

**PERANCANGAN PEMANFAATAN ENERGI BARU TERBARUKAN BERBASIS TENAGA
HIBRIDA UNTUK MENINGKATKAN RASIO ELEKTRIFIKASI
(STUDI KASUS: KECAMATAN TULAKAN, KABUPATEN PACITAN).**

***THE DESIGN OF HYBRID RENEWABLE ENERGIES UTILIZATION TO INCREASE
ELECTRIFICATION RATIO (CASE STUDY: TULAKAN, PACITAN REGENCY).***

Sri Anggoro Prahastono^{1*}, Ahmad Agus Setiawan², Wahyu Wilopo³

^{1*}Magister Teknik Sistem, Universitas Gadjah Mada

² Department Teknik Nuklir dan Teknik Fisika, Universitas Gadjah Mada

³ Department Teknik Sistem, Universitas Gadjah Mada

srianggoro98@mail.ugm.ac.id^{}, a.setiawan@ugm.ac.id², wilopo_w@ugm.ac.id³*

INFO ARTIKEL

Submitted: 31 Mei 2023

Revised: 12 Juni 2023

Accepted: 16 Juni 2023

ABSTRAK

Salah satu daerah yang memiliki rasio elektrifikasi rendah terdapat di Kecamatan Tulakan, Kabupaten Pacitan, Jawa Timur. Padahal, potensi Energi Baru Terbarukan masih banyak yang dapat dimanfaatkan. Pada daerah tersebut, terdapat potensi energi surya, angin, dan biogas yang tinggi untuk dikembangkan agar penduduk sekitar mendapatkan aliran listrik yang sesuai dengan kebutuhan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mensimulasikan Energi Baru Terbarukan berbasis tenaga surya, tenaga angin, dan biogas yang ada di Kecamatan Tulakan, agar dapat memperoleh kombinasi terbaik. Dengan melakukan simulasi menggunakan perangkat lunak *HomerPro*, didapatkan kombinasi konfigurasi yang bersifat *Off-grid*. Konfigurasi terbaik yang telah didapatkan terdiri dari kombinasi Panel Surya, Turbin Angin, dan Biogas. Konfigurasi ini memproduksi listrik hingga 11.590 kWh/tahunnya, dimana persentase produksi energi terbesar dari Turbin Angin sebesar 65,9%, Panel Surya sebesar 25%, dan biogas sebesar 9,1%. Konfigurasi ini menghasilkan emisi CO₂ dari generator biogas sebanyak 1.324 kg/tahun dan membutuhkan biaya investasi awal sebesar Rp 2.317.119.450. Penerapan dari konfigurasi ini dapat meningkatkan rasio elektrifikasi hingga 100%

Kata Kunci: *Off-grid, HomerPro, Panel Surya, Turbin Angin, Biogas.*

ABSTRACT

One of the lowest electrification ratios in Indonesia is in Pacitan Regency, East Java province, especially in the Tulakan sub-district. In contrast, the potency of renewable energy is plentiful and could be useful for the region nearby. Tulakan sub-district has a high potential for solar energy, wind energy, and biogas that can be developed for the residents to increase their electricity based on their needs. This research aims to simulate renewable energies (solar, wind, and biogas) available in Tulakan to gain the best configuration. Using HomerPro software, a suitable and feasible off-grid configuration combination can be created based on

the available renewable energy resources. Based on the simulation that had been done, the result shows one best configuration that combined Photovoltaic, Wind Turbine, and Biogas. This configuration produces electricity up to 11.590 kWh/year, the highest contributor in producing energy from Wind Turbines at 65,9%, followed by Photovoltaic with a total of 25% and biogas with a total of 9,1%. This configuration still produces CO₂ emissions from the biogas generator with a total of 1.324 kg/year and the number of initial investments for this configuration reached Rp 2.317.119.450. Furthermore, implementing this configuration could increase the electrification ratio to 100%.

Keywords: *Off-grid, HomerPro, Photovoltaics, Wind Turbines, Biogas*

1. PENDAHULUAN

Peranan utama listrik merupakan salah satu penggerak utama pembangunan nasional Indonesia dengan memastikan pemenuhan pasokan listrik yang terus menerus bertumbuh, harmonisasi antara perkotaan dan area terpencil yang lebih baik serta meningkatkan pendapatan negara. Energi listrik di Indonesia mengalami peningkatan tiap tahunnya dengan penjualan tenaga listrik hingga 245.518,2 GWh pada tahun 2019 yang terbagi menjadi empat sektor diantaranya industri, rumah tangga, komersial atau usaha, dan publik atau umum. Di Indonesia, jumlah pelanggan pun memiliki peningkatan sekitar empat juta dari tahun 2018 ke 2019 sehingga didapatkan konsumsi listrik per kapita sebesar 1,08 GWh [1]. Pemanfaatan Energi Baru Terbarukan (EBT) menjawab permasalahan energi di masa yang akan datang. EBT adalah energi yang ramah lingkungan dan memiliki cadangan yang tidak akan habis sebagai contoh energi surya, energi angin, dan yang lainnya dengan ketersediaan yang melimpah di Indonesia [2].

Provinsi Jawa Timur terdapat 38 kabupaten atau kota yang memiliki rasio elektrifikasi mencapai 98,8% pada tahun 2020. Dari 38 kabupaten atau kota tersebut, terdapat 17 kabupaten yang masih belum mencapai rasio elektrifikasi 100%, diantaranya Kabupaten Pacitan yang merupakan daerah 3T (terdepan, terluar, dan tertinggal) [3]. Sedangkan kabupaten tersebut memiliki potensi EBT yang besar untuk kebutuhan listrik setempat seperti energi surya, air, angin, dan biogas. Saat ini elektrifikasi Kabupaten Pacitan dialiri melalui PLTU Sudimoro Pacitan dengan kapasitas 630 MW yang memasok untuk kebutuhan listrik Jawa-Bali. Pada tahun 2019, suhu rata-rata Kabupaten Pacitan sekitar 28°C dengan kecepatan rata-rata sebesar 38 m/detik. Kemudian, penyinaran surya selama 12 bulan didapatkan persentase rata-rata sebesar 67,45% yang artinya Kabupaten Pacitan bercuaca cerah setiap harinya karena melebihi 50% [4].

Berdasarkan data, didapatkan bahwa terdapat 72% rumah tangga di Kabupaten Pacitan sudah terlayani listrik dan 28% sisanya belum terlayani listrik sehingga rasio elektrifikasi yang ada di Kabupaten Pacitan belum memenuhi kebutuhan listrik hingga 24 jam. Setelah itu, jumlah desa yang belum terelektifikasi dengan baik sekitar 117 desa, dan terdapat satu kecamatan yang memiliki jumlah rumah tangga belum terlayani listrik terbesar diantara yang lain, yaitu Kecamatan Tulakan [5]. Tujuan dari penelitian ini berupa: 1) Mengidentifikasi potensi sumber daya EBT menggunakan energi surya, angin, dan biogas untuk meningkatkan rasio elektrifikasi di Kecamatan Tulakan; 2) Menyusun suatu model simulasi untuk menentukan daya, energi, dan analisis kelayakan ekonomi untuk menentukan konfigurasi EBT terbaik berdasar potensi sumber daya EBT berupa energi surya, angin dan biogas yang tersedia di Kecamatan Tulakan; 3) Menentukan rencana lokasi penerapan EBT dan rencana anggaran biaya yang diperlukan untuk pengembangan EBT di Kecamatan Tulakan. Penelitian ini menggunakan metode simulasi dengan *software Homer Pro* untuk menentukan daya, energi, dan analisis kelayakan ekonomi dalam pengembangan pembangkit listrik berbasis EBT, dan EBT yang digunakan pada penelitian ini menggunakan sistem Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid* dengan tipe *Off-grid* yang terdiri dari energi surya, angin, dan biogas yang berbahan bakar kotoran ternak.

