

Evaluasi Strategis Penerapan Energi Hibrida PV-Angin-Genset dari Perspektif Manajerial di Wilayah Terpencil

Ayuni Kresnadiyanti Putri¹, Ayu Laksmi Padmadewi²

¹ STMIK LIKMI

Jl. Ir. H. Juanda No.96 Kota Bandung, Indonesia

²Universitas Pendidikan Indonesia (UPI)

Jl. Setiabudhi No. 229 Kota Bandung, Indonesia

ayuni@likmi.ac.id

Abstrak

Penerapan sistem energi hibrida yang menggabungkan energi surya, angin, dan genset menjadi salah satu solusi yang menjanjikan untuk mengatasi masalah ketergantungan pada energi fosil di wilayah terpencil. Di Pulau Matakus, yang terletak di Kepulauan Tanimbar, sistem ini diharapkan dapat memenuhi kebutuhan listrik yang berkelanjutan, seiring dengan tantangan besar terkait infrastruktur dan bahan bakar fosil. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi penerapan sistem hibrida ini dari perspektif manajerial, dengan fokus pada faktor-faktor internal dan eksternal yang mempengaruhi keberhasilan implementasinya. Metode analisis SWOT digunakan untuk mengidentifikasi kekuatan, kelemahan, peluang, dan ancaman yang dihadapi, sementara data yang digunakan meliputi informasi potensi energi terbarukan dari BMKG dan NASA serta data profil beban dari fasilitas *Guest House* di Pulau Matakus. Hasil penelitian menunjukkan bahwa, meskipun ada tantangan terkait kebutuhan modal awal yang besar dan keterbatasan infrastruktur, penerapan sistem hibrida menawarkan peluang besar, khususnya dengan dukungan kebijakan pemerintah dan perkembangan sektor pariwisata. Penelitian ini memberikan rekomendasi strategis yang dapat diterapkan untuk pengembangan energi terbarukan di wilayah 3T di Indonesia.

Kata kunci: energi hibrida, energi terbarukan, sistem pembangkit, analisis SWOT, wilayah terpencil

Abstract

The implementation of a hybrid energy system combining solar, wind, and genset technologies has emerged as a promising solution to address the reliance on fossil fuels in remote areas. In Matakus Island, located in the Tanimbar Archipelago, this system is expected to provide a sustainable electricity supply, amidst significant challenges related to infrastructure and fossil fuel dependency. This study aims to evaluate the application of this hybrid system from a managerial perspective, focusing on the internal and external factors that influence its successful implementation. A SWOT analysis method was used to identify the strengths, weaknesses, opportunities, and threats faced, while the data utilized includes renewable energy potential information from BMKG and NASA, as well as load profile data from the Guest House facility in Matakus Island. The results indicate that, despite challenges related to high initial capital requirements and infrastructure limitations, the hybrid system offers significant opportunities, particularly with government policy support and the growing tourism sector. This research provides strategic recommendations that can be applied for the development of renewable energy in Indonesia's 3T regions.

Keywords: hybrid energy, renewable energy, power generation systems, SWOT analysis, remote areas

I. PENDAHULUAN

Indonesia, sebagai negara kepulauan dengan wilayah yang sangat luas dan jumlah penduduk yang besar, menghadapi tantangan besar dalam

menyediakan pasokan energi listrik yang berkelanjutan, terutama di daerah-daerah 3T (Terluar, Terpencil, dan Tertinggal). Daerah-daerah ini, termasuk Pulau Matakus yang terletak di Kepulauan Tanimbar, Maluku, memiliki

ketergantungan yang tinggi terhadap bahan bakar fosil, khususnya bahan bakar minyak untuk pengoperasian genset. Sebagai contoh, data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (KESDM) menunjukkan bahwa ketergantungan pada energi fosil di wilayah-wilayah tersebut masih sangat besar, meskipun ada potensi energi terbarukan yang melimpah. Pulau Matakus, yang memiliki potensi energi surya dan angin yang tinggi, masih mengandalkan pasokan listrik dari genset berbahan bakar fosil. Hal ini tentu saja menghadirkan tantangan besar dalam mewujudkan keberlanjutan energi di wilayah tersebut. Pemanfaatan energi terbarukan seperti surya, angin, dan biomassa di daerah ini belum optimal. Oleh karena itu, penerapan sistem energi hibrida yang menggabungkan ketiga sumber energi tersebut menjadi solusi yang sangat relevan untuk mengatasi ketergantungan pada energi fosil di Pulau Matakus. Pemanfaatan energi terbarukan ini berpotensi mengurangi dampak lingkungan dan meningkatkan ketahanan energi wilayah tersebut [1][2].

