

ANALISIS POTENSI SUMBER DAYA BAYU DAN SURYA SERTA PERANCANGAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA HIBRIDA (PLTH) BERBASIS APLIKASI HOMER DI PANTAI KLAYAR, PACITAN

Anna Nur Nazilah Chamim¹, Firmansyah Harahap^{2*}, Ramadoni Syahputra¹

1) Dosen Pembimbing Tugas Akhir, 2) Mahasiswa (20150120067)

*Email: firmansyah.harahap@gmail.com

Intisari

Modern ini peningkatan kebutuhan akan energi listrik di Indonesia semakin tinggi. Namun, energi listrik yang dihasilkan umumnya masih bersumber dari fosil sehingga menimbulkan efek negatif bagi lingkungan. Dengan melakukan analisis dan perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida (PLTH) di Indonesia khususnya tenaga bayu dan tenaga surya diharapkan dapat menjadi salah satu solusi untuk mengatasi permasalahan akan peningkatan konsumsi listrik di Indonesia saat ini. Analisis dan perancangan PLTH saat ini dapat dilakukan menggunakan simulasi pada *software Hybrid Optimization Model for Electric Renewable (HOMER)*. Untuk mengetahui kebutuhan dari pengguna dapat menggunakan metode pengambilan data dengan wawancara secara langsung kepada masyarakat sekitar, dengan melakukan pengukuran beban yang digunakan, atau dapat dengan menggunakan data dari sekitar yang sudah dialiri listrik. Untuk metode yang digunakan pada lokasi Pantai Klayar, Pacitan, Jawa Timur yaitu menggunakan metode wawancara secara langsung pada masyarakat sekitar. Berdasarkan perolehan data akan dilakukan analisis potensi sumber daya dan perancangan kapasitas pembangkit, pemilihan spesifikasi komponen, desain teknis sistem menggunakan *software HOMER*. Hasil dari analisis dan perancangan sistem PLTH (tenaga bayu dan tenaga surya) pada penelitian ini dibuat untuk memfasilitasi 140 rumah penduduk dan 75 warung kuliner di sekitar Pantai Klayar, Pacitan, Jawa Timur. Dari hasil analisis pada *software HOMER*, potensi laju angin 5,52 m/s dan iradiasi matahari 5,66 kWh/m²/hari serta total kebutuhan daya listrik 1.125,4 kWh/hari dengan puncak 181,9 kW. Dari hasil perancangan pada *software HOMER* sistem ini menggunakan konfigurasi turbin angin 50 kW, panel surya 348 kW, baterai 4.078 kWh, dan inverter 200 kW. Total biaya investasi PLTH (tenaga bayu dan tenaga surya) Rp13.998.412.635,00, biaya pemeliharaan dan operasional sejumlah Rp1.115.112.569,00, biaya terkini atau *Net Present Cost (NPC)* Rp16.880.620.000,00 dan harga jual listrik atau *Cost Of Energy (COE)* Rp2.265,00 per kWh. Kapasitas energi listrik yang dihasilkan 725.340 kWh/tahun dengan total beban 410.795 kWh/tahun sehingga terdapat sisa 259.621 kWh/tahun. Sistem ini kombinasi dari turbin angin 152.574 kWh dan panel surya 572.766 kWh. Sistem ini tidak mengalami masalah beban tidak terpenuhi namun hanya kekosongan kapasitas 0,259 kWh/tahun.

Kata Kunci: *Hybrid Optimization Model for Electric Renewable (HOMER), Pantai Klayar, Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida, Pembangkit Listrik Tenaga Bayu, Pembangkit Listrik Tenaga Surya,*

Abstract

This modern increase in the need for electrical energy in Indonesia is increasingly high. However, the electrical energy produced is generally still sourced from fossils that cause negative effects on the environment. By analyzing and designing Hybrid Power Plants (PLTH) in Indonesia, especially wind power and solar power, it is expected to be one of the solutions to overcome the problem of increasing electricity consumption in Indonesia today. Analysis and design of PLTH can now be done using simulations on the Hybrid Optimization Model for Electric Renewable (HOMER) software. To find out the needs of users can use the method of taking data by interviewing directly to the surrounding community, by measuring the load used, or can by using data from the electricity that has been electrified. For the method used at the location of Klayar Beach, Pacitan, East Java, namely using the interview method directly to the surrounding community. Based on the data acquisition, an analysis of resource potential and design of generating capacity, selection of component specifications, system technical design using HOMER software will be conducted. The results of the analysis and design of the PLTH system (wind power and solar power) in this study were made to facilitate 140 residents' homes and 75 culinary stalls around Klayar Beach, Pacitan, East Java. From the analysis of the HOMER software, the potential wind speed is 5.52 m / s and solar irradiation is 5.66 kWh / m² / day and the total electricity demand is 1,125.4 kWh / day with a peak of 181.9 kW. From the results of the design of the HOMER software the system uses a 50 kW wind turbine configuration, 348 kW solar panels, 4,078 kWh batteries, and 200 kW inverters. The total investment costs for PLTH (wind power and solar power) Rp. 13,998,412,635.00, maintenance and operational costs of Rp. 1,115,112,569.00, current costs or Net Present Cost (NPC) Rp. 16,880,620,000.00 and prices selling electricity or Cost Of Energy (COE) Rp.2,265.00 per kWh. The capacity of electric energy generated is 725,340 kWh / year with a total load of 410,795 kWh / year so there is a remaining 259,621 kWh / year. This system is a combination of 152,574 kWh wind turbines and 572,766 kWh solar panels. This system did not experience the problem of unfulfilled load but only a capacity vacuum of 0.259 kWh / year.

Keywords: *Hybrid Optimization Model for Electric Renewable (HOMER), Hybrid Power Plant, Klayar Beach Solar Power Plant, Wind Power Plant.*

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Potensi EBT di Indonesia sangat lengkap dan cukup besar diantaranya adalah mikrohidro sejumlah 450 MW, biomassa sejumlah 50 GW, tenaga surya sejumlah 4,80 kWh/m²/hari, tenaga bayu sejumlah 3 m/s hingga 5 m/s, dan tenaga nuklir sejumlah 3 GW. Saat ini perkembangan EBT di Indonesia masih tergolong kurang. Menurut Peraturan Presiden No. 22 tahun 2017 tentang Kebijakan Energi Nasional (KEN), menyebutkan bahwa target bauran EBT dalam lingkup energi primer nasional pada tahun 2025 paling sedikit 23% dan pada tahun 2050 paling sedikit 31%. Namun, hingga tahun 2017 jumlah bauran EBT di Indonesia baru mencapai 12,5% dan dalam tiga tahun terakhir rasio kontribusi EBT hanya bertambah dua persen. Berdasarkan data tersebut diperlukan adanya pengembangan di bidang EBT mengingat tahun 2025 hanya berkisar enam tahun lagi.

Pantai Klayar, secara geografis terletak pada 8°13'24.8"LS, 110°56'48.8"BT Pantai ini termasuk ke dalam Dusun Kendal, Desa Sendang, Kecamatan Donorojo, Kabupaten Pacitan, Provinsi Jawa Timur, Indonesia. Kebutuhan akan sumber energi listrik cukup dirasakan mengingat di kawasan Pantai Klayar, Pacitan, Jawa Timur terdapat sejumlah warung kuliner, fasilitas umum penunjang objek wisata, dan beberapa dusun yang letaknya saling berdekatan, serta terdapat objek wisata lain yang letaknya tak jauh dari Pantai Klayar, Pacitan, Jawa Timur.

Analisis dan perancangan sistem pembangkit energi baru terbarukan ini dilakukan dengan simulasi perangkat lunak *Hybrid Optimization Model for Electric Renewable (HOMER)*. *Software HOMER* dapat melakukan simulasi rancangan sistem PLTH paling optimal dari berbagai sumber daya energi terbarukan yang mungkin bisa diterapkan. *Software HOMER* dapat melakukan simulasi dan optimalisasi terhadap sistem pembangkit listrik baik *stand-alone* maupun *grid connected* yang dapat terdiri dari kombinasi turbin angin, *photovoltaic*, mikrohidro, biomassa, generator, *microturbine*, *fuel-cell*, baterai, penyimpanan hidrogen, melayani beban listrik maupun *thermal*.

2. DASAR TEORI

2.1. Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida (PLTH)

2.1.1. Konfigurasi PLTH



Gambar 2.1 Skema Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida (PLTH)
(Sumber: <https://www.electrickals.com>)

2.1.2. Prinsip Kerja PLTH

PLTH pada dasarnya bekerja tergantung dari kondisi alam atau keadaan cuaca dalam 24 jam. Pada umumnya PLTH dapat bekerja berdampingan atau bergantian sesuai dengan kondisi yang dialami sebagai berikut:

1. Pada kondisi siang hari dengan keadaan cuaca cerah dan berangin, maka energi listrik untuk baterai disuplai dari panel surya dan turbin angin.
2. Pada kondisi malam hari ataupun cuaca mendung, sumber energi listrik untuk baterai disuplai secara mandiri oleh turbin angin.
3. Sumber energi listrik untuk beban umum disuplai langsung oleh inverter dari media penyimpanan energi yaitu baterai.

2.2. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

2.2.1. Konfigurasi PLTS

Menurut Ismail G. (2018) PLTS Fotovoltaik secara umum mempunyai dua macam konfigurasi yaitu konfigurasi *Direct Current (DC) Coupling* dan konfigurasi *Alternating Current (AC) Coupling*.

1. Konfigurasi DC Coupling

Pada konfigurasi sistem *DC Coupling*, keluaran dari panel surya tersebut akan menuju ke *solar charge controller* dan menuju ke *busbar DC* yang kemudian akan mengisi baterai. Kemudian arus listrik *DC* akan diubah menjadi arus listrik *AC* dengan menggunakan *inverter/charger (bi-directional inverter)* dan siap digunakan untuk perangkat yang menggunakan arus listrik *AC*. Dalam konfigurasi ini *inverter* sangat berperan penting karena sebagai penghubung semua sumber listrik yang akan mengisi baterai.