Dalam penerapan Energi Baru Terbarukan (EBT) di Kabupaten Pacitan diperlukan studi analisis potensi energi yang wajib dilakukan. Penelitian sebelumnya dilakukan menggunakan *HomerPro* dan DER dan mendapatkan hasil *HomerPro* berupa kesimpulan biaya, produksi listrik atau emisi, dan biaya PV – Wind – Diesel layak dengan NPC (*Net Present Cost*) sebesar \$3.159 [6]. Dilanjutkan dengan penelitian yang berjudul *Techno-economic Analysis of PV/Wind Hybrid System for Onshore/Remote Area in Indonesia*. Penelitian ini mendapatkan hasil simulasi yang dilakukan memiliki potensi yang memadai menggunakan tenaga surya dan angin tetapi tenaga angin memiliki energi yang rendah untuk menghasilkan listrik [7].

Sebuah penelitian mendapatkan hasil berupa optimasi sistem yang diperlukan adalah kapasitas 326 kWh per hari, turbin angin 4 x 10 kW, dan panel surya 484 x 100 Wp dengan biaya modal sebesar \$217.842 dengan menggunakan *HomerPro* sebagai metode analisisnya [8]. Dilanjutkan oleh penelitian mengenai optimisasi energi baru terbarukan tenaga hybrid menggunakan *Homer Pro*, dan didapatkan hasil *Software Homer Pro* menunjukkan bahwa PV, Generator Diesel, dan inverter memenuhi solusi paling ekonomis dengan memperhatikan lingkungan sekitar [9]. Penelitian selanjutnya mendapatkan hasil penjadwalan sangat berpengaruh pada pengurangan biaya operasi pada sistem tenaga surya dan angin. Metode RCGA dapat mengoptimalkan hal tersebut dengan menggantungkan biaya harian dengan menggunakan RCGA dan Microsoft Excel sebagai metode analisisnya [10].

Sebuah penelitian mengenai evaluasi kemandirian dari *PV-Wind System* sebagai pemenuhan energi sebuah rumah dan mendapatkan hasil berupa pemenuhan kebutuhan energi diperlukan dalam penambahan tenaga surya dan angin sekitar 22,84% (5.074,44 kWh) untuk sistem hibrida dengan peningkatan mencapai 81,83% [11]. Dilanjutkan oleh penelitian menggunakan *HomerPro* yang mendapatkan hasil skenario PLTD 200 kW dan PLTS 678 kWp merupakan solusi yang optimal dengan menghasilkan produksi listrik sebesar 2.253.538 kWh dan memerlukan NPC sebesar \$3.981.811 [12]. Penelitian lain juga mendapatkan hasil simulasi menggunakan HOMER diperoleh model sistem pembangkit listrik hybrid berupa PV-Wind-Diesel. Implementasi infrastruktur sistem tersebut dapat memenuhi kebutuhan listrik setempat [13].

Pada tahun 2019, dilakukan penelitian menggunakan metode analisis Tekno-ekonomi dan *HomerPro* yang mendapatkan hasil berupa solusi optimal menerapkan sistem hybrid surya-diesel yang dapat menurunkan biaya energi menjadi \$0,3556 per kWh. Instalasi tenaga surya diperkirakan 1,7 tahun [14]. Dilanjutkan oleh penelitian yang juga menggunakan *HomerPro*, didapatkan hasil Emisi CO₂ berkurang hingga 99% dibanding menggunakan batubara dan dapat menghemat hingga \$8444 dengan kapasitas hingga 428,835 kWh yang 99,5% memerlukan listrik [15]. Ditahun ini juga dilakukan penelitian lain yang mendapatkan hasil pengontrol charging station telah dipastikan optimal untuk mencapai efisiensi bahan bakar maksimum, kemudian IEEE memenuhi pengoperasian stasiun pengisian yang telah diverifikasi oleh tes [16].

A. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan sistem pembangkit listrik yang energinya bersumber dari radiasi surya, melalui konversi sel *photovoltaic* dengan mengubah radiasi surya menjadi energi listrik. Semakin tinggi intensitas radiasi yang mengenai sel *photovoltaic*, semakin tinggi daya listrik yang dihasilkan. Listrik digunakan di sepanjang hari, maka kelebihan daya listrik yang dihasilkan akan disimpan dalam baterai sehingga dapat digunakan kapanpun [17]. Sistem PLTS memiliki beberapa komponen penting agar dapat dioperasikan dengan maksimal. Komponen-komponen tersebut diantaranya [18]: 1) Panel Surya; 2) *Inverter*; 3) Baterai; 4) Jaringan Distribusi; dan 5) Panel Distribusi.

PLTS terbagi menjadi tiga jenis yang sering ditemukan antara lain adalah PLTS *off-grid*, PLTS *on-grid*, dan PLTS *Hybrid* yang dibedakan berdasarkan karakteristik penyimpan daya. PLTS pun dibedakan berdasarkan ada atau tidaknya jaringan distribusi untuk menyalurkan daya listrik meliputi PLTS terpusat dan tersebar atau terdistribusi [18]. Masing-masing hal tersebut dapat dijabarkan dalam hal deskripsi, baterai, manfaat, dan penggunaan PLTS terpusat atau PLTS tersebar atau terdistribusi yang dapat dilihat pada Tabel 1 dibawah ini.

Tabel 1. Jenis-jenis PLTS

	PLTS <i>off-grid</i>	PLTS <i>on-grid</i>	PLTS <i>hybrid</i>
Deskripsi	Sistem PLTS yang output daya listriknya secara mandiri menyuplai listrik ke jaringan distribusi pelanggan atau tidak terhubung dengan jaringan listrik PLN.	Dapat beroperasi tanpa baterai, karena output listriknya disalurkan ke jaringan distribusi yang telah disuplai pembangkit lainnya (misalnya Jaringan PLN).	Gabungan dari sistem PLTS dengan pembangkit lainnya (mis. PLTD, PLTB).
Baterai	Ya, supaya bisa memberikan suplai listrik sesuai kebutuhan beban.	Bisa <i>off-grid</i> (pakai baterai) atau <i>on-grid</i> (tanpa baterai).	Tidak.
Manfaat	Untuk menjangkau daerah yang belum ada jaringan listrik PLN.	Untuk berbagi beban atau mengurangi beban pembangkit lain yang terhubung pada jaringan yang sama.	Memaksimalkan penyediaan energi dari berbagai potensi sumber daya daerah.
PLTS terpusat	PLTS yang memiliki sistem jaringan distribusi untuk menyalurkan daya listrik ke beberapa rumah pelanggan. Keuntungan dari PLTS terpusat adalah penyaluran daya listrik dapat disesuaikan dengan kebutuhan beban yang berbeda-beda disetiap rumah pelanggan.		
PLTS terdistribusi	PLTS yang tidak memiliki sistem jaringan distribusi, sehingga setiap rumah pelanggan memiliki sistem PLTS tersendiri.		
	Contoh PLTS <i>off-grid</i> tersebar: <i>Solar Home System</i> (SHS)	Contoh PLTS <i>on-grid</i> tersebar: <i>Solar PV Rooftop</i>	-