Beberapa penelitian telah mengkaji penerapan sistem energi hibrida di berbagai wilayah terpencil, dengan fokus pada aspek teknis dan ekonomi. Sebagai contoh, studi oleh Rehmani dan Akhter (2019) menunjukkan bahwa penggunaan energi terbarukan dapat mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil serta mengurangi emisi karbon yang berbahaya bagi lingkungan [3]. Penelitian lain oleh Natividad & Benalcazar (2023) di daerah terpencil juga menunjukkan hasil serupa, di mana penerapan sistem energi hibrida mampu mengurangi biaya operasional dalam jangka panjang meskipun memerlukan investasi awal yang cukup besar [4]. Alonso et al. (2021) menemukan bahwa penerapan sistem di daerah terpencil dapat memberikan manfaat besar dalam mengurangi biaya operasional, meningkatkan ketahanan energi, serta mengurangi dampak lingkungan. Sistem ini merupakan alternatif yang efektif untuk mengurangi ketergantungan pada generator diesel yang mahal dan kurang efisien, serta meningkatkan pasokan energi secara berkelanjutan. [5]. Namun, sebagian besar studi tersebut lebih menekankan pada analisis teknis dan ekonomi, sementara tantangan manajerial yang terkait dengan implementasi sistem ini sering kali kurang diperhatikan. Misalnya, pengelolaan biaya, keterbatasan infrastruktur, serta pengelolaan sumber daya manusia yang terlatih di daerah-daerah terpencil sering kali menjadi kendala utama dalam penerapan teknologi energi terbarukan. Oleh karena itu, masih terdapat gap dalam penelitian mengenai tantangan manajerial yang perlu diatasi untuk mewujudkan keberhasilan sistem energi hibrida di wilayah terpencil, seperti Pulau Matakus.

Fokus manajerial dalam penerapan sistem energi hibrida di wilayah terpencil masih relatif jarang dieksplorasi dalam literatur, dibandingkan dengan studi-studi sebelumnya yang lebih dominan membahas aspek teknis dan ekonomi. Sebagian besar penelitian menekankan pada efisiensi teknologi, kelayakan finansial, dan optimasi sistem, namun cenderung mengabaikan tantangan manajerial seperti perencanaan strategis, pengelolaan sumber daya manusia lokal, keberlanjutan operasional, serta integrasi kebijakan dan tata kelola di tingkat daerah. Padahal, keberhasilan implementasi sistem energi hibrida tidak hanya ditentukan oleh teknologi yang digunakan, tetapi juga sangat dipengaruhi oleh kemampuan manajerial dalam merespons tantangan di lapangan, terutama di daerah 3T yang memiliki keterbatasan infrastruktur dan SDM.