2. Konfigurasi AC Coupling

Pada konfigurasi sistem *AC Coupling*, keluaran dari panel surya tersebut akan menuju ke *solar inverter*. Hasil dari *solar inverter* sudah berbentuk arus listrik *AC* dan menuju ke *busbar AC*. Kemudian dari *busbar AC* listrik yang dihasilkan tadi dapat digunakan langsung untuk perangkat yang menggunakan arus listrik *AC*. *Inverter/charger (bi-directional inverter)* akan dihubungkan dengan *busbar AC*. Dalam keadaan normal maka *inverter/charger* akan mengisi baterai, sedangkan dalam keadaan beroperasi maka membutuhkan energi yang lebih dikarenakan energi yang dihasilkan panel surya kurang, maka *inverter/charger* akan mengubah arus listrik *DC* dari baterai menjadi arus listrik *AC* sehingga dapat membantu kekurangan energi tadi. Pada sistem konfigurasi *AC Coupling* semua perangkat memiliki fungsi yang sama.

2.2.2. Komponen PLTS

1. Panel Surya

Panel surya ialah beberapa sel surya yang dirangkai dan terhubung secara seri maupun paralel yang disusun sedemikian rupa. Ketika panel surya terkena iradiasi sinar matahari maka secara umum satu sel surya akan menghasilkan tegangan listrik searah sejumlah 0,5 V hingga 1 V serta arus *short-circuit*.

Ada dua jenis panel surya yang paling populer digunakan yakni tipe *monocrystalline* dan tipe *polycrystalline*. Masing-masing tipe memiliki efisiensi yang berbeda. Tipe *monocrystalline* memiliki nilai efisiensi sejumlah 15% hingga 20% dan tipe *polycrystalline* memiliki nilai efisiensi sejumlah 13% hingga 18%.

2. Solar Charge Controller (SCC)

Solar charge controller merupakan komponen yang berfungsi sebagai pengontrol daya dan tegangan yang akan masuk ke baterai dari panel surya. Terdapat dua tipe SCC yang digunakan pada sistem panel surya, yaitu tipe *Pulse Width Modulation (PWM)* dan tipe *Maximum Power Point Tracking (MPPT)*. Tipe *MPPT* dianggap sebagai pengendali yang paling efisien saat ini, sebab tipe *MPPT* bekerja pada tingkat efisiensi yang lebih tinggi daripada tipe *PWM*. Tipe *PWM* bekerja pada tingkat efisiensi sejumlah 75% hingga 80% sedangkan *MPPT* bekerja pada tingkat efisiensi sejumlah 92% hingga 95%.

3. Inverter

Inverter merupakan komponen elektronik yang berfungsi mengubah tegangan listrik arus searah menjadi tegangan listrik arus bolak-balik. Pada rancangan konfigurasi dalam penelitian ini menggunakan dua produk inverter asal Tiongkok dengan daya yang sama yaitu *Seasun TP-200 kW* dan *Bang Zhao BZP-200kW*.

4. Baterai

Baterai merupakan perangkat elektronik yang berfungsi untuk menyimpan energi listrik dalam bentuk kimia. Baterai terbagi menjadi dua jenis yaitu baterai primer dan baterai sekunder. Pada sistem PLTS baterai yang digunakan adalah jenis baterai sekunder. Dalam konfigurasi pada penelitian ini menggunakan dua produk baterai sebagai perbandingan yaitu *BAE 26 PVS 4940* dan *Surrete 2YS 62P*.

2.2.3. Prinsip Kerja PLTS

Prinsip kerja PLTS dikenal sebagai prinsip *photoelectric*, dalam cahaya matahari terkandung energi dalam bentuk foton. Ketika foton ini mengenai permukaan sel surya, elektron-elektronnya akan tereksitasi dan menimbulkan aliran listrik. Sel surya dapat tereksitasi karena terbuat dari material *semiconductor* yang mengandung unsur silikon. Silikon ini terdiri atas dua jenis lapisan sensitif yaitu dan lapisan positif (tipe-p) dan lapisan negatif (tipe-n).

2.2.4. Produk Panel Surya

Panel surya yang digunakan dalam penelitian ini memiliki daya keluaran yang sama yaitu 300 Wp. Panel surya yang digunakan merupakan panel surya tipe *monocrystalline*, yang mana panel surya ini mampu menghasilkan daya sejumlah 300 Watt dari 72 sel. Arus listrik yang dihasilkan merupakan arus listrik searah serta tegangan normal yang dihasilkan dari *controller* terhadap setiap panel surya adalah 24 Volt.

Panel surya *Peimar SG300M (FB)* di produksi oleh *Peimar* yang merupakan produsen panel surya asal Italia. Nilai daya dari panel surya *Peimar SG300M (FB)* adalah 300 watt. Panel surya *Peimar SG300M (FB)* memiliki nilai efisiensi sejumlah 18,44 % dengan garansi mencapai 20 tahun. Panel surya *Peimar SG300M (FB)* memiliki 72 sel dengan tegangan keluaran DC.

2.3. Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB)

Daftar potensi laju angin berbagai wilayah di Indonesia dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Potensi Laju Angin Wilayah Indonesia

Satuan: MW			Satuan: MW		
No.	Provinsi	Potensi	No.	Provinsi	Potensi
1	Nusa Tenggara Timur	10.188	18	Kepulauan Riau	922
2	Jawa Timur	7.907	19	Sulawesi Tengah	908
3	Jawa Barat	7.036	20	Aceh	894
4	Jawa Tengah	6.213	21	Kalimantan Tengah	681
5	Sulawesi Selatan	4.193	22	Kalimantan Barat	554
6	Maluku	3.188	23	Sulawesi Barat	514
7	Nusa Tenggara Barat	2.605	24	Maluku Utara	504
8	Bangka Belitung	1.787	25	Papua Barat	437
9	Banten	1.753	26	Sumatera Barat	428
10	Bengkulu	1.513	28	Sumatera Utara	356
11	Sulawesi Tenggara	1.414	29	Sumatera Selatan	301
12	Papua	1.411	30	Kalimantan Timur	212
13	Sulawesi Utara	1.214	31	Gorontalo	197
14	Lampung	1.137	27	Kalimantan Utara	73
15	DI. Yogyakarta	1.079	32	Jambi	37
16	Bali	1.019	33	Riau	22
17	Kalimantan Selatan	1.006	34	DKI Jakarta	4
Total					60.647,0

Sumber : Lampiran Peraturan Presiden Nomor 22 Tahun 2017

(Sumber: <https://www.setkab.go.id>)

2.3.1. Prinsip Kerja PLTB

Prinsip kerja PLTB memanfaatkan laju angin untuk memutar rotor pada generator yang ada di belakang turbin angin. Generator inilah yang kemudian mengubah energi gerak dari rotor menjadi energi listrik dengan teori medan elektromagnetik. Ketika poros generator mulai berputar maka akan terjadi perubahan fluks pada stator yang akhirnya karena perubahan fluks ini akan dihasilkan tegangan dan arus listrik tertentu. Tegangan dan arus listrik yang dihasilkan ini disalurkan melalui kabel jaringan listrik. Listrik yang dihasilkan oleh generator ini berupa tegangan listrik arus bolak-balik yang memiliki bentuk gelombang kurang lebih sinusoidal.

2.3.2. Konfigurasi PLTB

Menurut posisi sumbu poros rotor pada konfigurasi PLTB sistem ini menggunakan *Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT)*. *HAWT* merupakan turbin angin yang penempatan poros rotor utama dan generator listriknya terletak pada bagian puncak menara. Turbin tipe ini dihadapkan melawan arah angin dari menara, dimana bilah turbin di desain kaku agar dapat menahan kecepatan angin yang tinggi agar tidak terdorong ke menara. Umumnya, turbin tipe ini menggunakan motor *upwind* (melawan arah angin). Namun ada juga yang menggunakan motor *downwind* (sesuai arah angin) karena tidak membutuhkan mekanisme tambahan untuk dapat berjalan searah dengan angin.

2.3.3. Produk Turbin Angin

Turbin angin *Enair E200L* di produksi oleh *Enair* yang merupakan produsen turbin angin asal Spanyol. Pabrikannya telah beroperasi sejak tahun 1970. Nilai daya dari turbin angin *Enair E200L* adalah 10 kW. Turbin angin *Enair E200L* dapat mulai bekerja (*cut-in*) pada laju angin 1,85 m/s dan memiliki batas maksimal (*cut-out*) pada laju angin 30 m/s. Diameter rotor turbin angin *Enair E200L* adalah 9,8 m dengan luas rotor mencapai 75,4 m². Turbin angin *Enair E200L* dilengkapi dengan 3 bilah rotor. Kecepatan rotor maksimum adalah 120 U/menit. Turbin angin *Enair E200L* cocok dengan gearbox penggerak langsung dengan satu generator sinkron yang memiliki batas kecepatan maksimum generator sejumlah 120 U/menit. Tegangan keluaran utama dari turbin angin ini adalah 500 V dengan frekuensi listrik 50 Hz. Dalam pembangunan menara, pabrikannya *Enair* menggunakan tabung baja. Sebagai perlindungan korosi untuk menara, pabrikannya *Enair* berfokus pada jenis lapisan *hot dip galvanis*.

2.4. Software Hybrid Optimization Model for Electric Renewable (HOMER)

HOMER adalah singkatan dari *Hybrid Optimization Model For Electric Renewable*. HOMER merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk membantu pemodelan dari sebuah sistem tenaga listrik dengan menggunakan berbagai pilihan sumber daya terbarukan. Penggunaan *software HOMER* memiliki fungsi untuk melakukan optimasi model sistem pembangkit listrik skala kecil (*micropower*), perangkat lunak ini mempermudah evaluasi desain sistem pembangkit listrik untuk berbagai jenis pembangkit listrik skala kecil baik yang tersambung ke jaringan ataupun tidak. *Software HOMER* dikembangkan oleh U.S. National Renewable Energy Laboratory (NREL).