Sumber: [19]

Pada penelitian ini yang memfokuskan peningkatan rasio elektrifikasi di daerah 3T, dapat menggunakan jenis *hybrid* dan *off grid* karena berdasarkan deskripsi dan manfaat sangat sesuai untuk memaksimalkan penggunaan EBT dalam penyediaan energi dan rasio elektrifikasi sehingga mengurangi biaya beban listrik per-tahunnya di wilayah tersebut. Selain itu, PLTS *off grid* dapat di instalasi dalam skala kecil (<1 kW peak) [20].

B. Pembangkit Listrik Tenaga Angin / Bayu (PLTB)

PLTB pada dasarnya sistem turbin angin yang menangkap energi kinetik angin dan mengubah energi mekanik (gerakan turbin) menjadi energi listrik melalui generator. Performanya dapat dilihat dari kondisi cuaca, instalasi aktual, dan pemodelan kincir turbin [21]. Turbin angin dapat dikelompokkan menurut konfigurasi generator turbin, kapasitas turbin, suplai daya, aliran udara ke rotor, dan lokasi sehingga dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis sumbu diantaranya: 1) Sumbu Vertikal; dan 2) Sumbu Horizontal.

Berdasarkan Rencana Umum Energi Nasional (RUEN), energi angin merupakan salah satu sumber energi yang akan diprioritaskan dalam pemenuhan konsumsi energi nasional. Secara mekanisme, cara kerja Pembangkit Listrik Tenaga Angin / Bayu (PLTB) memiliki prinsip yang mirip dengan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), dimana perbedaannya terletak pada energi kinetik yang dimanfaatkan untuk memutar turbin PLTB adalah energi kinetik yang berasal dari aliran angin. Karakteristik angin yang dapat dimanfaatkan pada PLTB adalah angin yang mengalir secara laminar (secara teratur) dengan kecepatan antara 4m/s sebagai kecepatan minimum agar dapat memutar turbin dengan kapasitas pembangkitan listrik yang kecil hingga 25 m/s sebagai kecepatan maksimum yang tidak mengganggu kekuatan struktur turbin angin. Hal tersebut juga menyebabkan banyak turbin angin dibangun di daerah dengan lahan yang luas, tanpa ada bangunan dan benda lainnya yang dapat mengganggu aliran angin [22].

C. Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa Berbasis Biogas (PLTBio)

Pembangkit listrik tenaga biogas termasuk dalam teknologi biogas yang merupakan gas yang dihasilkan oleh bakteri apabila bahan organik mengalami proses fermentasi dalam reaktor dengan kondisi anaerob yang dapat dimanfaatkan untuk sumber EBT karena dari kandungan metana dan nilai kalor yang tinggi [23]. Biogas dalam jumlah yang cukup besar dapat dibakar untuk menghasilkan energi listrik melalui tiga tahapan diantaranya adalah Hidrolisis, Asidifikasi, dan Pembentukan Gas Metana (Methanogenesis) [24]. Salah satu hal yang dapat mempengaruhi produksi gas Metana di dalam biogas yaitu hubungan antara jumlah Karbon (C) dan Nitrogen (N) yang terdapat pada bahan organik yang diterminologikan rasio C/N. Rasio C/N yang dinyatakan baik pada sebuah substrat adalah berada di antara 25 – 30 [25]. Daerah penelitian ini memiliki banyak ternak khususnya sapi dan kambing yang dapat dimanfaatkan untuk dijadikan biogas.

D. Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (PLTH)

PLTH adalah pembangkit listrik yang terdiri dari lebih dari satu macam pembangkit untuk memadukan beberapa sumber EBT dengan atau tanpa sumber energi yang tidak dapat diperbaharui [26]. Pada umumnya, sistem *hybrid* bertujuan untuk menggabungkan dua atau lebih sumber energi (sistem pembangkit) sehingga saling menutupi kelemahan masing-masing untuk mencapai keandalan suplai dan efisiensi ekonomi pada beban tertentu. Sistem PLTH merupakan salah satu alternatif yang tepat untuk diaplikasikan pada daerah-daerah yang sulit dijangkau jaringan listrik skala besar dan memerlukan biaya tinggi serta biaya transportasi bahan bakar yang tinggi [27].

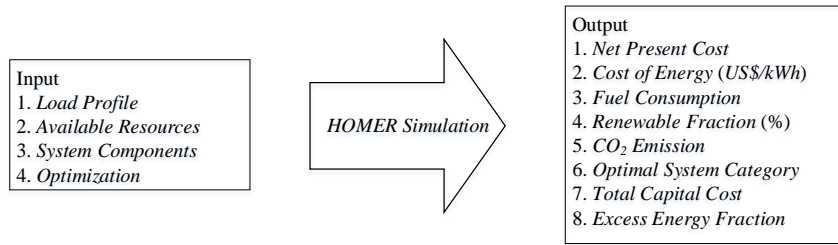
Pemanfaatan EBT dapat dikombinasikan dengan generator atau baterai untuk penambahan energi sehingga meningkatkan rasio elektrifikasi. Ukuran sistem pembangkit dapat divariasikan dengan menyesuaikan beban yang terpasang dan dibangun untuk mensuplai satu atau beberapa rumah hingga satu daerah terpencil yang tentunya biaya pembangunan berbanding lurus dengan besar energi listrik yang dihasilkan.

E. *Software HomerPro Energy*

HomerPro merupakan singkatan dari *Hybrid Optimization Model of Electric Renewables* yang berfungsi sebagai alat untuk membuat desain sistem dari EBT. *Software* ini dapat melakukan simulasi dan mengoptimalkan sistem pembangkit listrik yang baik berdiri sendiri ataupun terkoneksi dengan kombinasi EBT seperti PLTS, PLTB, PLTMH, dan PLT Bio yang digabungkan dengan generator (diesel/bensin) dengan melayani beban listrik [28].

HomerPro mensimulasikan sistem operasi untuk penyediaan perhitungan energi keseimbangan setiap 8760 jam dalam setahun. Ketika sistem menggunakan baterai dan generator, *software* ini pun dapat memutuskan untuk setiap jam pada operasi tertentu dan penggunaan baterai terisi atau kosong. Setelah itu, *HomerPro* menentukan konfigurasi terbaik sistem yang akan memperkirakan biaya instalasi dan operasi sistem selama masa pengoperasian (*lifetime cost*) seperti biaya awal, komponen, bahan bakar, dan operasional.