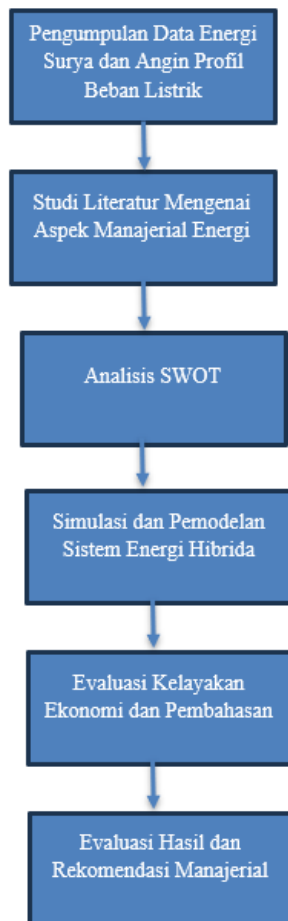
Sebagai solusi untuk menghadapi tantangan ini, perencana energi sebaiknya tidak hanya mengandalkan ukuran biaya pembangkitan kWh konvensional yang berbasis 'biaya terendah', tetapi lebih baik mengevaluasi sumber energi konvensional dan terbarukan berdasarkan kontribusi biaya dan risiko terhadap campuran aset pembangkitan [6]. Pendekatan ini sangat relevan dalam konteks penerapan sistem energi hibrida di wilayah terpencil, di mana kombinasi antara sumber energi terbarukan seperti PV, angin, dan genset dapat memberikan solusi yang lebih efisien, meskipun dengan biaya awal yang lebih tinggi. Selain itu, penelitian oleh IRENA (2020) juga menekankan bahwa sistem energi hibrida yang menggabungkan energi terbarukan dapat memberikan fleksibilitas dalam mengelola fluktuasi biaya operasional, yang sangat penting di wilayah terpencil [7]. Oleh karena itu, penelitian ini memberikan kontribusi baru dengan menyoroti aspek manajerial secara lebih mendalam melalui pendekatan SWOT, guna menjembatani kesenjangan antara potensi teknis dan realisasi implementasi di lapangan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengisi celah pengetahuan tersebut dengan mengevaluasi penerapan sistem energi hibrida dari perspektif manajerial di Pulau Matakus. Fokus utama penelitian ini adalah untuk menganalisis faktor-faktor internal dan eksternal yang mempengaruhi keberhasilan implementasi sistem energi hibrida di wilayah tersebut. Metode analisis SWOT akan digunakan untuk menggali kekuatan, kelemahan, peluang, dan ancaman yang ada, serta untuk menyusun rekomendasi strategis yang dapat diterapkan dalam pengembangan sistem energi terbarukan di daerah terpencil di Indonesia. Penelitian ini juga diharapkan dapat memberikan panduan praktis yang lebih komprehensif untuk

pengembangan energi terbarukan di wilayah-wilayah 3T Indonesia, khususnya dalam mengatasi masalah ketergantungan pada energi fosil dan menghadirkan solusi yang lebih berkelanjutan bagi masyarakat [8][9].

II. METODE PENELITIAN

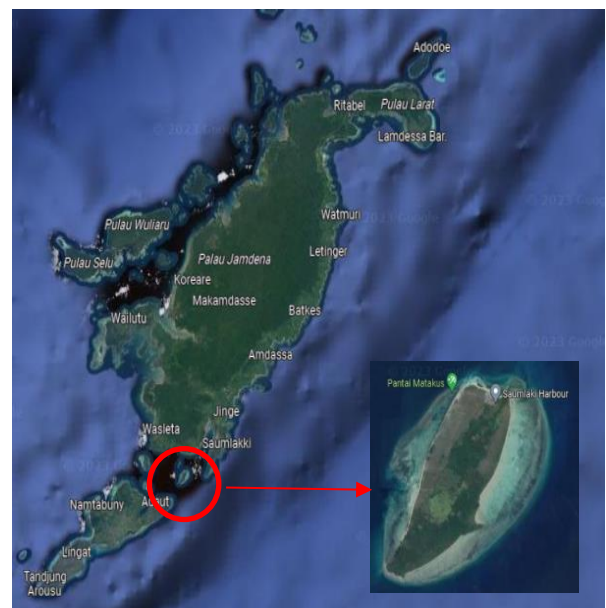
Penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi strategi penerapan sistem pembangkit listrik energi hibrida (kombinasi PV, turbin angin, dan genset) di Pulau Matakus dari perspektif manajerial. Penelitian ini bersifat deskriptif-kuantitatif dengan pendekatan studi kasus pada sebuah *Guest House* yang terletak di Pulau Matakus. Fokus utama penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi dan menganalisis aspek-aspek manajerial dalam penerapan teknologi energi terbarukan secara efisien dan berkelanjutan, dengan memperhatikan dimensi teknis, ekonomi, dan sosial. Dengan menerapkan sistem energi hibrida yang menggabungkan energi angin dan surya dapat meningkatkan penggunaan energi terbarukan dan mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil, meskipun fluktuasi produksi energi tetap menjadi tantangan yang perlu dikelola dengan sistem cadangan yang tepat [10].