Kelebihan perangkat lunak ini adalah penggunaannya mudah, bisa mensimulasi, mengoptimasi suatu model kemudian secara otomatis bisa menemukan konfigurasi sistem optimum yang bisa mensuplai beban dengan biaya sekarang atau *Net Present Cost (NPC)* terendah, dan bisa menggunakan parameter sensitivitas untuk hasil yang lebih bagus dan akurat.

2.4.1. Prinsip Kerja Software HOMER

Pembagian kerja dari *software HOMER* umumnya meliputi dua bagian. Pertama terkait data dan desain, kedua meliputi simulasi, optimasi dan analisis sensitivitas.

1. Data dan Desain

Data merupakan hal yang harus diketahui agar sistem perangkat lunak mempunyai bahan yang akan diolah kemudian di konversikan menjadi beberapa bentuk keluaran. Adapun data yang harus di masukan yaitu data beban, data pembangkit, data ekonomi, data *constraints*, data *system control*, data emisi, data matahari, data *sensitivity* matahari, data laju angin, data *solar cell*, dan data baterai. Sedangkan untuk desain, merupakan rancangan letak dan urutan komponen-komponen dalam sebuah sistem pembangkit yang direncanakan. Perancangan ini harus dilakukan dengan benar sesuai dengan kondisi sebenarnya agar sistem dapat berjalan dan tidak terjadi kesalahan atau *error*.

2. Simulasi, Optimasi dan Analisis Sensitivitas

Simulasi merupakan tampilan konfigurasi dari komponen yang telah dirancang menjadi sebuah sistem. Konfigurasinya meliputi besarnya kapasitas komponen dalam sistem dan strategi operasi yang menentukan cara kerjasama sistem tersebut dalam periode waktu tertentu.

Proses simulasi mempunyai dua tujuan, yaitu mengetahui sistem tersebut dapat berjalan dan biaya keseluruhan dari sistem. Optimasi dilakukan untuk menentukan kemungkinan paling optimal pada konfigurasi sistem. Setelah melakukan proses optimasi maka akan tampil urutan nilai *Net Present Cost (NPC)* dan *Cost Of Energy (COE)*, sistem konfigurasi dan strategi pengisian baterai. Tujuan optimasi yaitu menentukan nilai optimal dari konfigurasi sistem yang variabel nilai masukannya dapat diubah sesuai kebutuhan. Adapun variabel yang dapat diubah yaitu:

- Kapasitas daya *photovoltaic*
- Jumlah turbin angin yang digunakan
- Kapasitas daya dari turbin (satu turbin)
- Kapasitas daya generator

- Jumlah baterai yang digunakan
- Kapasitas daya inverter (*AC-DC*)
- Kapasitas daya *electrolizer*
- Kapasitas daya tangki *hydrogen*
- Strategi pengisian baterai.

Analisis sensitivitas ini akan menunjukkan bagaimana hasil konfigurasi sistem yang optimal apabila nilai parameter masukan berbeda-beda. Pengguna dapat menunjukkan analisis sensitivitas dengan memasukkan beberapa nilai variabel sensitivitas. Contohnya harga listrik, harga bahan bakar, suku bunga dan lain-lain. Secara garis besar analisis sensitivitas dibagi menjadi dua, yaitu:

- Analisis sensitivitas dalam keadaan tidak menentu, adalah analisis sensitivitas yang dilakukan terhadap hal-hal yang sifatnya selalu berubah-ubah seiring perjalanan waktu dan kondisi. Misalnya harga komponen, kecepatan angin. Fungsi analisis sensitivitas ini yaitu untuk menentukan efek dari variasi masukan, kemungkinan konfigurasi dan tingkat keoptimalan sistem apabila masukannya berubah-ubah.
- Analisis sensitivitas berdasarkan kumpulan data per jam, analisis sensitivitas ini dilakukan secara berkala dalam setiap satu jam. Adapun nilai yang dianalisis adalah beban listrik, sumber daya angin, sumber daya air atau biomassa. Analisis ini akan menampilkan hasil optimal tidaknya suatu konfigurasi berdasarkan warna dan menunjukkan sensitivitas dengan tanda *diamond*.

2.4.2. Komponen-komponen Utama Sistem Pembangkit

HOMER mempunyai 10 tipe komponen utama sebuah pembangkit, Adapun 10 komponen tersebut yaitu:

- Sel surya (*photovoltaic*), mengubah radiasi sinar matahari menjadi energi listrik (*DC*) melalui proses *photoelectric*.
- Turbin angin, memanfaatkan angin untuk memutar turbin yang memutar motor yang dapat menghasilkan listrik (*AC/DC*).
- Turbin air, memanfaatkan deras aliran air untuk memutar motor yang dapat menghasilkan listrik (*AC/DC*).
- Generator, menggunakan bahan bakar konvensional untuk dapat memutar motor yang dapat menghasilkan listrik (*AC/DC*).
- Jaringan transmisi, fungsinya sebagai jembatan untuk mengirimkan energi listrik dari pembangkit ke jaringan distribusi lalu ke konsumen.
- Boiler* (Ketel Uap), energi yang dapat diatur sesuai dengan kebutuhan melalui proses pemanasan yang menghasilkan uap untuk menggerakkan generator.
- Converter*, adalah komponen yang mengubah listrik *AC* menjadi listrik *DC*.
- Electrolizer*, fungsinya mengubah kelebihan energi listrik *AC/DC* menjadi *hydrogen* melalui proses elektrolisis air.
- Battery*, digunakan untuk penyimpanan sementara listrik *DC* dari sumber pembangkit untuk kemudian digunakan secara langsung oleh beban atau diubah menjadi *AC* terlebih dahulu agar bisa dikonsumsi beban.

10. Tangki penyimpanan *hydrogen*, fungsinya menyimpan *hydrogen* dari *electrolizer* ke bahan bakar atau generator.

2.4.3. Sistematisasi Energi

Sistemasi merupakan perencanaan dalam penataan jaringan dan komponen agar sistem dapat bekerja secara sistematis dan saling mendukung satu sama lain sehingga optimasi sistem dapat tercapai.

1. Sistem Tenaga Cadangan

Sistem ini dibutuhkan untuk mengantisipasi terjadinya *overload* dan fluktuasi beban yang tidak menentu. Hal ini biasanya dilakukan dengan cara membeli spesifikasi komponen yang lebih besar dari kebutuhan beban. Misal kebutuhan beban sebesar 50 kW maka spesifikasi pembangkit sebesar 75 kW, sehingga ada 25 kW daya sebagai cadangan.

2. Sistem Kontrol dari Komponen Tidak Terbarukan (*Dispatchable*)

Sistem ini menggunakan dua sumber pembangkit yaitu energi terbarukan dan energi tidak terbarukan (generator, baterai, jaringan transmisi, boiler). Hal ini dilakukan untuk membantu sumber pembangkit energi terbarukan ketika tidak dapat menyuplai kebutuhan beban. *software HOMER* menggambarkan sisi ekonomi dari beberapa energi tidak terbarui berdasarkan dua nilai, yaitu biaya tetap (\$/h) dan biaya marginal energi (\$/kWh). Nilai ini menggambarkan semua biaya yang berhubungan dengan produksi energi dengan sumber energi per jam.

3. Strategi Pengisian Baterai

Hal ini merupakan beberapa perencanaan untuk menentukan cara kerja dari generator dan battery bank. Hasil dari perencanaan yang optimal tergantung dari beberapa faktor, termasuk ukuran kapasitas daya pada generator dan baterai, harga bahan bakar, biaya *O&M* generator dan jumlah tenaga hibrida pada sistem.

Ada dua cara pengisian baterai yang terdapat pada *software HOMER*, yaitu:

1. *Load Following*, yaitu generator hanya menghasilkan energi sesuai dengan kebutuhan beban, sehingga baterai akan diisi oleh energi yang berasal dari pembangkit tenaga *hybrid*.
2. *Cycle Charging*, yaitu generator bekerja dengan kapasitas maksimal, sehingga energi lebih yang dihasilkan digunakan untuk mengisi baterai.

2.5. Software National Aeronautics and Space Administration Prediction of Worldwide Energy Resource (NASA POWER)

NASA POWER merupakan *software* berbasis *website* yang berisi kumpulan data proyek *POWER*. Proyek *POWER* dimulai untuk memperbaiki data energi terbarukan saat ini dan untuk membuat data baru dari sistem satelit baru. Proyek *POWER* menargetkan tiga komunitas pengguna yaitu energi terbarukan, bangunan berkelanjutan, dan agroklimatologi.

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Metode Penelitian

Dalam penelitian ini data dan informasi yang didapatkan haruslah objektif, maka digunakan metode yang sesuai dengan yang diharapkan. Adapun metode pendukung yang digunakan meliputi:

1. Metode Kepustakaan

Metode ini dilakukan dengan membaca dan mempelajari buku-buku referensi, literatur-literatur, dan berbagai karya tulis yang terkait dengan penulisan tugas akhir.

2. Metode Observasi

Metode ini dilakukan dengan pengamatan secara langsung, baik secara teknis atau non-teknis pada objek.

3. Metode Riset

Metode ini digunakan oleh penulis untuk pengumpulan data kemudian dianalisis dan disusun dalam laporan tugas akhir.