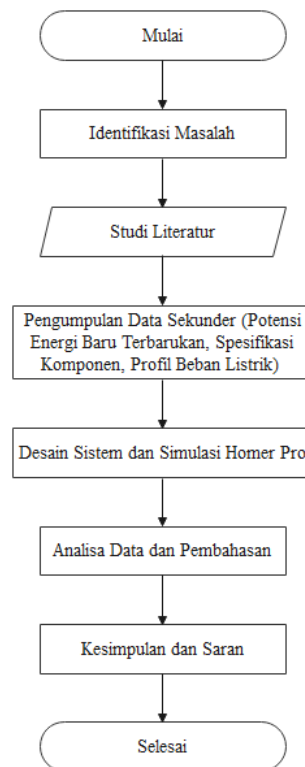
Gambar 1 menunjukkan arsitektur *HomerPro* untuk kegiatan input, simulasi, dan output. Awal dari *software* ini diperlukan data beban listrik, sumber daya, komponen sistem, dan optimisasi yang akan dilakukan, kemudian disimulasikan oleh *HomerPro* untuk menghasilkan output berupa NPC, biaya energi, emisi, kategori sistem optimal, konsumsi bahan bakar, total biaya yang diperlukan, fraksi energi, dan fraksi kelebihan energi.



Gambar 1. Simulasi dan Optimasi *Homer Pro*
Sumber: [29]

1. METODOLOGI PENELITIAN

Pada bagian ini, penulis terlebih dahulu melakukan pembuatan proposal penelitian, mengumpulkan data sekunder. Data sekunder merupakan data-data yang diperlukan yang dapat menunjang penelitian ini, dimana data tersebut merupakan studi literatur terkait perhitungan kapasitas panel surya, kapasitas turbin angin, intensitas cahaya, kecepatan angin, dan data konsumsi listrik satu tahun terakhir. Tahapan penelitian pada studi ini adalah sebagai berikut: 1) Identifikasi Masalah; 2) Studi Literatur; 3) Pengumpulan Data; 4) Desain Sistem dan Simulasi *Homer Pro*; 5) Analisa Data dan Pembahasan; dan 6) Kesimpulan dan Saran. Alur dari penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2 dibawah ini:



Gambar 2. Alur Penelitian

A. Bahan Penelitian

Data-data yang digunakan berupa data sekunder yang meliputi data beban listrik, sumber daya yang tersedia, komponen sistem, intensitas cahaya surya dan kecepatan angin setempat. Data-data tersebut dikumpulkan secara kolektif dari instansi pemerintah dan daerah Pacitan yang memiliki korelasi untuk peneliti. Data sekunder yang dikumpulkan berupa: Data Biogas yang diperoleh dari Bappeda Pacitan, tenaga surya dari Meteonorm, kecepatan angin dari Bappeda Pacitan, potensi surya, angin dari Geoportal ESDM dan data beban listrik dari PT. PLN (Perusahaan Listrik Negara). Kondisi eksisting Kecamatan Tulakan dapat dilihat pada Tabel 2 dibawah ini:

Tabel 2. Kondisi Eksisting Kecamatan Tulakan

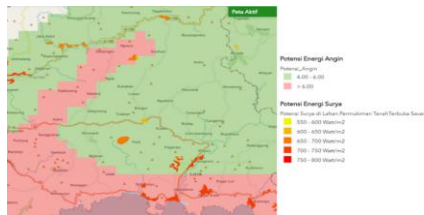
Kondisi	Jumlah Rumah Tangga	Beban Listrik (kWh/tahun)
Sudah Teraliri Listrik	19003	4698
Belum Teraliri Listrik	10379	2565,94
Total	29382	7263,94

2. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil informasi yang diperoleh dari Bappeda Pacitan, kondisi kelistrikan Kabupaten Pacitan masih ada sekitar 28% atau sekitar 58.000 rumah tangga yang belum terlayani listrik. Energi listrik yang dialirkan melalui PLTU Pacitan masih belum mencapai rasio elektrifikasi hingga 100%. Dari hasil perhitungan yang dilakukan, total beban listrik yang diperoleh sebesar 4.698 kWh berdasarkan data dari PLN Pacitan sehingga dilihat karakteristik beban listrik di Kecamatan Tulakan, Kabupaten Pacitan setiap tahunnya untuk menggunakan pendekatan di Kecamatan tersebut sebelum dan sesudah memiliki akses listrik. Kabupaten Pacitan sendiri memiliki berbagai macam potensi EBT diantaranya akan dijelaskan dibawah ini.

A. Potensi Energi Baru Terbarukan (EBT)

Penelitian ini akan dikembangkan di daerah Kecamatan Tulakan karena memiliki jumlah rumah tangga yang belum terlayani listrik terbesar diantara kecamatan lain di Pacitan, berdasarkan data yang didapatkan dari Bappeda Pacitan. daerah Tulakan memiliki potensi energi angin dan surya. Energi surya bisa ditempatkan pada warna oranye tua yang memiliki daya hingga $650 - 700 \text{ Watt/m}^2$ dan energi angin memiliki dua warna yaitu hijau ($4,00 - 6,00$) dan merah ($> 6,00$). Selanjutnya, energi surya di Indonesia memiliki potensi untuk dikembangkan karena terletak di daerah garis khatulistiwa. Energi surya yang dimiliki Indonesia sebesar $4,8 \text{ kWh/m}^2/\text{hari}$ atau setara dengan 112.000 GWp [30]. Berdasarkan Geoportal ESDM, Kecamatan Tulakan, Kabupaten Pacitan memiliki potensi energi surya sebesar $5,15 \text{ kWh/m}^2/\text{hari}$ sehingga dapat dikonversikan sekitar 120.000 GWp.

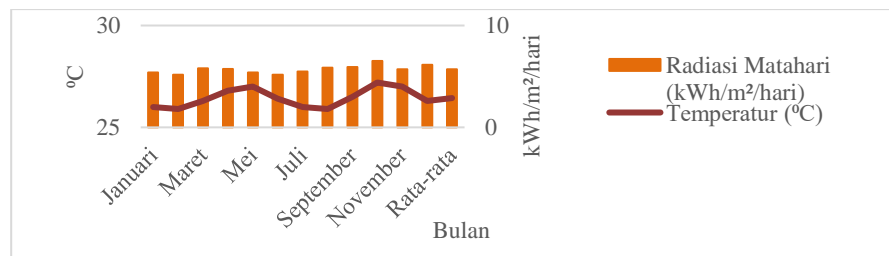


Gambar 3. Potensi Energi Angin dan Surya di Kecamatan Tulakan
Sumber: [30]

Kemudian, potensi energi biogas di Kabupaten Pacitan sangat berlimpah dan dapat dimanfaatkan. Masyarakat di Kabupaten Pacitan umumnya bekerja sebagai peternak dimana limbah dari ternak-ternaknya belum dapat dimanfaatkan dengan baik sehingga limbah tersebut dapat dipakai untuk menghasilkan energi listrik. Rata-rata mereka berternak sapi dan kambing. Total keseluruhan potensi yang dapat dimanfaatkan sebesar 155.624 Ton limbah dari hasil ternak dimana potensi dari ternak sapi sebesar 45.829 Ton dan ternak kambing sebesar 110.795 Ton. Untuk kecamatan Tulakan sendiri memiliki potensi Biogas yang cukup tinggi sebesar 11.581 Ton yang dapat dimanfaatkan untuk menjadi bahan bakar pembangkit listrik tenaga Biogas.