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Objek Penelitian

Objek penelitian dalam studi ini adalah sebuah *Guest House* yang terletak di Pulau Matakus, sebuah pulau kecil yang berada di Kecamatan Tanimbar Selatan, Kabupaten Kepulauan Tanimbar, Maluku. Pulau ini terletak di seberang Teluk Saumlaki dan Selat Egron, dengan koordinat geografis 08°03'682" Lintang Selatan dan 131°11'445" Bujur Timur. Pulau Matakus dikenal sebagai destinasi wisata dengan pantai berpasir putih dan kehidupan masyarakat lokal yang masih mempertahankan tradisi. Meski demikian, pasokan listrik di pulau ini masih mengandalkan generator diesel yang tidak efisien dan ramah lingkungan. Oleh karena itu, *Guest House* ini dijadikan sebagai studi kasus untuk evaluasi strategis penerapan sistem energi hibrida PV-Angin-Genset, dengan tujuan untuk merumuskan strategi pengelolaan sistem energi yang efisien, berkelanjutan, dan sesuai dengan kebutuhan lokal.



Gambar 2. Lokasi Pulau Matakus

Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari dua sumber utama, yaitu data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh secara langsung melalui observasi di lapangan, dengan fokus pada pencatatan penggunaan daya listrik di berbagai fasilitas *Guest House*. Pendekatan ini memberikan gambaran nyata tentang pola konsumsi listrik sehari-hari, sehingga data yang diperoleh benar-benar mencerminkan kondisi aktual di lokasi penelitian.

Sementara itu, data sekunder dikumpulkan dari sumber-sumber terpercaya dan relevan, seperti database NASA POWER yang menyediakan informasi potensi energi surya dan angin secara akurat. Selain itu, data sekunder juga diperoleh dari

studi literatur yang membahas harga komponen pembangkit, harga bahan bakar minyak, nilai tukar rupiah terhadap dolar, serta tingkat suku bunga yang berlaku. Informasi ini penting untuk mendukung analisis kelayakan ekonomi dan teknis sistem pembangkit hibrida.

Fokus pengumpulan data penggunaan listrik dilakukan dengan mencatat konsumsi energi rata-rata dari berbagai fasilitas yang ada di Guest House, seperti ruang makan, lounge, mini market, toilet, serta lima kamar tamu yang terletak di lantai atas. Dengan demikian, diperoleh profil beban listrik harian dan bulanan yang menggambarkan pola pemakaian energi secara detail dan realistis. Profil beban ini sangat berguna sebagai dasar simulasi dalam perancangan sistem pembangkit hibrida yang optimal.

Untuk potensi energi surya, perhitungan dilakukan menggunakan data radiasi global horizontal (GHI) yang diambil dari database HOMER Pro. Sedangkan potensi energi angin dihitung berdasarkan data kecepatan angin bulanan di lokasi tersebut. Pemanfaatan data yang akurat dan terperinci ini memungkinkan dilakukan analisis kelayakan teknis yang mendalam, sehingga sumber daya yang tersedia dapat dimanfaatkan secara maksimal untuk menghasilkan energi yang efisien dan berkelanjutan.

Perancangan dan Simulasi Sistem Hybrid

Setelah data terkumpul, langkah selanjutnya adalah melakukan pemodelan dan simulasi sistem pembangkit hibrida. Pemodelan dilakukan dengan memperhitungkan karakteristik geografis, intensitas energi surya, dan kecepatan angin di Pulau Matakus. Simulasi dilakukan menggunakan tiga perangkat lunak: HOMER Pro, MATLAB/Simulink, dan PVsyst.

