energi hibrid yang menggunakan kombinasi antara PV dan Diesel membutuhkan komponen baterai sebagai penyimpan cadangan energi yang dihasilkan dari PV dengan desain optimal 1 PV berkapasitas 60 kW dengan dua unit generator diesel 50 kW dapat digunakan pada area terpencil seperti yang ada di Malaysia.

Menurut (Tsuanyo et al., 2015) pemodelan sistem energi hibrid menggunakan PV dan diesel tanpa baterai dapat menurunkan nilai investasi total secara ekonomis pada pemenuhan daya listrik yang ada pada sub sahara afrika. Sehingga nilai variasi sistem energi hibrid tergantung pada kapasitas generator diesel. Menurut (Ahmed Belhamadia et al., 2017) sistem energi hibrid dengan sumber energi berasal dari diesel memiliki hambatan utama yaitu daya yang dihasilkan tidak dapat mencapai nilai di atas 70% karena dipengaruhi oleh beban yang tidak tetap sedangkan untuk PV memiliki kendala utama yaitu temperature yang berubah atau berada

diambang batas standar dapat mengakibatkan kerusakan pada komponen elektronik akibat hubungan arus singkat. Menurut (Khan and Arsalan, 2016) pemodelan energi hybrid menggunakan PV pada atap gedung kombinasi dan jaringan yang terkoneksi on-grid menghasilkan energi listrik yang tergantung pada kondisi atap gedung yang luas sesuai dan musim. Estimasi penggunaan PV pada atap gedung menggunakan data geo-spasial dan satelit.

HOMER adalah perangkat lunak untuk model micro power mempermudah dalam mengevaluasi desain dari jaringan tunggal (grid-off) maupun jaringan yang terkoneksi dengan sistem (grid-connected). Dalam merancang sistem pembangkit harus diperhatikan mengenai konfigurasi sistem, diantaranya komponen apa saja yang tidak dapat dimasukkan dalam konfigurasi sistem, berapa banyak dan berapa ukuran masing-masing komponen yang harus digunakan. HOMER dapat pula digunakan untuk merancang sistem energi berdasarkan letak geografis suatu wilayah (Farret and Simões, 2006).

Panjang tulisan antara 8-10 halaman, termasuk lampiran. Font yang digunakan adalah Times New Roman dengan style dan ukuran sebagaimana contoh dalam template ini, kecuali font untuk penulisan algoritma atau program yang akan dijelaskan lebih terperinci dalam bagian tersendiri. Untuk optimalisasi halaman, usahakan jumlah halaman genap.

Perhatikan penggunaan bahasa. Gunakan Bahasa Indonesia yang baku untuk ragam ilmiah. Jika Anda menggunakan istilah asing yang belum diserap ke dalam Bahasa Indonesia, tuliskan *italic* (miring). Jika istilah tersebut sudah terserap ke dalam Bahasa Indonesia atau sudah lazim di dunia, seperti monitor, tidak perlu Anda tulis miring.

Metode Penelitian

Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan maret-november 2018 dan Lokasi penelitian ini dilaksanakan di Institut Teknologi Sumatera Jalan Terusan Ryacudu, Desa Way Hui, Kecamatan Jati Agung, Lampung Selatan. Gambar 1 di bawah menunjukkan lokasi penelitian.