B. Ketersediaan Energi Surya

Berdasarkan pengambilan data penulis melalui *software HomerPro* dan *Meteonorm* didapatkan bahwa rata-rata radiasi surya sebesar $5,69 \text{ kWh/m}^2/\text{hari}$ dengan rata-rata temperatur sebesar $26,4^\circ\text{C}$ dimana nilai maksimal yang didapatkan pada bulan Oktober sebesar $6,53 \text{ kWh/m}^2/\text{hari}$ dengan temperature sekitar $27,2^\circ\text{C}$. Data radiasi surya dan temperature cuaca berdasarkan Meteonorm dapat dilihat pada Gambar 4 dibawah ini:



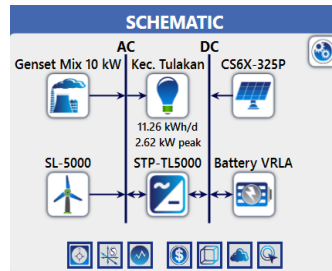
Gambar 4. Radiasi Surya dan Temperatur Cuaca Kecamatan Tulakan

C. Ketersediaan Energi Angin

Wilayah Kecamatan Tulakan memiliki kecepatan angin yang sangat memadai untuk mengembangkan EBT berbasis angin dengan kecepatan antara 3,55 m/detik hingga 5,75 m/detik berdasarkan data yang diperoleh dari Bappeda Pacitan. Rata-rata kecepatan angin yang tersedia di Kecamatan Tulakan adalah sebesar 4,43m/s. Bulan Januari merupakan rata-rata kecepatan angin tertinggi sedangkan pada bulan April hingga Juni merupakan yang terendah. Tetapi yang terendah pun mencapai 3,55 m/detik sehingga kecepatan angin di Kecamatan Tulakan, Kabupaten Pacitan dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik. Berdasarkan spesifikasi dari *Wind Turbine* yang akan digunakan didalam *HomerPro* (SL-5000), dimana *cut-in speed* minimal adalah 3 m/s dan *cut-out speed* maksimal sebesar 25m/s. Maka dapat disimpulkan bahwa kecepatan angin yang tersedia di Kecamatan Tulakan dapat dibangun *wind turbine* karena memenuhi spesifikasi minimal yang dibutuhkan oleh turbin angin tersebut.

D. *HomerPro*

Penelitian ini menggunakan skema *off-grid* karena daerah yang diteliti belum terjangkau oleh jaringan local atau jaringan PLN. Biasanya, skema ini menggunakan baterai dan generator berbahan bakar diesel untuk memenuhi kebutuhan energi maupun kekurangan atau kelebihan energi yang dihasilkan. Di sisi lain, baterai dapat digunakan untuk menyimpan kelebihan energi yang dihasilkan oleh Energi Baru Terbarukan (EBT). Pada Gambar 5 di bawah ini, dapat dilihat skema dari sistem *off-grid*:



Gambar 5. Skema *HomerPro Off-Grid*

Sebelum memulai simulasi menggunakan *software Homer Pro*, penulis terlebih dahulu memasukkan data-data beban listrik, data EBT berupa radiasi surya dan temperatur, kecepatan angin juga data teknis dan ekonomi. Komponen-komponen yang digunakan pada skema diatas menggunakan komponen yang sudah tersedia dan dijual di Indonesia, terutama di Pulau Jawa. Berikut daftar komponen yang digunakan, dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Spesifikasi dan Biaya Komponen











Komponen	Type	Kapasitas	Capital Cost/ kW(Rp)	Replacement Cost/ kW (Rp)	O&M Cost (Rp)	Life Time	Shipment (Rp)
Wind Turbine (Sinovel Indonesia, Bekasi)	SL-5000	5 kW	50.000.000	50.000.000	5.000.000	20 year	4.200.000
Photovoltaic (PT Canadian Solar Indonesia, Tangerang)	Canadian Solar MaxPower CS6X-325P	325 Watt	8.195.000	8.195.000	163.900	25 year	2.800.000
Battery (Voz Indonesia, Bekasi)	VR Lead Acid	200 Ah	4.600.000	4.600.000	460.000	5 years	2.800.000
Biogas (Genset Kencana Indonesia, Kabupaten Bandung)	Genset Mix Biogas Solar 10 kVa (Silent Type)	10 kW	77.950.000	77.950.000	7.795.000	20.000 hours	2.400.000
Inverter (TML Energy Indonesia, Tangerang Selatan)	Sunny Tripower TL5000	5kW	30.000.000	30.000.000	3.000.000	15 year	2.000.000

Kemudian, data ekonomi yang digunakan pada simulasi *HomerPro* dapat dilihat pada Tabel 4 dibawah ini:

Tabel 0. Data Ekonomi Indonesia

<i>Discount Rate (%)</i> [32]	4
<i>Expected Inflation Rate (%)</i> [33]	4,21
<i>Project Lifetime (years)</i> [34]	20

Setelah data-data tersebut dimasukkan, dilakukan proses simulasi oleh *HomerPro* untuk menentukan jumlah komponen EBT yang dibutuhkan serta perhitungan ekonominya. Berdasarkan simulasi, terdapat banyak alternatif didalamnya terdiri dari beberapa variabel berupa: Ukuran *Photovoltaic*, jumlah *Wind Turbine*, ukuran generator, jumlah baterai, ukuran converter, dan *Dispatch Strategy* LF (*Load Following*) atau CC (*Cycle Charging*). Pada penelitian ini, digunakan strategi *Cycle Charging*, dimana generator beroperasi pada kapasitas penuh pada saat dibutuhkan untuk memenuhi beban bersih. Kelebihan daya yang dihasilkan oleh generator akan digunakan kemudian untuk mengisi baterai [35]. Terdapat satu alternatif konfigurasi yang sangat sesuai dengan kebutuhan Bappeda Pacitan dan daerah yang diteliti. Gambar 6 berikut menunjukkan konfigurasi terbaik yang dihasilkan oleh *HomerPro*.

Architecture						Cost			
									
CS6X-325P (kW)	SL-5000	Genset Mix 10 kW (kW)	Battery VRLA	STP-TL5000 (kW)	Dispatch	NPC (Rp)	COE (Rp)	Operating cost (Rp/yr)	Initial capital (Rp)
1.71	1	10.0	6	0.955	CC	Rp346M	Rp4,126	Rp8.41M	Rp175M

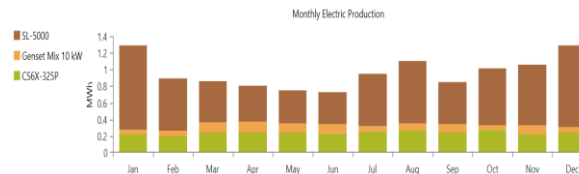
Gambar 6. Konfigurasi Terbaik

Berdasarkan konfigurasi yang dapat dilihat pada Gambar 6 diatas, Konfigurasi tersebut merupakan konfigurasi terbaik yang telah disimulasikan oleh *HomerPro* dengan menggunakan kombinasi ketiga jenis EBT yang tersedia di Kecamatan Tulakan, yaitu *Photovoltaic*, *Wind Turbine*, dan Biogas. Pada Konfigurasi ini, puncak daya maksimal yang dihasilkan oleh *Photovoltaic* adalah sebesar 1,56 kW, dengan rata-rata daya yang dihasilkan yaitu 0,331 kW dalam satu tahun, dan rata-rata daya atau *output* 7,94 kW per harinya.