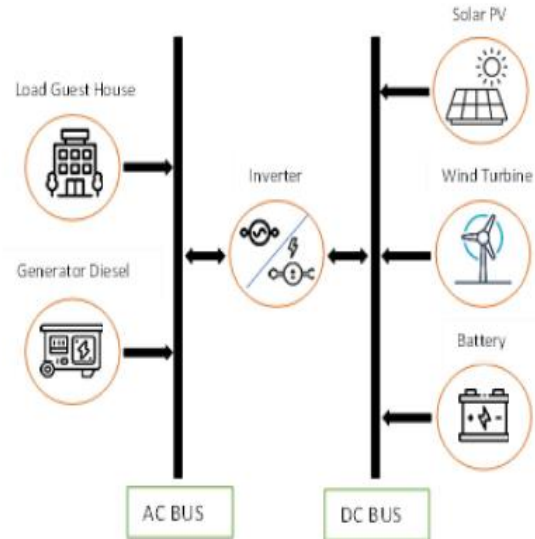
HOMER Pro digunakan untuk menentukan kombinasi optimal dari kapasitas panel surya, turbin angin, dan genset, serta untuk menghitung kelayakan ekonomi sistem berdasarkan parameter biaya seperti Levelized Cost of Electricity (LCOE). Perangkat lunak ini dipilih karena unggul dalam optimasi sistem energi terdistribusi dan analisis kelayakan finansial secara komprehensif.

MATLAB/Simulink digunakan untuk menganalisis performa teknis sistem dalam rentang waktu tertentu, khususnya untuk skenario variabel beban. Keunggulan Simulink adalah kemampuannya dalam melakukan simulasi dinamis secara mendetail, memungkinkan analisis performa sistem dalam kondisi waktu nyata.

PVsyst digunakan untuk mendesain arah dan sudut kemiringan pemasangan panel surya agar efisiensinya maksimal. PVsyst dipilih karena

memiliki akurasi tinggi dalam simulasi teknis sistem fotovoltaik serta dilengkapi dengan database iklim dan modul surya yang luas.

Untuk memperjelas konsep dan integrasi komponen dalam sistem pembangkit hibrida ini, Gambar 3 menyajikan gambar visual yang menggambarkan skema kerja sistem hybrid PV-Angin-Genset secara keseluruhan untuk mempermudah pemahaman hubungan antar komponen serta alur energi dalam sistem.



Gambar 3. Skema Kerja Sistem Energi Hibrida Terintegrasi [11]

Analisis SWOT

Analisis SWOT (*Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats*) merupakan alat strategis yang efektif untuk mengevaluasi penerapan sistem energi hibrida di wilayah terpencil. Kekuatan (*Strengths*) dari sistem ini mencakup potensi energi terbarukan yang melimpah, seperti sinar matahari dan angin, yang dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan listrik secara berkelanjutan. Kelemahan (*Weaknesses*) meliputi biaya investasi awal yang tinggi dan ketergantungan pada teknologi yang relatif baru di daerah tersebut. Peluang (*Opportunities*) yang ada antara lain peningkatan akses terhadap energi yang lebih ramah lingkungan dan pengurangan ketergantungan pada bahan bakar fosil. Ancaman (*Threats*) termasuk fluktuasi cuaca yang dapat mempengaruhi kestabilan pasokan energi dan tantangan dalam pemeliharaan sistem di lokasi yang terpencil.

Berdasarkan penelitian oleh Pradhan et al. (2020), penerapan analisis SWOT membantu dalam menilai berbagai faktor yang memengaruhi keberhasilan implementasi sistem energi terbarukan, seperti energi surya dan angin. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa kekuatan utama sistem energi hibrida terletak pada keberlanjutan jangka panjang

yang ditawarkan oleh sumber energi terbarukan dan pengurangan ketergantungan pada bahan bakar fosil. Namun, biaya awal yang tinggi dan ketersediaan teknologi yang terbatas menjadi tantangan yang harus diatasi. Peluang yang ada meliputi peningkatan efisiensi energi dan keberlanjutan operasional, sementara ancaman utama berasal dari faktor eksternal seperti cuaca ekstrem dan fluktuasi pasar energi global [12]. Menurut Mwizerwa et al. (2024), analisis SWOT sangat berguna dalam merancang strategi implementasi sistem energi hibrida yang efektif dan berkelanjutan di daerah-daerah terpencil di Indonesia [13]. Analisis ini bertujuan untuk mengidentifikasi kekuatan, kelemahan, peluang, dan ancaman yang ada, baik dari sisi teknis, ekonomi, maupun sosial. Format analisis SWOT ini akan digunakan untuk menyusun strategi manajerial yang dapat meningkatkan keberhasilan penerapan teknologi energi hibrida di daerah terpencil seperti Pulau Matakus.