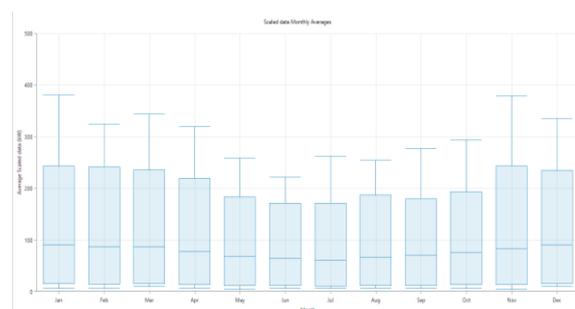


Gambar 1 Lokasi Penelitian di ITERA

Kondisi Beban ITERA

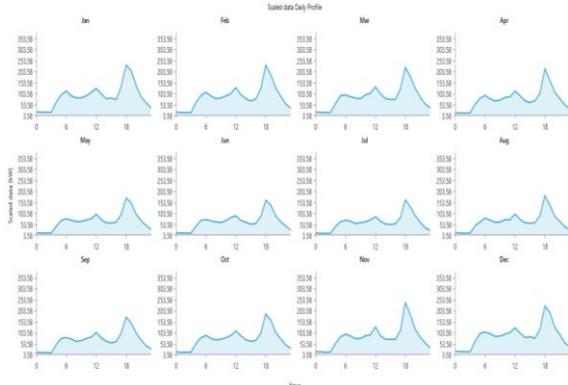
ITERA saat ini memanfaatkan segala potensi yang ada dan mungkin dilaksanakan, yaitu memanfaatkan masukan grid PLN bagi gedung yang terjangkau dan lainnya diesel. Selama ini ITERA memanfaatkan listrik dari grid PLN untuk kegiatan operasional kantor dan diesel untuk gedung perkuliahan. Adapun kapasitas terpasang kebutuhan listrik ITERA adalah 66 kVA ditambah 41.5 kVA dengan dukungan 500 kVA diesel. Untuk cadangan digunakan diesel 150 kVA. Namun demikian tidak jarang terjadi kerusakan akibat overload pada jaringan listrik. Sedangkan pemakaian diesel juga tidak dapat beroperasi selama 12 jam. Kondisi ini membuat kegiatan di ITERA sering terganggu dan harus sedikit terbatas.

Pemakaian beban ITERA semakin besar karena kapasitas mahasiswa dan mahasiswi baru yang masuk per tahun tidak diimbangi dengan penambahan kapasitas pembangunan infrastruktur. Tagihan listrik ITERA per bulan mencapai sekitar Rp 50.000.000,00. Dari jumlah tersebut dapat dikonversi ke dalam bentuk tarif social dengan bentuk rata-rata konsumsi daya dan energi per hari. Data tersebut diinputkan dan divisualisasikan menggunakan HOMER pada gambar 2.



Gambar 2 Profil Beban per Bulan

Pada dasarnya beban tersebut merupakan akumulasi kegiatan akademik pada hari kerja dimana kegiatan akademik lebih banyak terlaksana dan operasional segala aktivitas. Berdasarkan data tersebut konsumsi beban per hari 1,852.85 kWh/hari. Pada gambar 3 ditunjukkan beban detail per jam pada setiap bulan yang dipengaruhi oleh suhu dan iklim yang ada di provinsi Lampung. Penggunaan air conditioner pada musim kemarau menyebabkan konsumsi listrik semakin meningkat. Begitu pula dengan penggunaan pompa air karena beberapa sumur mata air mengalami debit air yang berkurang sehingga meningkatkan konsumsi energi.

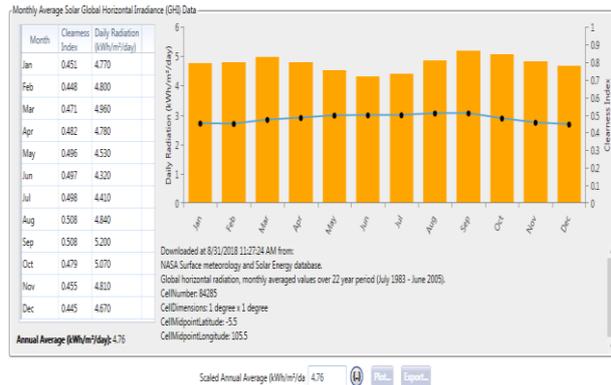


Gambar 3 Profil Beban per jam pada setiap bulan

Pada gambar dua ditunjukkan beberapa grafik. Pada grafik tersebut menjelaskan profil penggunaan beban pada pukul enam pagi hingga lima sore digunakan untuk kegiatan operasional kampus. Sedangkan untuk pukul enam petang hingga malam hari digunakan untuk penerangan dua gedung asrama berlantai empat dengan masing-masing asrama berisi minimal 500 mahasiswa. Asrama aktif ketika malam hari karena beberapa aktivitas yang dilakukan untuk pengembangan karakterk mahasiswa tahun pertama.

Radiasi Sinar Matahari

Radiasi sinar matahari yang digunakan berdasarkan data pada unit pelayanan teknik meteorology, klimatologi dan geofisika ITERA (Institut Teknologi Sumatera, n.d.) bekerjasama dengan BMKG Indonesia. Data tersebut merupakan data peralatan cuaca yang berada di kawasan ITERA dan menggunakan validasi menggunakan pengukuran langsung. Pada gambar 4 ditunjukkan indeks radiasi sinar matahari secara horizontal.