3.2. Lokasi Pengambilan Data

Penentuan lokasi yang akan dijadikan tempat pengambilan data ditentukan secara sengaja atau *purposive method*. Lokasi spesifik yang akan dijadikan tempat pengambilan data bertempat di Pantai Klayar, Dusun Kendal, Desa Sendang, Kecamatan Donorojo, Kabupaten Pacitan, Provinsi Jawa Timur, Indonesia. Berikut peta lokasi yang dijadikan untuk pengambilan data dengan titik lokasi koordinat yaitu pada latitude - 8.2259 dan longitude 110.9430. Peta kabupaten Pacitan dan lokasi Pantai Klayar dapat dilihat pada gambar 3.1 dan gambar 3.2.



Gambar 3.1 Peta Kabupaten Pacitan, Jawa Timur
(Sumber: <https://www.katalogwisata.com>)



Gambar 3.2 Koordinat Pantai Klayar, Jawa Timur
(Sumber: <https://www.earth.google.com/web>)

3.3. Metode Pengumpulan Data

Cara yang dapat dilakukan dalam proses pengumpulan data guna mendukung penelitian ini sehingga mendapatkan hasil yang maksimal, antara lain:

1. Observasi atau pengamatan langsung dilakukan pada lokasi yang memiliki potensi dalam perancangan sebuah sistem pembangkit energi listrik.
2. Wawancara dilakukan dengan beberapa masyarakat setempat yang berkaitan dengan tujuan penelitian agar memperoleh keterangan-keterangan langsung dari warga dalam bentuk data kuantitatif.
3. Studi pustaka yang berkaitan atau memiliki kemiripan dari referensi-referensi penelitian yang pernah ada dengan metode penelitian yang akan dilakukan. Sumber bisa didapatkan dari internet, jurnal, skripsi atau buku.

3.4. Sumber Data

Pada penelitian ini sumber data yang akan digunakan berupa data sekunder yang bersumber dari data atau dokumen yang telah dihasilkan oleh pihak lain dan observasi serta wawancara langsung terhadap sumber data. Adapun data-data yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Jenis Data dan Sumber Data

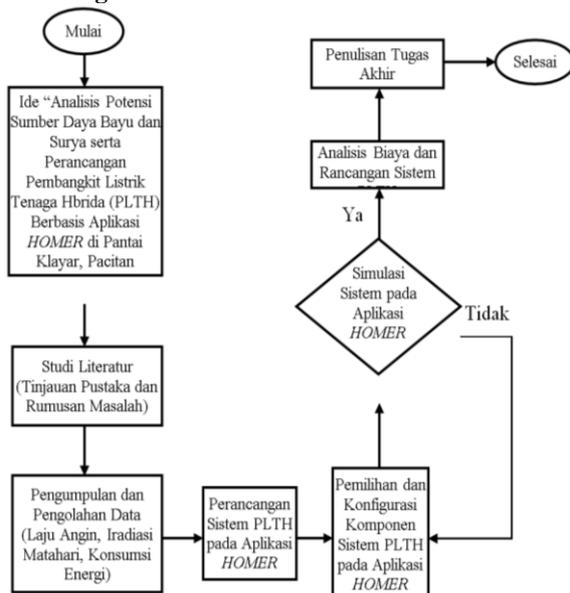
No.	Jenis Data	Tahun	Sumber Data
1.	Nilai Laju Angin	2018	NASA POWER
2.	Nilai Iradiasi Matahari	1982-2005	NASA POWER
3.	Nilai Konsumsi Energi Harian	2019	Penduduk Dusun Kendal, Pantai Klayar, Pacitan, Jawa Timur
4.	Spesifikasi Turbin Angin	2019	Enair Energy
5.	Spesifikasi Panel Surya	2019	Peimar Italian Photovoltaic
6.	Spesifikasi Inverter	2019	Seasun New Energy Co., Ltd.
7.	Spesifikasi Baterai	2019	BAE Batterien GmbH

3.5. Alat yang Digunakan

Dalam proses analisis dan pengolahan data terdapat beberapa alat yang akan digunakan pada penelitian ini diantaranya adalah:

1. Perangkat laptop dengan spesifikasi *Core i3-2310M, 2.10 GHz, 4 GB RAM, 32 bit* yang digunakan untuk mengakses data serta melakukan analisis dan perancangan pada penelitian ini.
2. *Software HOMER Pro versi 3.11.2 (Pro Edition)* sebagai media analisis dan perancangan dalam dalam penelitian ini.
3. *Software berbasis website NASA POWER* sebagai sumber data nilai laju angin dan nilai iradiasi matahari global horizontal di lokasi penelitian.
4. *Software berbasis website Google Maps dan Google Earth* untuk mengetahui kordinat lokasi penelitian.

3.6. Diagram Alir Penelitian

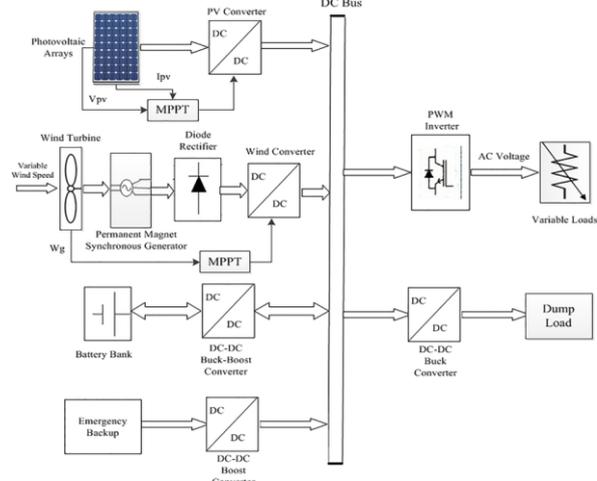


Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian

4. PEMBAHASAN

4.1. Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida (PLTH)

Blok diagram keseluruhan pada sistem PLTH tenaga bayu dan tenaga surya dapat dilihat pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Blok Diagram PLTH Tenaga Bayu dan Tenaga Surya (Sumber: <https://www.researchgate.net>)

4.2. Pengumpulan Data

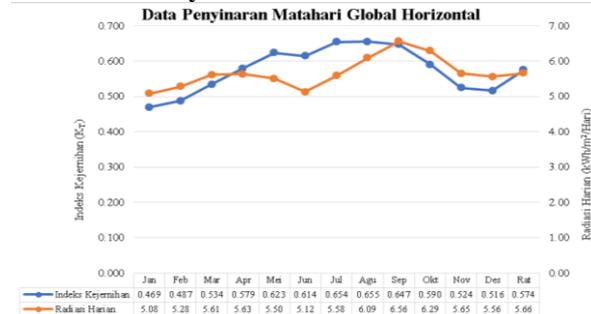
4.2.1. Objek Penelitian

Pengambilan data dalam penelitian ini dilakukan di Pantai Klayar, Dusun Kendal, Desa Sendang, Kecamatan Donorojo, Kabupaten Pacitan, Jawa Timur. Kawasan ini memiliki potensi sumber daya alam yang cukup baik dalam hal tenaga bayu dan surya.

4.2.2. Data Laju Angin



4.2.3. Data Penyinaran Matahari Global Horizontal



4.2.4. Profil Beban

Data jumlah penduduk yang ada di Pantai Klayar diperoleh berdasarkan laporan kependudukan Pemerintah Desa Sendang pada bulan Maret tahun 2019 berupa daftar jumlah Kartu Keluarga (KK) yang diperoleh dari Kantor Kepala Desa Sendang.

Tabel 4.1 Data Jumlah Rumah Penduduk dan Warung Kuliner

No.	Jenis Bangunan	Jumlah
1.	Rumah Penduduk	140 (90% dari 156 KK)
2.	Warung Kuliner	75

(Sumber: Laporan Kependudukan Pemerintah Desa Sendang, Maret 2019)

4.2.5. Konsumsi Beban Energi Listrik

Tabel 4.2 Beban Energi Listrik Rumah Penduduk Harian

No	Perangkat	Jumlah (Unit)	Daya (W)	Total Daya (W)	Durasi (Jam)	Energi (Wh)
1.	Kipas Angin	2	55	110	1 x 10 1 x 16	550 880
2.	Kulkas	1	90	90	24	2.160
3.	Lampu 1	3	14	42	3 x 7	294
4.	Lampu 2	3	23	69	2 x 4 1 x 11	184 253
5.	Mesin Cuci	1	360	360	1	360
6.	Penanak Nasi	1	400	400	2	800
7.	Setrika	1	350	350	1	350
8.	Televisi	1	35	35	11	385
Total				1.456		6.216

Tabel 4.3 Beban Energi Listrik Warung Kuliner Harian

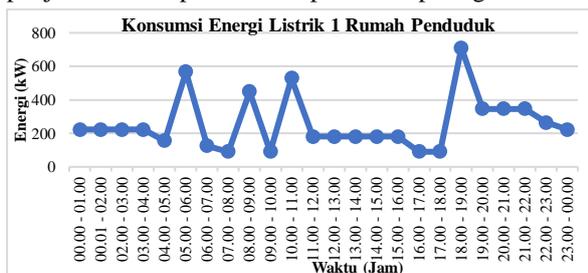
No	Perangkat	Jumlah (Unit)	Daya (W)	Total Daya (W)	Durasi (Jam)	Energi (Wh)
1	Kipas Angin	1	55	55	5	275
2	Kulkas	1	90	90	24	2.160
3	Lampu	1	14	14	12	168
4	Penanak Nasi	1	400	400	2	800
Total				509		3.403

4.2.6. Konsumsi Beban Energi Listrik Per Jam

Tabel 4.4 Rata-Rata Konsumsi Energi Listrik Per Jam 1 Rumah Penduduk

Waktu	Energi (Wh)	Waktu	Energi (Wh)
00.00 – 01.00	223	12.00 – 13.00	180
00.01 – 02.00	223	13.00 – 14.00	180
02.00 – 03.00	223	14.00 – 15.00	180
03.00 – 04.00	223	15.00 – 16.00	180
04.00 – 05.00	155	16.00 – 17.00	90
05.00 – 06.00	567	17.00 – 18.00	90
06.00 – 07.00	125	18.00 – 19.00	711
07.00 – 08.00	90	19.00 – 20.00	346
08.00 – 09.00	450	20.00 – 21.00	346
09.00 – 10.00	90	21.00 – 22.00	346
10.00 – 11.00	530	22.00 – 23.00	265
11.00 – 12.00	180	23.00 – 00.00	223

Tampilan grafik rata-rata konsumsi energi listrik per jam 1 rumah penduduk dapat dilihat pada gambar 4.5.