Selanjutnya, adalah *Wind Turbine*. *Wind Turbine* ini dapat menghasilkan daya puncak sebesar 6,32 kW dengan waktu operasional selama 7.257 jam per tahunnya dan rata-rata daya yang dapat dihasilkan sebesar 0,87 kW. Konfigurasi ini hanya menggunakan 1 unit *Wind Turbine*, dan dapat menghasilkan *output* selama setahun sebesar 7.633 kWh.

Terakhir, generator berbahan bakar Biogas dapat menghasilkan 1.061 kWh per tahunnya dan dioperasikan selama 424 jam dalam 1 tahun. Generator ini membutuhkan bahan bakar sejumlah 507 kg per tahunnya dan secara spesifik membutuhkan 0,478 kg per kWh yang dihasilkan. Bahan bakar dari generator ini menggunakan kotoran dari ternak dan dapat menghasilkan daya *output* maksimal (tertinggi) sebesar 2,98 kW dan daya *output* minimal sebesar 2,5 kW. Generator ini dapat dioperasikan untuk menutupi kelemahan dari *Photovoltaic* dan *Wind Turbine*.

Secara keseluruhan pada Konfigurasi ini menggunakan *Photovoltaic*, *Wind Turbine*, dan Biogas sebagai pembangkit listrik berbasis EBT *hybrid* yang dapat memproduksi energi surya sebesar 2.897 kWh (25%), energi angin sebesar 7.633 kWh (65,9%), dan generator berbahan bakar biogas sebesar 1.061 kWh (9,1%) atau dengan total keseluruhan sebesar 11.590 kWh per tahunnya. Berdasarkan persentase energi yang dihasilkan, *Wind Turbine* memiliki peran yang paling besar diantara *Photovoltaic* dan Biogas. Besarnya tenaga listrik yang dihasilkan oleh konfigurasi ini dapat dilihat pada Gambar 7 dibawah ini.



Gambar 7. Produksi Tenaga Listrik dalam 1 Tahun

E. Penempatan Area Pengembangan EBT

Setelah dilakukan simulasi oleh *HomerPro*, Langkah selanjutnya yang dapat dilakukan adalah menentukan posisi penempatan area pengembangan konfigurasi EBT yang telah ditentukan. Penentuan penempatan sudah dikoordinasikan dengan Bappeda Pacitan. Kemudian, hal lain yang menjadi pertimbangan dalam menentukan lokasi adalah sebagai berikut: 1) Berdasarkan hasil diskusi dan persetujuan Bappeda Pacitan dan Kecamatan Tulakan; 2) Potensi energi surya yang terdapat di area tersebut dapat mencapai 4,09 kWh/m²; 3) Area pengembangan EBT ini juga memiliki potensi energi angin dengan kecepatan 4,88m/s yang dimana nilai tersebut memenuhi kriteria *cut-in* dari turbin angin yang digunakan; dan 5) Luas tanah yang cukup besar.

F. Prakiraan Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Setelah sudah mendapatkan penempatan pembangunan EBT, perlu ditinjau aspek ekonominya dengan menentukan biaya langsung personil dan biaya langsung non-personil agar pemerintah dapat mempertimbangkan hasil penelitian ini untuk dilanjutkan ke tahap realisasi. Berikut adalah Tabel 5 dan 6 yang menunjukkan RAB untuk pembangunan EBT, dan harga satuan ditentukan berdasarkan Inkindo [36].

Tabel 5. Rencana Anggaran Biaya Langsung Personil

NO.	URAIAN	KUANTITAS X WAKTU					HARGA SATUAN (Rp.)	HARGA TOTAL (Rp.)
A. BIAYA LANGSUNG PERSONIL								
I. MANAJEMEN								
1.	Project Director (5 Tahun Pengalaman)	1	x	3	=	3	91,100,000	273,300,000
2.	Project Manager (5 Tahun Pengalaman)	1	x	3	=	3	63,600,000	190,800,000
Sub-Total 1. Manajemen							464,100,000	
II. TENAGA AHLI								
1.	Team Leader Ahli (10 Tahun Pengalaman)	1	x	3	=	3	38,400,000	115,200,000
2.	Ahli Sipil (5 Tahun Pengalaman)	1	x	3	=	3	30,700,000	92,100,000
3.	Ahli Elektrikal (5 Tahun Pengalaman)	1	x	3	=	3	30,700,000	92,100,000
4.	Ahli Mekanikal (5 Tahun Pengalaman)	1	x	3	=	3	30,700,000	92,100,000
5.	Asisten Ahli Sipil	1	x	3	=	3	14,650,000	43,950,000
6.	Asisten Ahli Elektrikal	1	x	3	=	3	14,650,000	43,950,000
7.	Asisten Ahli Mekanikal	1	x	3	=	3	14,650,000	43,950,000
Sub-Total II. Tenaga Ahli							523,350,000	

Tabel 5. Rencana Anggaran Biaya Langsung Personil (Lanjutan)

NO.	URAIAN	KUANTITAS X WAKTU					HARGA SATUAN (Rp.)	HARGA TOTAL (Rp.)
III. TENAGA TEKNIS								
1.	Team Leader Teknis (10 Tahun Pengalaman)	1	x	3	=	3	38,400,000	115,200,000
2.	Teknisi Struktur-1	1	x	3	=	3	12,250,000	36,750,000
3.	Teknisi Struktur-2	1	x	3	=	3	12,250,000	36,750,000
5.	Teknisi Mekanik-1	1	x	3	=	3	12,250,000	36,750,000
6.	Teknisi Mekanik-2	1	x	3	=	3	12,250,000	36,750,000
7.	Teknisi Elektrikal-1	1	x	3	=	3	12,250,000	36,750,000
8.	Teknisi Elektrikal-2	1	x	3	=	3	12,250,000	36,750,000
Sub-Total III. Tenaga Teknis								335,700,000
IV. STAF PENDUKUNG								
1.	Surveyor-1	1	x	3	=	3	11,550,000	34,650,000
2.	Surveyor-2	1	x	3	=	3	11,550,000	34,650,000
6.	Operator Computer-1	1	x	3	=	3	7,000,000	21,000,000
7.	Operator Computer-2	1	x	3	=	3	7,000,000	21,000,000
8.	Administrator	1	x	3	=	3	7,000,000	21,000,000
9.	Office Boy/Messenger	1	x	3	=	3	4,900,000	14,700,000
10.	Driver	4	x	3	=	12	5,500,000	66,000,000
Sub-Total IV. Staf Pendukung								213,000,000
Sub Total A BIAYA LANGSUNG PERSONIL								1,536,150,000

Berdasarkan perhitungan Tabel 5, total biaya langsung personil didapatkan sekitar Rp 1.536.150.000 dimana terbagi menjadi empat bagian utama diantaranya Manajemen, Tenaga Ahli, Tenaga Teknis, dan Staf Pendukung untuk keperluan operasional.