Gambar 4 Data Radiasi Sinar Matahari dari UPT MKG ITERA

Paramater Ekonomi Levelized Cost of Energy (LCOE)

LCOE didefinisikan oleh HOMER adalah biaya rata-rata energi yang dihasilkan biaya/kWh oleh energy yang dihasilkan/diterapkan pada system. Total dari biaya per tahun ini adalah biaya total per komponen system yang dirancang dari sistem pembebanan, operasional dan lain-lain. Persamaannya adalah sebagai berikut

$$LCOE = \frac{C_{ann,total}}{E_{prim,AC} + E_{prim,DC} + E_{grid,sales}}$$

Dengan :

$C_{ann,total}$ = total biaya yang dikeluarkan setiap tahun (Rp/Tahun)

$E_{prim,AC}$ = energi dari beban listrik sistem AC (kWh/tahun)

$E_{prim,DC}$ = energi dari beban listrik sistem DC (kWh/tahun)

$E_{grid,sales}$ = energi dari total sistem grid terintegrasi (kWh/tahun)

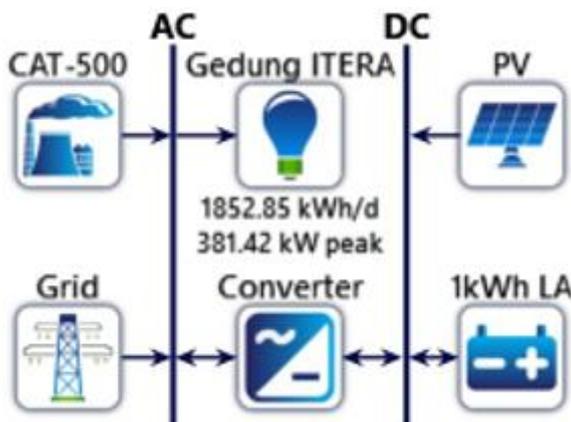
Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid

Untuk analisis, Kombinasi yang digunakan pertama menggunakan dua kombinasi. Kombinasi pertama menggunakan PV-Diesel-Baterai-Grid dan untuk kombinasi kedua menggunakan kombinasi Diesel-Grid. Dari dua kombinasi ini akan ditentukan biaya yang paling optimal untuk kelayakan secara ekonomik.

HASIL DAN DISKUSI

Pada simulasi HOMER yang menggunakan beberapa asumsi yang sesuai dengan prinsip pada sistem yang layak secara ekonomi sebagai

berikut. Penggunaan solar PV hanya memiliki periode penggunaan selama 25 tahun. Tidak ada subsidi pemerintah pusat atau pun pemerintah daerah terhadap investasi penggunaan energi terbarukan hanya menggunakan anggaran perguruan tinggi itu sendiri. Tidak ada kelebihan energi yang dihasilkan dari solar PV. Energi yang dihasilkan disistem berdasarkan dari kebutuhan beban. Penggunaan solar PV hanya maksimal pada kapasitas 100 kW untuk penggunaan satu gedung sesuai dengan luas atap gedung yang digunakan. Pada gambar 5 ditunjukkan skema desain sistem hybrid PV-Diesel-Grid ITERA



Gambar 5 Desain Sistem Hibrid PV-Diesel-Grid ITERA

Pada simulasi dua sistem digunakan kuantitas dan jenis komponen yang sama pada tabel 1 ditunjukkan detail penggunaan untuk kebutuhan pasokan daya listrik. Jaringan listrik atau grid sebagai pasokan utama kebutuhan listrik karena keandalan sistem yang sudah sesuai standar.

Tabel 1 Komponen Sistem Hibrid PV-Diesel-Grid

Component	Name	Size	Unit
Generator	CAT-500kVA-50Hz-PP	400	kW
PV	Generic flat plate PV	100	kW
Storage	Generic 1kWh Lead Acid	100	strings
System converter	System Converter	100	kW
Grid	Grid	999,999	kW
Dispatch strategy	HOMER Load Following		

Sistem PV-Grid-Battery

Pada sistem ini disimulasikan bahwa generator tidak digunakan karena harga bahan baku atau biaya bahan bakar sudah sangat mahal dan sulit ditemukan. Solar PV digunakan untuk memenuhi sebagian kebutuhan energi di ITERA. Jaringan listrik atau grid digunakan sebagai sumber utama. Pada table 2 dan gambar 6 ditunjukkan perbandingan produksi listrik yang dihasilkan setiap komponen