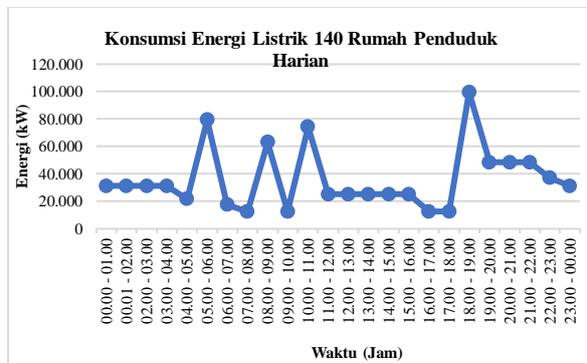


Gambar 4.5 Grafik Rata-Rata Konsumsi Energi Listrik Per Jam 1 Rumah Penduduk
(Sumber: Wawancara Penduduk)

Tabel 4.5 Rata-rata konsumsi energi listrik per jam 140 rumah penduduk

Waktu	Energi (Wh)	Waktu	Energi (Wh)
00.00 - 01.00	31.220	12.00 - 13.00	25.200
00.01 - 02.00	31.220	13.00 - 14.00	25.200
02.00 - 03.00	31.220	14.00 - 15.00	25.200
03.00 - 04.00	31.220	15.00 - 16.00	25.200
04.00 - 05.00	21.700	16.00 - 17.00	12.600
05.00 - 06.00	79.380	17.00 - 18.00	12.600
06.00 - 07.00	17.500	18.00 - 19.00	99.540
07.00 - 08.00	12.600	19.00 - 20.00	48.440
08.00 - 09.00	63.000	20.00 - 21.00	48.440
09.00 - 10.00	12.600	21.00 - 22.00	48.440
10.00 - 11.00	74.200	22.00 - 23.00	37.100
11.00 - 12.00	25.200	23.00 - 00.00	31.220

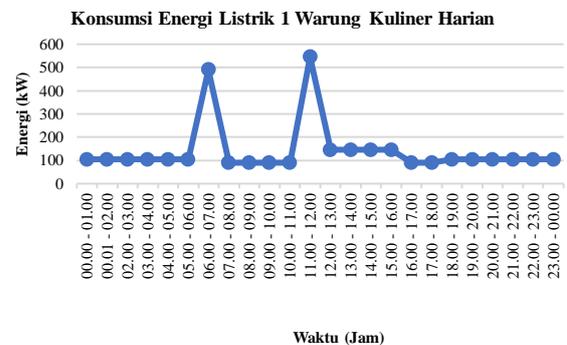
Tampilan grafik rata-rata konsumsi energi listrik per jam 140 rumah penduduk dapat dilihat pada gambar 4.6.



Gambar 4.6 Grafik Rata-Rata Konsumsi Energi Listrik Per Jam 140 Rumah Penduduk
(Sumber: Wawancara Penduduk)

Tabel 4.6 Rata-Rata Konsumsi Energi Listrik Per Jam 1 Warung Kuliner

Waktu	Energi (Wh)	Waktu	Energi (Wh)
00.00 - 01.00	104	12.00 - 13.00	145
00.01 - 02.00	104	13.00 - 14.00	145
02.00 - 03.00	104	14.00 - 15.00	145
03.00 - 04.00	104	15.00 - 16.00	145
04.00 - 05.00	104	16.00 - 17.00	90
05.00 - 06.00	104	17.00 - 18.00	90
06.00 - 07.00	490	18.00 - 19.00	104
07.00 - 08.00	90	19.00 - 20.00	104
08.00 - 09.00	90	20.00 - 21.00	104
09.00 - 10.00	90	21.00 - 22.00	104
10.00 - 11.00	90	22.00 - 23.00	104
11.00 - 12.00	545	23.00 - 00.00	104

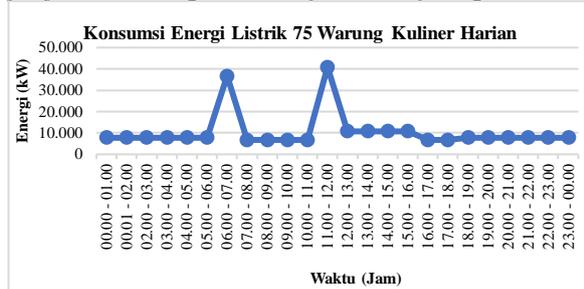


Gambar 4.7 Grafik Rata-Rata Konsumsi Energi Listrik Per Jam 1 Warung Kuliner
(Sumber: Wawancara Penduduk)

Tabel 4.7 Rata-Rata Konsumsi Energi Listrik Per Jam 75 Warung Kuliner

Waktu	Energi (Wh)	Waktu	Energi (Wh)
00.00 - 01.00	7.800	12.00 - 13.00	10.875
00.01 - 02.00	7.800	13.00 - 14.00	10.875
02.00 - 03.00	7.800	14.00 - 15.00	10.875
03.00 - 04.00	7.800	15.00 - 16.00	10.875
04.00 - 05.00	7.800	16.00 - 17.00	6.750
05.00 - 06.00	7.800	17.00 - 18.00	6.750
06.00 - 07.00	36.750	18.00 - 19.00	7.800
07.00 - 08.00	6.750	19.00 - 20.00	7.800
08.00 - 09.00	6.750	20.00 - 21.00	7.800
09.00 - 10.00	6.750	21.00 - 22.00	7.800
10.00 - 11.00	6.750	22.00 - 23.00	7.800
11.00 - 12.00	40.875	23.00 - 00.00	7.800

Tampilan grafik rata-rata konsumsi energi listrik per jam 75 warung kuliner dapat dilihat pada gambar 4.8.

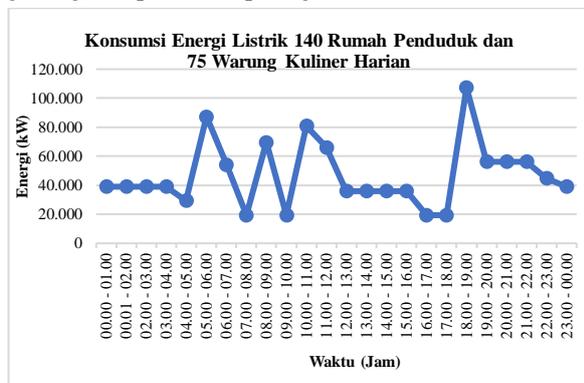


Gambar 4.8 Grafik Rata-Rata Konsumsi Energi Listrik Per Jam 75 Warung Kuliner (Sumber: Wawancara Penduduk)

Tabel 4.8 Rata-Rata Konsumsi Energi Listrik Per Jam 140 Rumah Penduduk dan 75 Warung Kuliner

Waktu	Energi (Wh)	Waktu	Energi (Wh)
00.00 - 01.00	39.020	12.00 - 13.00	36.075
00.01 - 02.00	39.020	13.00 - 14.00	36.075
02.00 - 03.00	39.020	14.00 - 15.00	36.075
03.00 - 04.00	39.020	15.00 - 16.00	36.075
04.00 - 05.00	29.500	16.00 - 17.00	19.350
05.00 - 06.00	87.180	17.00 - 18.00	19.350
06.00 - 07.00	54.250	18.00 - 19.00	107.340
07.00 - 08.00	19.350	19.00 - 20.00	56.240
08.00 - 09.00	69.750	20.00 - 21.00	56.240
09.00 - 10.00	19.350	21.00 - 22.00	56.240
10.00 - 11.00	80.950	22.00 - 23.00	44.900
11.00 - 12.00	66.075	23.00 - 00.00	39.020

Tampilan grafik rata-rata konsumsi energi listrik gabungan dapat dilihat pada gambar 4.9.

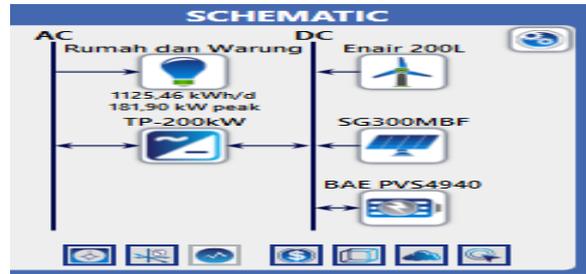


Gambar 4.9 Grafik Rata-Rata Konsumsi Energi Listrik Per Jam 140 Rumah Penduduk dan 75 Warung Kuliner (Sumber: Wawancara Penduduk)

4.3. Pengolahan Data

4.3.1. Desain Teknis Sistem Pembangkit

Skema perancangan sistem PLTH pada *software HOMER* yang akan digunakan dapat dilihat pada gambar 4.10.



Gambar 4.10 Skema Sistem PLTH Pada *Software HOMER* (Sumber: *HOMER*)

Tampilan data keuangan untuk konfigurasi ekonomis dapat dilihat pada gambar 4.11.



Gambar 4.11 Konfigurasi Ekonomis (Sumber: *HOMER*)

4.3.2. Konfigurasi Nilai Laju Angin

Tampilan konfigurasi nilai laju angin atau (*Wind Resource*) dapat dilihat pada gambar 4.12.