Tabel 1. Analisis SWOT Penerapan Energi Hibrida di Pulau Matakus

Kekuatan (Strengths)	Kelemahan (Weaknesses)
Potensi energi terbarukan yang tinggi	Biaya investasi awal yang tinggi
Biaya operasional yang lebih rendah	Keterbatasan infrastruktur di daerah terpencil
Pengurangan ketergantungan pada bahan bakar fosil	Ketergantungan pada teknologi yang relatif baru
Pengelolaan dan pemeliharaan sistem yang efisien	
Peluang (Opportunities)	Ancaman (Threats)
Meningkatnya kesadaran terhadap energi terbarukan	Ketidakpastian iklim yang mempengaruhi pasokan energi
Dukungan pemerintah terhadap energi terbarukan	Keterbatasan akses terhadap teknologi dan bahan baku
Pertumbuhan sektor wisata di Pulau Matakus	Fluktuasi harga bahan bakar fosil

Analisis Estimasi Perbandingan Ekonomi

Analisis Estimasi Perbandingan Ekonomi merupakan bagian penting dalam studi techno-ekonomi sistem energi terbarukan hibrida. Dalam hal ini, dilakukan analisis yang membandingkan berbagai parameter ekonomi antara sumber daya energi yang digunakan dalam sistem hibrida, seperti panel surya fotovoltaik (PV), diesel generator, dan baterai. Analisis regresi yang dilakukan menunjukkan hubungan yang kuat antara total beban harian dan kapasitas serta biaya investasi awal sistem konverter yang digunakan. Hasil analisis ini menunjukkan bahwa semakin besar beban harian,

semakin besar kapasitas yang dibutuhkan untuk konverter, serta biaya investasi yang lebih tinggi. Selain itu, biaya operasional dan penggantian juga memiliki hubungan erat dengan total beban harian. Dengan memahami hubungan ini, keputusan keuangan yang lebih cermat dapat diambil untuk mengoptimalkan sistem energi hibrida dan menurunkan biaya operasional, terutama dalam konteks sistem *off-grid* atau terpencil [14].

Untuk memberikan konteks yang lebih mendalam pada analisis estimasi perbandingan ekonomi, penting untuk memahami bahwa analisis ekonomi semacam ini bertujuan untuk menilai kelayakan finansial dari berbagai pilihan konfigurasi sistem energi. Dalam hal ini, perbandingan dilakukan antara sistem energi hibrida yang menggabungkan panel surya, turbin angin, dan genset, serta sistem pembangkit berbasis diesel yang digunakan saat ini. Analisis ekonomi melibatkan perhitungan *Levelized Cost of Electricity* (LCOE), yang memberikan gambaran tentang biaya per unit listrik yang dihasilkan oleh masing-masing konfigurasi. Selain itu, analisis ini juga mencakup biaya investasi awal, biaya operasional tahunan, serta estimasi penghematan bahan bakar dan pengurangan emisi CO₂ yang dihasilkan oleh sistem hibrida dibandingkan dengan sistem diesel. Penilaian ini sangat penting dalam perumusan strategi manajerial untuk implementasi sistem energi yang berkelanjutan dan efisien [13].

Sebagai bagian dari analisis manajerial, perbandingan ekonomi dari berbagai konfigurasi sistem pembangkit energi hibrida akan dilakukan. Estimasi ini mencakup perhitungan *Levelized Cost of Electricity* (LCOE), biaya investasi awal, biaya operasional tahunan, serta estimasi penghematan bahan bakar dan emisi CO₂. Tabel berikut ini menunjukkan perbandingan antara konfigurasi sistem energi hibrida dan sistem berbasis diesel yang digunakan saat ini.

Perhitungan faktor ekonomi dari suatu sistem pembangkit energi dapat dilakukan dengan menggunakan *Net Present Cost* (NPC) dan *Levelized Cost of Energy* (LCOE) untuk mengevaluasi aspek keekonomian dari proyek pembangkit energi. Kedua metode ini merupakan alat analisis yang sering digunakan untuk mengukur aspek ekonomi dalam proyek-proyek pembangkit energi. Kedua metrik ini penting dalam menentukan kelayakan finansial suatu proyek pembangkit energi, karena membantu dalam membandingkan biaya antara berbagai teknologi dan konfigurasi sistem, serta dalam membuat keputusan investasi yang informasional [15].