Tabel 2 Produksi listrik sistem PV-Grid-Battery

Component	Production (kWh/yr)	Percent
Generic flat plate PV	126,067	18.5
Grid Purchases	557,158	81.5
Total	683,224	100



Gambar 6 Produksi listrik dari PV-Grid

Secara kelayakana ekonomi listrik yang dihasilkan mampu digunakan untuk memasok kebutuhan beban tetapi tidak dapat dijual ke dalam jaringan listrik atau PLN karena listrik yang dihasilkan lebih optimal untuk konsumsi sendiri. Pada tabel 3 ditunjukkan mengenai kelayakan ekonomi dari sistem PV-Grid.

Tabel 3 Detail Biaya Sistem PV-Grid

Name	Capital	Operating	Replacement
Generic 1kWh Lead Acid	US\$23.21	US\$10.00	US\$20.50
Generic flat plate PV	US\$23,206	US\$1,000	US\$0.00
Grid	US\$0.00	US\$55,682	US\$0.00
System Converter	US\$2,321	US\$0.00	US\$984.58
System	US\$25,550	US\$56,692	US\$1,005

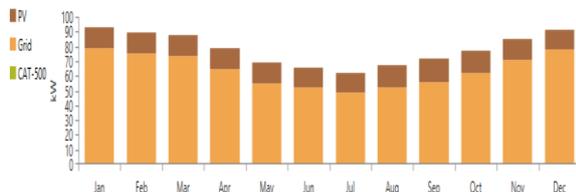
Tabel 3 -Lanjutan Detail Biaya Sistem PV-Grid

Name	Salvage	Resource	Total
Generic 1kWh Lead Acid	-US\$2.78	US\$0.00	US\$50.93
Generic flat plate PV	US\$0.00	US\$0.00	US\$24,206
Grid	US\$0.00	US\$0.00	US\$55,682
System Converter	- US\$185.31	US\$0.00	US\$3,120
System	- US\$188.09	US\$0.00	US\$83,059

Pada total penggunaan solar PV-Grid biaya yang digunakan untuk investasi energi terbarukan yaitu solar PV sangatlah besar berada pada \$

Tabel 4 Produksi listrik sistem PV-Diesel-Grid-Battery

Component	Production	
	(kWh/yr)	Percent
Generic flat plate PV	126,067	18.5
CAT-500kVA-50Hz-PP	0	0
Grid Purchases	557,158	81.5
Total	683,224	100



Gambar 6 Produksi listrik dari PV-Generator-Grid

Dari hasil simulasi energi listrik yang dihasilkan sama dengan sistem sebelumnya tetapi yang menjadi perbedaan yaitu pada analisa biaya karena penggunaan generator diesel memiliki biaya investasi yang cukup tinggi dan biaya bahan bakar yang tidak murah. Pada tabel 5 ditunjukkan mengenai kelayakan ekonomi dari sistem PV-Diesel-Grid.

23.206 atau setara dengan 336.487.000. Biaya yang digunakan adalah biaya selama setahun dengan asumsi nilai setiap tahun sama. Jadi untuk keseluruhan sistem biaya yang dibutuhkan dari pemasangan, pemeliharaan, perbaikan, dan lain-lainnya adalah US\$83,059 atau setara 1.204.355.500.

Sistem PV-Diesel-Grid-Baterai

Pada sistem ini sama dengan sistem sebelumnya tetapi dengan tambahan generator untuk mensuplai kebutuhan listrik. Simulasi pada sistem ini generator memproduksi listrik ketika dua sumber energi lain tidak mencukupi kebutuhan energi pada sistem. Sehingga generator dapat difungsikan sebagai tenaga solusi terakhir untuk kebutuhan listrik. Pada tabel 4 dan gambar 7 ditunjukkan perbandingan produksi listrik yang dihasilkan setiap komponen.