Gambar 4.12 Tampilan *Wind Resource* (Sumber: *HOMER*)

4.3.3. Konfigurasi Nilai Penyinaran Matahari Global Horizontal

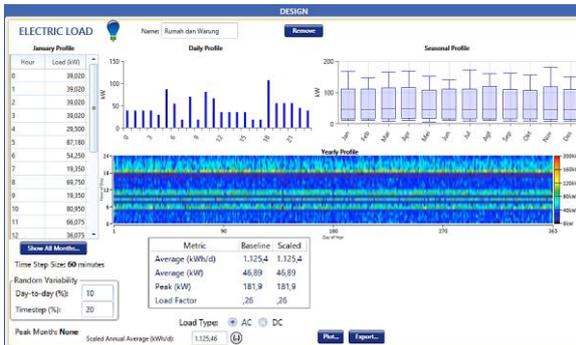
Tampilan konfigurasi nilai penyinaran matahari global horizontal dapat dilihat pada gambar 4.13.



Gambar 4.13 Tampilan *Solar GHI Resource* (Sumber: *HOMER*)

4.3.4. Konfigurasi Nilai Beban

Tampilan konfigurasi nilai beban (*Electric Load*) untuk beban 140 rumah penduduk dan 75 warung kuliner dapat dilihat pada gambar 4.14.



Gambar 4.14 Tampilan *Electric Load* Beban 140 Rumah Penduduk dan 75 Warung Kuliner (Sumber: HOMER)

Tampilan grafik profil beban (*AC Primary Load*) keseluruhan beban dalam satu tahun dapat dilihat pada gambar 4.15.

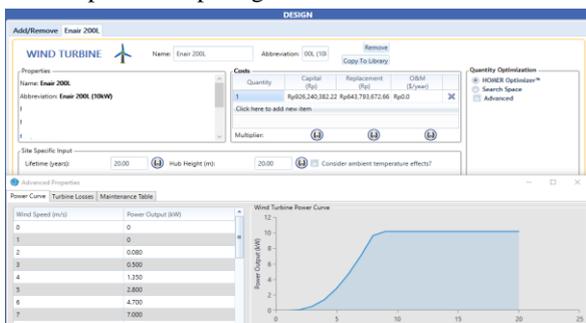


Gambar 4.15 Grafik Profil Tahunan *AC Primary Load* Keseluruhan Beban (Sumber: HOMER)

Dari seluruh beban yang tersambung didapat rata-rata (*average*) konsumsi energi listrik sejumlah 1.125,4 kWh per hari dengan puncak konsumsi (*peak*) sejumlah 181,9 kW dan faktor daya (*load factor*) sejumlah 0,26. Pada konfigurasi ini faktor keragaman yang digunakan adalah *default* dari perangkat lunak HOMER untuk sistem beban rumah penduduk. Adapun besarnya nilai keragaman sejumlah 10% untuk hari ke hari (*day-to-day*) dan sejumlah 20% untuk jeda waktu (*timestep*) dengan skala 60 menit.

4.3.5. Desain Sistem Turbin Angin

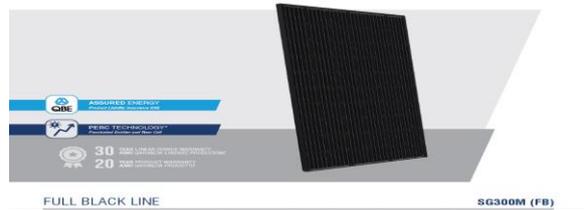
Tampilan konfigurasi desain turbin angin *Enair 200L* dapat dilihat pada gambar 4.17.



Gambar 4.17 Tampilan Konfigurasi Desain Turbin Angin *Enair 200L* (Sumber: HOMER)

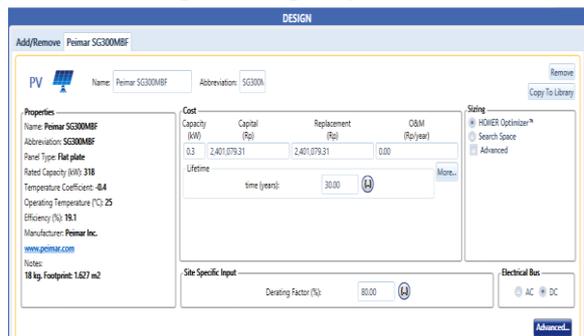
4.3.6. Desain Sistem Panel Surya

Setelah melakukan perbandingan dari produk panel, maka panel surya yang akan digunakan pada sistem pembangkit ini adalah produk *Peimar SG300M (FB)* dengan kapasitas 300Wp.



Gambar 4.18 Panel Surya *Peimar SG300M (FB)* (Sumber: <https://www.peimar.com>)

Tampilan konfigurasi desain panel surya *Peimar SG300M (FB)* dapat dilihat pada gambar 4.19.



Gambar 4.19 Tampilan Konfigurasi Desain Panel Surya *Peimar SG300M (FB)* (Sumber: HOMER)

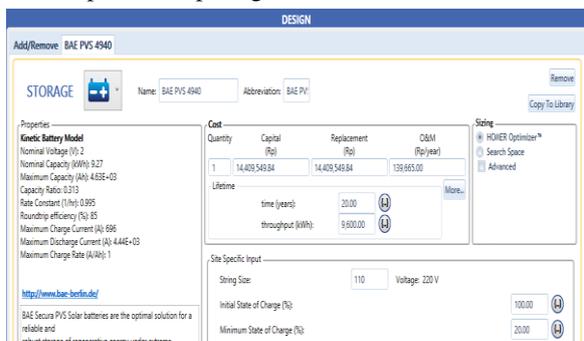
4.3.7. Desain Sistem Baterai

Tampilan dari baterai *BAE 26 PVS 4940* dapat dilihat pada gambar 4.20.



Gambar 4.20 Baterai *BAE 26 PVS 4940* (Sumber: <https://www.e-solare.com>)

Tampilan konfigurasi desain baterai *BAE 26 PVS 4940* dapat dilihat pada gambar 4.21.



Gambar 4.21 Tampilan Konfigurasi Desain Baterai *BAE 26 PVS 4940* (Sumber: HOMER)

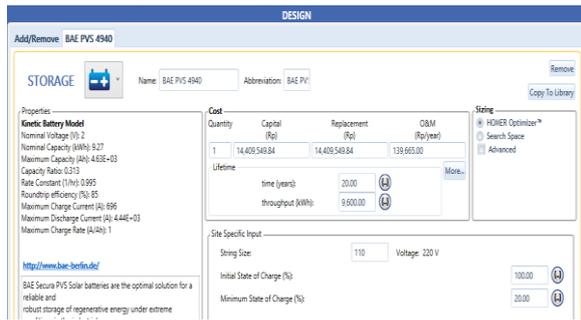
4.3.8. Desain Sistem Inverter

Tampilan dari baterai *BAE 26 PVS 4940* dapat dilihat pada gambar 4.20.



Gambar 4.22 Inverter *Seasun TP-200 kW*
(Sumber: <https://www.alibaba.com>)

Tampilan konfigurasi desain baterai *BAE 26 PVS 4940* dapat dilihat pada gambar 4.21.

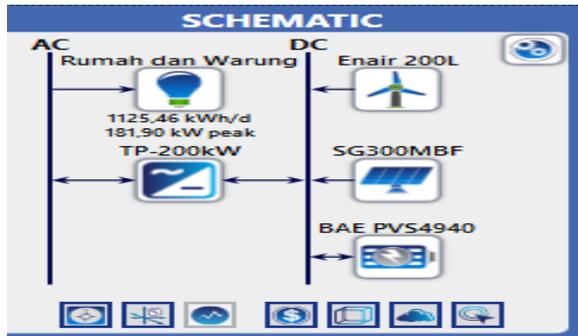


Gambar 4.21 Tampilan Konfigurasi Desain Baterai *BAE 26 PVS 4940*
(Sumber: *HOMER*)

4.4. Simulasi dan Konfigurasi Sistem Pembangkit Listrik

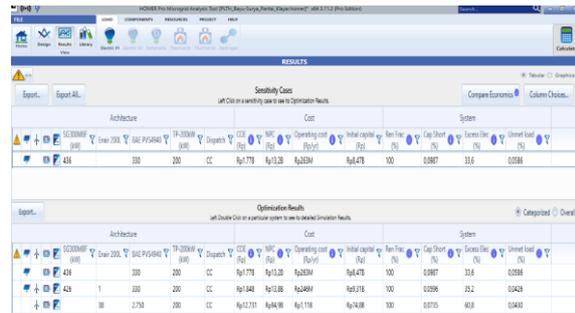
4.4.1. Simulasi Sistem Pembangkit HOMER

Tampilan data beban dan pemilihan komponen perencanaan PLTH pada *software HOMER* untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 4.24.



Gambar 4.24 Data Beban dan Pemilihan Komponen
(Sumber: *HOMER*)

Hasil simulasi konfigurasi *HOMER* dapat dilihat pada gambar 4.25.



Gambar 4.25 Hasil Simulasi Konfigurasi *HOMER*
(Sumber: *HOMER*)

4.4.2. Konfigurasi Sistem Pembangkit Terbaik

Konfigurasi sistem pilihan optimal penulis dalam perencanaan sistem PLTH lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 4.26.



Gambar 4.26 Simulasi Konfigurasi Optimal
(Sumber: *HOMER*)

Data hasil simulasi konfigurasi optimal menurut penulis dapat dilihat pada tabel 4.13.