Tabel 6. Rencana Anggaran Biaya Non Personil

NO.	URAIAN	KUANTITAS X WAKTU				HARGA SATUAN (Rp.)	HARGA TOTAL (Rp.)
-----	--------	----------------------	--	--	--	-----------------------	----------------------

B. BIAYA LANGSUNG NON PERSONIL

I.	SURVEYS & DATA COLLECTION								
	1.	Site Visit Location	1	x	3	=	3	30,000,000	90,000,000
	2.	Data Collection	1	x	1	=	1	15,000,000	15,000,000
	3.	Struktur Test	1	x	3	=	3	10,000,000	30,000,000
	4.	Elektrikal Test	1	x	3	=	3	10,000,000	30,000,000
	5.	Mekanikal Test	1	x	3	=	3	10,000,000	30,000,000
Sub-Total I. Surveys & Data Collection								195,000,000	
II.	RENTAL & OPERATIONS								
	1.	Office Space Rent	1	x	3	=	3	15,000,000	45,000,000
	2.	Laptop Rent	15	x	3	=	45	500,000	22,500,000
	3.	Printer Rent	1	x	3	=	3	700,000	2,100,000
	4.	Car Rent (Incl OM)	4	x	3	=	12	5,200,000	62,400,000
Sub-Total II. Rental & Operations								132,000,000	
III.	PENGURUSAN IZIN								
	1.	Izin Pengelolaan Lingkungan dan Upaya Pemantauan	1	x	1	=	1	25,000,000	25,000,000
	2.	Izin Lokasi	1	x	1	=	1	-	-
	3.	Izin Usaha Penyediaan Tenaga Listrik	1	x	1	=	1	-	-
	4.	Izin Mendirikan Bangunan (1500 m2)	1500	x	1	=	1500	2,500	3,750,000
	5.	Akomodasi	4	x	3	=	12	700,000	8,400,000
Sub-Total III. Pengurusan Izin								37,150,000	

Tabel 6. Rencana Anggaran Biaya Non Personil (Lanjutan)

NO.	URAIAN	KUANTITAS X WAKTU					HARGA SATUAN (Rp.)	HARGA TOTAL (Rp.)
IV.	PENERIMAAN							
1.	Laporan Pendahuluan	1	x	3	=	3	150,000	450,000
2.	Laporan Progress	1	x	3	=	3	200,000	600,000
3.	Laporan Akhir	1	x	1	=	1	500,000	500,000
4.	Executive Summary Report	1	x	1	=	1	500,000	500,000
5.	Main Unit Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid	1	x	1	=	1	170,745,000	170,745,000
6.	HDD 1 TB	1	x	1	=	1	200,000	200,000
7.	Shipment	1	x	1	=	1	14,200,000	14,200,000
Sub-Total IV. Penerimaan								187,195,000
Sub Total B BIAYA LANGSUNG NON PERSONIL								551,345,000
TOTAL BIAYA SEBELUM PPN								2,087,495,000
PPN 11%								229,624,450
TOTAL BIAYA SETELAH PPN								2,317,119,450

Selanjutnya, untuk biaya langsung non personil diperoleh biaya sebesar Rp 551.345.000. Hal tersebut mempertimbangkan Survey & Data Collection, Rental & Operations, Pengurusan Izin, dan Penerimaan setelah pengembangan selesai. Setelah itu, jika dijumlahkan biaya langsung personil dan biaya langsung non personil akan diperoleh biaya sebesar Rp 2.317.119.450 sudah termasuk PPN 11%.

PENUTUP

A. Kesimpulan

Dari hasil kajian, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut: 1) Berdasarkan sumber daya EBT yang terdapat di Kabupaten Pacitan, lebih tepatnya di daerah Kecamatan Tulakan, terdapat beberapa potensi EBT yang dapat dijadikan sumber energi untuk pembangkit listrik diantaranya adalah potensi energi surya, energi angin, dan Biogas berbahan bakar kotoran ternak yang dapat dimanfaatkan oleh masyarakat sekitar. Potensi energi surya yang dimiliki oleh Kecamatan Tulakan mencapai 650 – 700 watt/hari dengan suhu rata-rata 26,4°C dan radiasi surya sebesar 5,69 kWh/m²/hari. Kemudian untuk potensi energi angin memiliki rata-rata kecepatan angin sebesar 4,43 m/s dimana kecepatan tersebut memenuhi kriteria *cut in* yang dibutuhkan untuk turbin angin. Adapun energi biogas berbahan bakar kotoran ternak sebesar 11.581 ton/tahunnya sedangkan kebutuhan untuk dapat membangkitkan energi biogas melalui generator hanya memerlukan 507 kg/tahunnya sehingga hal tersebut sangat memenuhi kebutuhan bahan bakar; 2) Berdasarkan hasil simulasi yang dilakukan oleh *HomerPro* didapatkan satu konfigurasi terbaik yaitu kombinasi antara *Photovoltaic*, *Wind Turbine*, dan Biogas. Kombinasi tersebut dapat menghasilkan listrik sebesar 11.590 kWh per tahun dimana energi angin memiliki persentase terbesar yaitu sekitar 65,9% dilanjutkan energi surya sebesar 25% dan terakhir Biogas sebesar 9,1%. Konfigurasi ini pun menghasilkan karbon emisi dari generator Biogas yaitu sekitar 1.324 kg per

tahun. Pemilihan konfigurasi ini dapat meningkatkan rasio elektrifikasi hingga 100% di Kecamatan Tulakan, Kabupaten Pacitan; dan 3) Rencana lokasi untuk pengimplementasian EBT akan ditempatkan di daerah Kecamatan Tulakan tepatnya dekat Kantor Kecamatan Tulakan karena sudah sesuai dengan rekomendasi oleh Bappeda Pacitan. Kemudian untuk Rancangan Anggaran Biaya (RAB) akan dikenakan sebesar Rp 2.317.119.450 yang lebih besar dari hasil simulasi *Homer Pro* karena software tersebut belum mencakup simulasi biaya untuk operasional lapangan.