Net Present Cost (NPC) adalah ukuran total biaya yang dikeluarkan untuk investasi dan operasional sistem pembangkit energi selama masa hidup

proyek. Di sisi lain, NPC merupakan total biaya bersih yang melibatkan komponen-komponen dalam pemasangan dan pengoperasian suatu proyek. Semakin kecil nilai NPC, semakin besar kemungkinan proyek tersebut untuk dianggap layak dari segi ekonomi [15]. Perhitungan NPC mencakup biaya investasi awal, biaya operasional, pemeliharaan, serta biaya bahan bakar dan komponen lainnya. Rumus berikut digunakan untuk menghitung NPC:

$$NPC = \sum_{n=0}^N \frac{C_{(n)}}{(1+d)^n} \quad (1)$$

Dimana,

$C_{(n)}$ adalah nominal cash flow pada tahun n

N adalah umur proyek

d adalah discount rate

E_{served} adalah konsumsi energi tahunan

Levelized Cost of Energy (LCOE) adalah ukuran standar yang digunakan untuk menilai tingkat keekonomian dari sistem pembangkit energi. LCOE menghitung biaya rata-rata per unit energi yang dihasilkan oleh sistem sepanjang masa operasionalnya. Parameter ini mencakup biaya investasi awal, biaya operasional, pemeliharaan, serta tingkat efisiensi konversi energi. LCOE mengacu pada biaya yang dibutuhkan untuk memproduksi setiap 1 kWh energi listrik. Semakin rendah nilai LCOE, semakin ekonomis dan layak suatu proyek untuk dilaksanakan [16]. Data yang diperoleh dari Homer Pro akan memberikan estimasi LCOE untuk sistem pembangkit hibrida yang melibatkan sumber daya terbarukan seperti solar PV, angin, serta komponen lainnya seperti baterai dan genset. Berikut rumus untuk menghitung LCOE:

$$LCOE = \frac{d(1+d)^n}{(1+d)^n - 1} \times \frac{NPC}{E_{served}} \quad (2)$$

Tabel 2. Estimasi Perbandingan Ekonomi Sistem Energi Hibrida dan Diesel

Parameter	Sistem Energi Hibrida	Sistem Diesel
Investasi Awal	\$X	\$Y
Biaya Operasional Tahunan	\$A	\$B

Parameter	Sistem Energi Hibrida	Sistem Diesel
LCOE (USD/kWh)	\$C	\$D
Penghematan Bahan Bakar	\$E	\$F
Pengurangan Emisi CO ₂	G ton CO ₂	H ton CO ₂

Data Potensi Energi

Berdasarkan data yang diperoleh dari database HOMER PRO yang dikeluarkan oleh NASA, rata-rata nilai *Global Horizontal Irradiation* (GHI) di Pulau Matakus tercatat sebesar 6,03 kWh/m²/hari. Angka ini menunjukkan jumlah energi matahari yang diterima secara horizontal di permukaan Pulau Matakus dalam sehari.

Tabel 3. Potensi GHI [11]

Bulan	Radiasi Harian (kWh/m ² /day)
Jan	5.71
Feb	5.47
Mar	5.95
April	5.69
May	5.36
June	5.12
July	5.47
Aug	6.35
Sep	7.09
Oct	7.36
Nov	7.11
Dec	5.67
Rata-rata	6.03

Informasi mengenai GHI bulanan yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 3. Tabel tersebut menyajikan data mengenai fluktuasi GHI bulanan di Pulau Matakus, yang menunjukkan perubahan tingkat intensitas radiasi matahari sepanjang tahun. Data ini sangat penting dalam menganalisis potensi energi surya yang tersedia dan dalam perencanaan sistem pembangkit energi surya yang efisien di pulau tersebut [17].

Selain itu, Pulau Matakus, yang merupakan pulau kecil yang dikelilingi oleh laut, tercatat memiliki kecepatan angin rata-rata yang relatif tinggi. Untuk memulai pembangkitan listrik menggunakan turbin, diperlukan kecepatan angin minimal 4 m/s,

sementara kecepatan angin maksimum yang dapat diterima oleh turbin adalah 25 m/s [18]. Dengan rata-rata kecepatan angin sebesar 6,3 m/s di Pulau Matakus, kondisi ini memungkinkan penerapan sistem pembangkit listrik hibrida yang menggabungkan tenaga surya dan angin.