Tabel 4.13 Data Konfigurasi Optimal

	Konfigurasi	Keterangan
Wind Turbine (unit)	5 Unit	Turbin angin <i>Enair 200L (10kW)</i> yang digunakan berjumlah lima unit.
Photovoltaic	348 kW 1.160 Unit	Panel surya <i>Peimar SG300M (FB)</i> yang digunakan berjumlah 348 kW atau 1.160 unit.
Battery (unit)	440 Unit	Jumlah baterai <i>BAE PVS 4940</i> yang digunakan berjumlah 440 unit.
Converter (kW)	200 kW	Penggunaan inverter <i>Seasun TP-200 kW</i> guna memenuhi kapasitas beban puncak sejumlah 181,90 kW.
Net Present Cost (NPC)	Rp16.880.620.000,00	Total biaya pengeluaran sekarang dikurangi surplus.
Cost Of Energy (COE)	Rp2.265,00	Rata-rata harga per kWh dari energi listrik yang dihasilkan pembangkit.
Operating Cost (Rp/th)	Rp161.481.600,00	Total biaya operasional untuk pemeliharaan seluruh komponen setiap tahun.
Initial Capital (Rp)	Rp13.950.391.049,00	Total biaya investasi yang dikeluarkan untuk pembangunan sistem PLTH.
Renewable Fraction (%)	100%	Energi yang dikirim ke beban 100% menggunakan energi terbarukan.
Capacity Shortage (%)	0,0000632%	Kekosongan kapasitas penyimpanan akibat tingginya konsumsi beban saat kekurangan sumber energi.
Excess Electricity (%)	35,8%	Kelebihan energi listrik dari sistem pembangkit dan tidak digunakan.
Unmet Load (%)	0%	Daya tidak terpenuhi oleh sistem pembangkit dan penyimpanan energi.

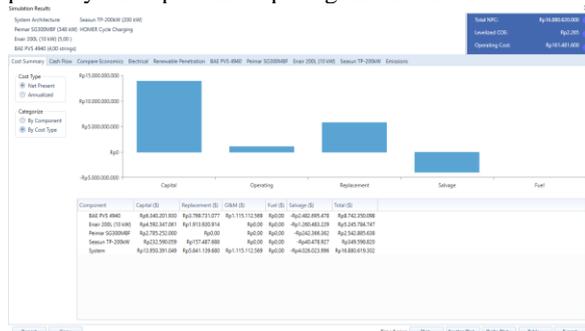
4.5. Analisis Keuangan Sistem Pembangkit

Tampilan analisis keuangan berdasarkan komponen dapat dilihat pada gambar 4.27.



Gambar 4.27 Analisis Keuangan Berdasarkan Komponen
(Sumber: *HOMER*)

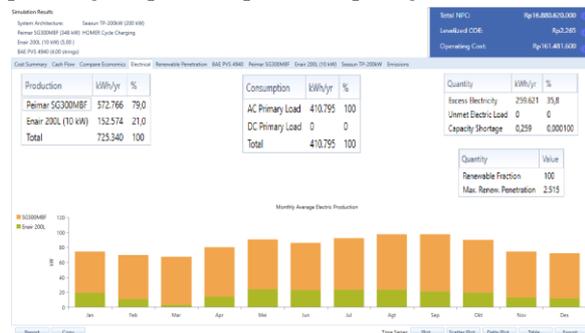
Tampilan analisis keuangan berdasarkan jenis pembiayaan dapat dilihat pada gambar 4.28.



Gambar 4.28 Analisis Keuangan Berdasarkan Jenis Pembiayaan (Sumber: HOMER)

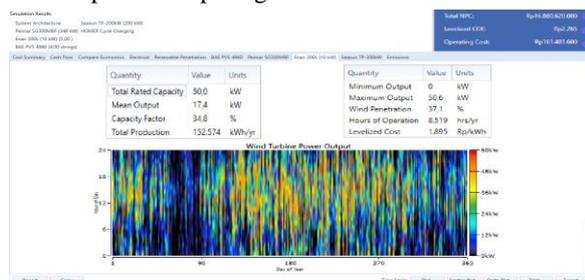
4.6. Analisis Hasil Energi Sistem Pembangkit

Dari hasil simulasi sistem PLTH yang telah dilakukan pada *software* HOMER dengan konfigurasi optimal. Tampilan analisis hasil kelistrikan sistem pembangkit optimal dapat dilihat pada gambar 4.29.



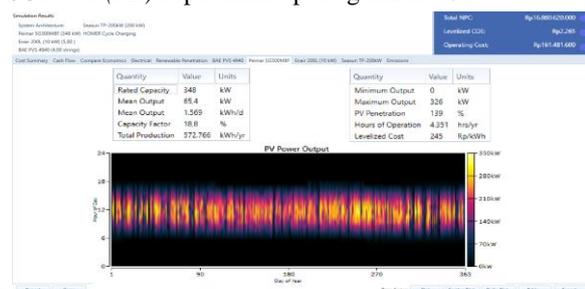
Gambar 4.29 Analisis Hasil Kelistrikan Sistem Pembangkit Optimal (Sumber: HOMER)

Tampilan analisis hasil energi turbin angin *Enair 200L* dapat dilihat pada gambar 4.30.



Gambar 4.30 Analisis Energi Turbin Angin *Enair 200L* (Sumber: HOMER)

Tampilan analisis hasil energi panel surya *Peimar SG300M (FB)* dapat dilihat pada gambar 4.31.



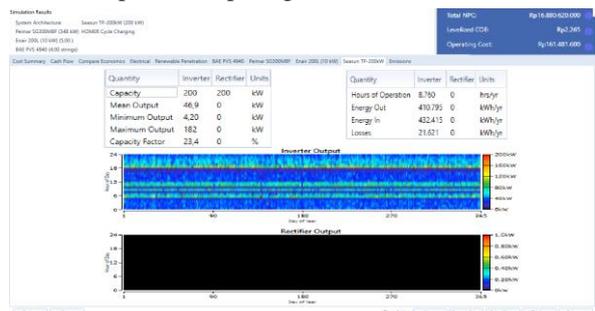
Gambar 4.31 Analisis Energi Fotovoltaik *Peimar SG300M (FB)* (Sumber: HOMER)

Tampilan analisis hasil energi baterai *BAE 26 PVS 4940* dapat dilihat pada gambar 4.32.



Gambar 4.32 Analisis Energi Baterai *BAE 26 PVS 4940* (Sumber: HOMER)

Tampilan analisis hasil energi inverter *Seasun TP-200 kW* dapat dilihat pada gambar 4.33.



Gambar 4.33 Analisis Energi Inverter *Seasun TP-200 kW* (Sumber: HOMER)

5. KESIMPULAN

Setelah melakukan penelitian dan simulasi maka diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Potensi sumber daya tenaga bayu dan tenaga surya sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida yang dapat dihasilkan di Pantai Klayar, Pacitan, Jawa Timur adalah laju rata-rata angin setiap bulannya sepanjang tahun 2018 adalah 5,52 m/s dan nilai rata-rata penyiaran matahari global secara horizontal setiap bulannya sejumlah 5,66 kWh/m²/hari.
2. Pola konsumsi energi listrik (beban) penduduk di kawasan Pantai Klayar, Pacitan, Jawa Timur adalah meningkat pada awal pagi hari dengan nilai puncak keseluruhan sejumlah 87.180 Wh dan disusul saat menjelang siang hari sejumlah 80.950 Wh. Puncak konsumsi daya tertinggi terjadi saat awal malam hari sejumlah 107.340 Wh. Dengan asumsi *random variability harian (day-to-day)* sejumlah 15% dan *timestep* sejumlah 20%, didapat rata-rata penggunaan energi listrik sejumlah 1.125,4 kWh per hari dengan puncak konsumsi energi mencapai 181,9 kW.
3. Rancangan dan konfigurasi sebuah sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida agar dapat menghasilkan energi listrik yang optimal untuk wilayah Pantai Klayar, Pacitan, Jawa Timur pada perangkat lunak *Hybrid Optimization Model for Electric Renewable (HOMER)* adalah dengan menetapkan konfigurasi dengan sistem terbaik yaitu dengan nilai *Net Present Cost (NPC)* dan *Cost Of Energy (COE)* terendah serta nilai *excess electricity* dan *unmet load* terendah. Maka dari itu untuk desain perencanaan sistem PLTH yang optimal di sekitar Pantai Klayar berdasarkan hasil konfigurasi HOMER yaitu dengan arsitektur 5 unit turbin angin *Enair 200L* berkapasitas 50 kW, 1.160