B. Saran

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan, adapun kelemahan yang perlu ditinjau lebih dalam. Pertama, biaya transportasi kotoran ternak ketika kecamatan yang lain ingin mengirimkan bahan bakar tersebut ke Kecamatan Tulakan. Kedua, diperlukan penelitian lebih lanjut untuk membahas *Carbon Tax* dikarenakan pada penelitian ini, hanya mencantumkan jumlah emisi CO₂ yang dihasilkan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Statistika Ketenagalistrikan 2019, Jakarta: Sekretariat Jenderal Ketenagalistrikan, 2019.
- [2] D. Infield dan F. Leon, *Renewable Energy in Power Systems*, United Kingdom: Wiley, 2020.
- [3] E. Jaen, "Rasio Elektrifikasi di Wilayah Jawa Timur telah Mencapai 98,8 Persen," rri.co.id, 2020. [Online]. Available: <https://rri.co.id/surabaya/ekonomi/950163/rasio-elektrifikasi-di-wilayah-jawa-timur-telah-mencapai-98-8-persen>. [Diakses Desember 2022].
- [4] Badan Pusat Statistik Kabupaten Pacitan, "Kabupaten Pacitan Dalam Angka 2020," Badan Pusat Statistik, Kabupaten Pacitan, 2020.
- [5] Bappeda Kabupaten Pacitan, *Potensi dan Pengembangan Energi Baru Terbarukan di Kabupaten Pacitan*, Kabupaten Pacitan: Pemerintah Kabupaten Pacitan, 2021.
- [6] B. U. Kansara dan B. R. Parekh, "Modelling and simulation of distributed generation system using HOMER software," *2011 International Conference on Recent Advancements in Electrical, Electronics, and Control Engineering*, 2011.
- [7] A. Hiendro, R. Kurnianto, M. Rajagukguk, Y. M. Simanjuntak dan Junaidi, "Techno-economic analysis of photovoltaic/wind hybrid system for onshore/remote area in Indonesia," *Energy*, 2019.
- [8] I. A. Wibowo dan D. Sebayang, "Optimization of Solar-Wind-Diesel Hybrid Power System Design using HOMER," *International Journal of Innovation in Mechanical Engineering and Advanced Materials*, 2015.
- [9] R. Srivastava dan V. K. Giri, "Optimization of hybrid renewable resources using HOMER," 2016.
- [10] N. Tutkun, O. Can dan A. Afandi, "Low Cost Operation of an Off-grid Wind-PV System Electrifying Residential Homes through Combinatorial Optimization by the RCGA," *5th International Conference of Electrical, Electronics and Information Engineering (ICEEIE)*, 2017.
- [11] Z. Smara, A. Laldji, A. Ferkous, M. Tali, A. Mahrane dan R. Dizene, "Evaluation of the self sufficiency of a home powered by a PV-Wind system," *2018 International Conference on Applied Smart Systems (ICASS)*, 2018.
- [12] A. Soba, V. A. Suoth dan H. S. Kolibu, "Optimasi Kapasitas Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (PLTH) di Pulau Bunaken menggunakan Software HOMER," *Jurnal MIPA*, 2019.
- [13] M. Rumbayan dan Y. Nakanishi, "Prospect of PV-Wind-Diesel Hybrid System as an Alternative Power Supply for Miangas Island in Indonesia," *International Journal of Smart Grid and Clean Energy*, 2019.
- [14] L. Lozano, E. Querikol, M. Abundo dan L. Bellotindos, "Techno-economic Analysis of a Cost-Effective Power Generation System for Off-Grid Island Communities," *Renewable Energy*, 2019.
- [15] M. H. Jahangir dan R. Cheraghi, "Economic and Environmental Assessment of Solar-Wind-Biomass Hybrid Renewable Energy System Supplying Rural Settlement Load," *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 2020.
- [16] A. Verma dan B. Singh, "Integration of Solar PV-WECS and DG Set for EV Charging Station," *2020 IEEE International Conference on Power Electronics, Smart Grid, and Renewable Energy (PESGRE2020)*, 2020.
- [17] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Panduan Studi Kelayakan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Terpusat, Indonesia: USAID, 2018.
- [18] Direktorat Jendral EBTKE ESDM, LKJ DITJEN EBTKE 2018, Indonesia: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2018.
- [19] Kementerian Energi Sumber Daya dan Mineral, Panduan Studi Kelayakan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Terpusat, Jakarta: United States Agency International Development (USAID), 2018.

- [20] T. Huld, "Estimating Solar Radiation and Photovoltaic System Performance, the PVGIS Approach," 2011. [Online]. Available: <https://europa.eu/capacity4dev/file/23824/download?token=3H0og4z7>.
- [21] A. S. Aziz dan M. R. Adzman, "Feasibility Analysis of PV/Wind/Battery Hybrid Power Generation: A Case Study," *Renewable Energy Research*, 2018.
- [22] M. G. Rianta, "Mengenal Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) dan Mekanisme Kegagalan pada Turbin Angin," Indonesia RE, 2021. [Online]. Available: <https://indonesiare.co.id/id/article/mengenal-pembangkit-listrik-tenaga-bayu-pltb-dan-mekanisme-kegagalan-pada-turbin-angin>. [Diakses 11 11 2022].
- [23] S. A. Sujono dan D. , *Teknologi Biogas (Pembuatan, Operasional, dan Pemanfaatan)*, Yogyakarta: Graha Ilmu, 2010.
- [24] P. Meynell, *Methane: Planning a Digester*, Inggris: Prism Press, 1976.
- [25] I. R. Zulkarnaen, H. S. Tira dan Y. A. Padang, "Pengaruh Rasio Karbon dan Nitrogen (C/N Ratio) pada Kotoran Sapi Terhadap Produksi Biogas dari Proses Anaerob," *Dinamika Teknik Mesin*, 2018.
- [26] V. D. Lazarov dan Z. Zarkov, "Hybrid Power Systems with Renewable Energy Sources - Types, Structures, Trends for Research and Development," dalam *11th International Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems*, Bulgaria, 2005.
- [27] S. Saodah dan N. Hariyanto, "Perancangan Sistem Pembangkit Listrik Hybrid dengan Kapasitas 3 kVA," *Seminar Nasional Penelitian dan Pengabdian pada Masyarakat*, 2019.
- [28] K. D. Lal, B. Bhusan dan A. K. Akella, "Optimization of PV/Wind/Micro-Hydro/Diesel Hybrid Power System in HOMER for the Study Area," *International Journal on Electrical Engineering and Informatics*, 2011.
- [29] C. R. Fung dan N. C., "A Simulation Study on the Economic Aspects of Hybrid Energy Systems for Remote Islands in Thailand," dalam *IEEE Region 10 Conference on Computers, Communications, Control and Power Engineering*, 2002.
- [30] H. Hasan, "Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Pulau Saugi," *Jurnal Riset dan Teknologi Kelautan (JRTK)*, 2012.
- [31] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, "Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral," 2022. [Online]. Available: <https://geoportal.esdm.go.id/ebtke/>.
- [32] Bank Indonesia, "BI 7-Day (Reverse) Repo Rate," 2022. [Online]. Available: <https://www.bi.go.id/id/statistik/indikator/bi-7day-rr.aspx>.
- [33] Bank Indonesia, "Data Inflasi," 2022. [Online]. Available: <https://www.bi.go.id/id/statistik/indikator/data-inflasi.aspx>.
- [34] Badan Perencanaan Pembangunan Daerah Pacitan, "Potensi dan Pengembangan Energi Baru Terbarukan (EBT) di Kabupaten Pacitan," Bappeda Pacitan, Pacitan, 2021.
- [35] A. Azahra, K. D. Syahindra, D. R. Aryani, F. H. Jufri dan I. M. Ardita, "Optimized configuration of photovoltaic and battery energy storage system (BESS) in an isolated grid: a case study of Eastern Indonesia," dalam *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 599, 2020.
- [36] INKINDO, "Pedoman Standar Minimal 2023," 2023. [Online]. Available: <https://www.inkindo.org/informasi-publik/billing-rate>.