Tabel 5 Detail Biaya Sistem PV-Generator-Grid

Name	Capital	Operating	Replacement
CAT-500kVA-50Hz-PP	US\$4,895	US\$0.00	US\$0.00
Generic 1kWh Lead Acid	US\$23.21	US\$10.00	US\$20.50
Generic flat plate PV	US\$23,206	US\$1,000	US\$0.00
Grid	US\$0.00	US\$55,682	US\$0.00
System Converter	US\$2,321	US\$0.00	US\$984.58
System	US\$30,445	US\$56,692	US\$1,005

Tabel 5 Detail Biaya Sistem PV-Generator-Grid (Lanjutan)

Name	Salvage	Resource	Total
CAT-500kVA-50Hz-PP	-US\$1,143	US\$0.00	US\$3,752
Generic 1kWh Lead Acid	-US\$2.78	US\$0.00	US\$50.93
Generic flat plate PV	US\$0.00	US\$0.00	US\$24,206
Grid	US\$0.00	US\$0.00	US\$55,682
System Converter	-US\$185.31	US\$0.00	US\$3,120
System	-US\$1,331	US\$0.00	US\$86,811

Dari biaya sistem kedua ini hanya mengalami perubahan pada penambahan investai generator diesel. Biaya yang diesel yang dikeluarkan sebesar US\$4,895 atau setara dengan Rp 70.977.500. Sedangkan untuk biaya keseluruhan dalam suatu sistem adalah \$86,811 atau setara dengan 1.258.759.500.

KESIMPULAN

Pada penelitian ini dihasilkan bawah untuk sistem hybrid dengan menggunakan solar PV-Diesel-Grid analisa kelayakan ekonomi dengan nilai investasi yang paling optimal adalah dengan menggunakan sistem PV-Grid tanpa menggunakan generator karena dari sistem tersebut didapatkan penetrasi energi terbarukan sebesar 18.5% dan jaringan PLN 81.5% nilai tersebut secara ekonomi sangat layak untuk diterapkan karena dari solar PV energi didapatkan secara gratis sehingga biaya untuk bahan bakar tidak dengan batasan tadi selama 25 tahun. Tetapi untuk kehandalan sistem ketika cuaca sedang buruk seperti hujan deras sistem solar PV tidak dapat diandalkan sehingga hanya jaringan PLN dan generator diesel yang digunakan. Sedangkan untuk investasi total dengan menambahkan generator biaya bahan bakar dan biaya operasional akan menjadikan sistem beroperasi membutuhkan biaya yang lebih tinggi.

UCAPAN TERIMA

Ucapan terima kasih kepada drpm kementerian ristek-dikti atas bantuan hibah penelitian dosen pemula melalui institut teknologi sumatera.

Sehingga penelitian ini bias menjadi salah satu kontribusi terhadap riset indonesia.

PUSTAKA

- Ahmed Belhamadia, Muhamad Bin Mansor, Mahmoud A Younis, 2017. Optimal Photovoltaic System Sizing of a Hybrid Diesel/PV System. *Journal of Electrical System* 13, 86–94.
- Deshmukh, M.K., Deshmukh, S.S., 2008. Modeling of hybrid renewable energy systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 12, 235–249. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2006.07.011>
- Farret, F.A., Simões, M.G., 2006. Integration of alternative sources of energy. IEEE Press ; Wiley-Interscience, [Piscataway] : Hoboken, N.J.
- Ghosh, D., Karmakar, S.M., Roy, A., Manna, S., Samanta, S., Mitra, S., 2016. Installation of 6kWp grid tie rooftop solar system for generation of 25 units of energy per day. *IEEE*, pp. 1–3. <https://doi.org/10.1109/IEMCON.2016.7746343>
- Khan, J., Arsalan, M.H., 2016. Estimation of rooftop solar photovoltaic potential using geo-spatial techniques: A perspective from planned neighborhood of Karachi – Pakistan. *Renewable Energy* 90, 188–203. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.12.058>
- Lau, K.Y., Yousof, M.F.M., Arshad, S.N.M., Anwari, M., Yatim, A.H.M., 2010. Performance analysis of hybrid photovoltaic/diesel energy system under Malaysian conditions. *Energy* 35, 3245–3255. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.04.008>
- Pandey, A., Agrawal, H.P., 2015. Design of hybrid power system for an academic institution. *IEEE*, pp. 88–91. <https://doi.org/10.1109/ICATCCT.2015.7456860>
- Tsuanyo, D., Azoumah, Y., Aussel, D., Neveu, P., 2015. Modeling and optimization of batteryless hybrid PV (photovoltaic)/Diesel systems for off-grid applications. *Energy* 86, 152–163. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.03.128>
- Institut Teknologi Sumatera, n.d. UPT MKG ITERA [WWW Document]. URL <http://mkg.itera.ac.id/> (accessed 8.31.18).