- unit panel surya *Peimar SG300M (FB)* berkapasitas 348 kW, 440 unit baterai *BAE 26 PVS 4940* berkapasitas 4.078 kWh, serta 1 unit inverter *Seasun TP-200kW* berkapasitas 200 kW.
4. Biaya pembangunan dan operasional dari sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida berdasarkan simulasi pada perangkat lunak *HOMER* adalah sejumlah Rp13.998.412.635,00 untuk biaya investasi dan biaya replacement keseluruhan komponen selama 25 tahun sejumlah Rp5.841.139.680,00 serta biaya operasional sejumlah Rp1.115.112.569,00 dengan *salvage* sejumlah -Rp4.026.023.996,00. Pada konfigurasi ini tercatat *Net Present Cost (NPC)* atau biaya sekarang dari sistem pembangkit ini sejumlah Rp16.880.620.000,00 dengan perkiraan harga energi listrik (*Levelized Cost Of Energy*) setiap kWh sejumlah Rp2.265,00.
 5. Kapasitas energi listrik yang dihasilkan dari sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida berdasarkan simulasi pada perangkat lunak *HOMER* adalah sejumlah 725.340 kWh dalam satu tahun. Adapun total energi yang dibutuhkan beban sejumlah 410.795 kWh dalam satu tahun. Sehingga terdapat kelebihan daya yang tersisa (*excess electricity*) sejumlah 259.621 kWh atau 35,8% dalam satu tahun. Total energi yang dihasilkan merupakan kombinasi antara energi yang dihasilkan turbin angin sejumlah 152.574 kWh (21,0%) dan energi yang dihasilkan panel surya sejumlah 572.766 kWh (79,0%) dalam satu tahun. Pada sistem ini tidak terdapat masalah beban tidak terpenuhi (*unmet electric load*) dan hanya menyisakan sedikit masalah yang tidak begitu mengganggu yaitu kekosongan kapasitas energi (*capacity shortage*) sejumlah 0,259 kWh dalam satu tahun atau setara dengan 0,0001%.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, N. dkk. (2015). Technical Study of a Standalone Photovoltaic-Wind Energy Based Hybrid Power Supply Systems for Island Electrification in Malaysia. *Jurnal PONE: Researchget*, 4-35.
- Ariani, W. D., dkk. (2014). Analisis Kapasitas dan Biaya Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Komunal Desa Kaliwungu Kabupaten Banjarnegara. *Jurnal Transient*, 3(2).
- Ariodarma, D. (2016). Analisis Potensi PLTH (Surya dan Angin) Untuk Penyediaan Energi Listrik di Pulau Ketapang. *Skripsi*. Yogyakarta: Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Bagaskara, N. F. (2017). Analisis Potensi Sumber Daya Angin sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Bayu dan Energi alternatif dalam Penyediaan Energi Listrik di Pantai Samas Bantul. *Skripsi*. Yogyakarta: Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- BAE Batterien. (2018). *Stationär*. Diperoleh 18 Juli 2019, dari <https://www.bae-berlin.de/produkte/stationaer.html>
- Direktorat Jendral Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi. (2017). *Pemanfaatan Energi Terbarukan*. Diperoleh 5 Mei 2019, dari <http://ebtke.esdm.go.id/post/2017/09/28/1754/pe-manfaatan.energi.terbarukan.is.a.must5>
- E-Solare. (2019). *BAE Secura 26 PVS 4940*. Diperoleh 18 Juli 2019, dari <https://www.e-solare.com/produs/zelle-26-pvs-4940-ppol-1>
- Google Earth. (2019). *Klayar Beach*. Diperoleh 28 Mei 2019, dari <https://earth.google.com/web/@-8.22489872,110.94680077,0.40360167a,1530.16462073d,35y,-4.78711514h,0.12360323t,0r/data=ChcaFQoNL2cvMTFiNW00Xzg2dBgBIAEoAg>
- Enair. (2019). *Small Wind Turbine Enair 200L* Diperoleh 18 Juli 2019, dari <https://www.enair.es/en/small-wind-turbines/e200l>
- Hasan, H. (2016). Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Pulau Saugi, *Jurnal Riset dan Teknologi Kelautan (JRKT)*, 10(2).
- Hexamitra. (2019). *Solusi Elektrifikasi* Diperoleh 5 Mei 2019, dari <https://www.hexamitra.co.id/index-solusi.php?p=solusi-elektifikasi>
- I. K. Agus S., dkk. (2014). Analisis Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Satu MWp Terinterkoneksi Jaringan di Kayubih, Bangli. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, 13(1).
- Irawan, R., dkk. (2006). Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Indonesia, Strategi Penyediaan Listrik Nasional Dalam Rangka Mengantisipasi Pemanfaatan PLTU Batubara Skala Kecil, PLTN, Dan Energi Terbarukan. *Jurnal*, 43-52.
- Ismail, G. (2018). Perancangan Sistem PLTS Fotovoltaik Terpusat untuk Memenuhi Kebutuhan Tenaga Listrik di Desa Terpencil. *Skripsi*. Yogyakarta: Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Isnaini N. R. (2016). Analisis Peranan Energi Terbarukan Dalam Penyediaan Energi Listrik Di Daerah Istimewa Yogyakarta. *Skripsi*. Yogyakarta: Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Katalog Wisata. (2012). *Pesona Pantai Klayar di Pacitan*. Diperoleh 28 Mei 2019, dari <https://katalogwisata.com/pesona-pantai-klayar-di-pacitan#.XahW71Oz a00>
- Kossi, V. R. (2018). Perencanaan PLTS Terpusat (Off-Grid) di Dusun Tikalong Kabupaten Mempawah. *Skripsi*. Pontianak: Universitas Tanjungpura.
- NASA POWER. (2019). *Data Access Viewer*. Diperoleh 20 Juni 2019, dari <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>
- Nugraha, C. A. (2015). Analisa Potensi Sumber Daya Angin sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) di Pantai Congot, Kulon Progo. *Skripsi*. Yogyakarta: Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Pakha, A. N. (2014). Evaluasi dan Optimasi Ukuran Komponen Penyusun Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid Sistem Inovasi Daerah Pantai Baru. *Skripsi*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Pangaribowo, T. (2017) Implementasi Algoritma Logika Fuzzy dalam Penentuan Kapasitas Pembangkit Listrik Tenaga Surya Terpusat Off-Grid. *Jurnal Teknik Elektro: TESLA*, 18(1).
- Peimar. (2014). *Monocrystalline*. Diperoleh 18 Juli 2019, dari <http://www.peimar.com/us/home-us/products/made-in-italy/>

- Pemerintah Indonesia. (2017). *Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Nomor 50 Tahun 2017 tentang Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan Untuk Penyediaan Tenaga Listrik*. Jakarta: Kementerian ESDM Republik Indonesia.
- Pemerintah Indonesia. (2018). *Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Nomor 36 Tahun 2018 tentang Petunjuk Operasional Pelaksanaan Dana Alokasi Khusus Fisik Bidang Energi Skala Kecil*. Jakarta: Kementerian ESDM Republik Indonesia.
- Pemerintah Indonesia. (2017). *Peraturan Presiden Nomor 22 Tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional*. Jakarta: Kementerian ESDM Republik Indonesia.
- Pradityo, J. (2015). *Evaluasi dan Optimasi Sistem Off-Grid Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (PLTH) Bayu Baru, Bantul, D.I. Yogyakarta*. Skripsi. Semarang: Universitas Diponegoro.
- PVeducation. (2014). *Solar Concepts*. Diperoleh 5 Mei 2019, dari <https://pveducation.com/solar-concepts/>
- Ramadhani, B. (2018a). *Dasar-dasar Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)*. Jakarta: GIZ.
- Ramadhani, B. (2018b). *Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya: Dos & Don'ts*. Jakarta: GIZ.
- Rangkuti dan Ramadhan. (2016). *Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Di Atap Gedung Harry Hartanto Universitas Trisakti*. Seminar Nasional Cendekiawan.
- RRI. (2016). *Libur panjang, Pantai Klayar jadi tujuan*. Diperoleh 14 Juni 2019, dari http://rri.co.id/post/berita/272588/hiburan/libur_panjang_pantai_klayar_jadi_tujuan.html
- Schneider Electric. (2019). *Solar Products*. Diperoleh 5 Mei 2019, dari <https://solar.schneider-electric.com/products-2/>
- Seasun Power – Alibaba. (2019). *200KW Off grid Intelligent Three phase Power frequency Solar Power System Solar Inverter for Large Data Center*. Diperoleh 18 Juli 2019, dari https://seasunpower.en.alibaba.com/product/60751699048-806427566/200KW_Off_grid_Intelligent_Three_phase_Power_frequency_Solar_Power_System_Solar_Inverter_for_Large_Data_Center.html?spm=a2700.icbuShop.41413.63.607a718e4p5GJY
- Sekretariat Kabinet Republik Indonesia. (2017). *Potensi Pengembangan PLTB di Indonesia*. Diperoleh 5 Mei 2019, dari <https://setkab.go.id/potensi-pengembangan-pltb-di-indonesia/24/>
- Sianipar, R. (2014). *Dasar Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya*. *JETri*, 11(2), 61–78.
- Standar Nasional Indonesia. (2000). *SNI 04-0225-2000 tentang Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000*. Jakarta: Badan Standar Nasional.
- Standar Nasional Indonesia. (2000). *SNI 04-6394-2000 tentang Classification Determination Procedures for Stand-Alone PV Systems – General Guide*. Jakarta: Badan Standar Nasional.
- Standard IEEE. (2007). *Solar Sizing*. IEEE, 1562-2007.
- Sumbang, F. H., dkk. (2016). *Penentuan Kapasitas dan Karakteristik Modul PV Pada Perencanaan Pembangunan PLTS Komunal Di Distrik Okaba*. *Jurnal Ilmiah Mustek Anim Ha*, 5(2).
- Surya Utama Putra. (2019). *Pembangkit Listrik Tenaga Surya*. Diperoleh 5 Mei 2019, dari <http://suryautamaputra.co.id/pembangkit-listrik-tenaga-surya/>
- Syahputra, R. (2010). *Fault Distance Estimation of Two-Terminal Transmission Lines*. *Proceedings of International Seminar on Applied Technology, Science, and Arts (2nd APTECS)*, 419-423.
- Syahputra, R. (2012). *Distributed Generation: State of the Arts dalam Penyediaan Energi Listrik*. Yogyakarta: LP3M UMY.
- Syahputra, R. (2015). *Teknologi dan Aplikasi Elektromagnetik*. Yogyakarta: LP3M UMY.
- Syahputra, R. (2016). *Transmisi dan Distribusi Tenaga Listrik*. Yogyakarta: LP3M UMY.
- Syahputra, R., Robandi, I., Ashari, M. (2014). *Optimal Distribution Network Reconfiguration with Penetration of Distributed Energy Resources*. *Proceeding of 2014 1st International Conference on Information Technology, Computer, and Electrical Engineering (ICITACEE)*, 388-393.
- Syahputra, R., Soesanti, I. (2015). *Control of Synchronous Generator in Wind Power Systems Using Neuro-Fuzzy Approach*. *Proceeding of International Conference on Vocational Education and Electrical Engineering (ICVEE)*, 187-193.
- Wicaksono, D. B. (2019). *Analisis Desain Pembangkit Listrik Tenaga Surya Menggunakan Aplikasi PVSYS di Pantai Indrayanti Gunungkidul*. Skripsi. Yogyakarta: Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Wijaya, M. A. (2017). *Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Sistem 48 V untuk Beban Warung Kuliner di Sekitar Area PLTH Pandansimo*. Skripsi. Yogyakarta: Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- XE. (2019). *Convert RON to IDR*. Diperoleh 18 Juli 2019. <https://www.xe.com/currencyconverter/convert/?Amount=1%2C672.43&From=RON&To=IDR>