Tabel 4. Potensi Energi Angin [11]

Bulan	Rata-rata (m/s)
Jan	5.99
Feb	6.4
Mar	5.04
April	5.51
May	7.73
June	8.64
July	8.68
Aug	7.91
Sep	6.49
Oct	5.05
Nov	3.67
Dec	4.45
Rata-rata	6.30

Tabel 4 menyajikan data kecepatan angin bulanan rata-rata, di mana kecepatan angin tertinggi tercatat sebesar 8,68 m/s pada bulan Juli, dan kecepatan angin terendah tercatat sebesar 3,67 m/s pada bulan November. Data ini sangat penting dalam perancangan sistem pembangkit energi hibrida yang dapat memanfaatkan potensi energi surya dan angin yang tersedia di Pulau Matakus dengan cara yang lebih efisien.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil simulasi dan analisis yang dilakukan menggunakan perangkat lunak HOMER Pro, MATLAB/Simulink, dan PVsyst, serta analisis SWOT yang memberikan gambaran strategis mengenai penerapan sistem energi hibrida di Pulau Matakus. Analisis ini bertujuan untuk mengevaluasi aspek teknis, ekonomi, dan manajerial dari penggunaan energi terbarukan untuk memenuhi kebutuhan listrik di *Guest House* Pulau Matakus.

Konfigurasi Sistem

Hasil simulasi menggunakan HOMER Pro menunjukkan bahwa konfigurasi optimal untuk memenuhi kebutuhan listrik di *Guest House* adalah kombinasi 5.75 kW panel surya, 3 kW turbin angin, 5 kW genset diesel, dan 18 kW baterai. Konfigurasi ini dirancang untuk memastikan bahwa kebutuhan listrik dapat tetap terpenuhi meskipun terdapat fluktuasi pasokan energi terbarukan. Hasil simulasi ini mengindikasikan *Levelized Cost of Energy*

(LCOE) sebesar Rp. 4362/kWh, yang menunjukkan efisiensi ekonomi yang lebih baik dibandingkan dengan penggunaan generator diesel saja. Emisi CO₂ dapat diturunkan sebesar 91%, sementara penghematan bahan bakar mencapai 88.7%. Sistem ini menawarkan solusi jangka panjang yang lebih efisien meskipun memerlukan biaya investasi awal yang lebih tinggi.

Hasil Simulasi dan Analisis Pemodelan Sistem

Simulasi yang dilakukan dengan MATLAB/Simulink menunjukkan bahwa sistem yang diusulkan dapat memenuhi puncak beban sebesar 3.42 kW. Hasil simulasi ini menunjukkan bahwa sistem dapat menghasilkan tegangan keluaran stabil sebesar 227 V dan frekuensi 50 Hz, yang sesuai dengan standar kebutuhan listrik di rumah tangga. Hasil dari PVsyst menunjukkan bahwa arah pemasangan panel surya yang optimal adalah arah Utara, yang menghasilkan lebih banyak energi dibandingkan arah Timur atau Barat. Dengan arah ini, sistem dapat menghasilkan energi tahunan yang lebih tinggi dengan mengurangi efek shading.

Analisis SWOT

Dalam penelitian ini, analisis SWOT digunakan untuk mengevaluasi strategi penerapan sistem energi hibrida dari perspektif manajerial. Sebelum melakukan penerapan sistem energi hibrida (PV, Angin, Genset) di *Guest House* Pulau Matakus, diperlukan analisis kelayakan yang lebih mendetail, baik dari aspek teknis maupun ekonomi. Oleh karena itu, untuk melihat potensi dan strategi pengembangan sistem energi hibrida di Pulau Matakus, perlu dilakukan identifikasi terhadap faktor internal dan eksternal yang mempengaruhi keberhasilan penerapan sistem ini. Berikut adalah evaluasi faktor internal yang meliputi kekuatan (*strength*) dan kelemahan (*weakness*), serta evaluasi faktor eksternal yang mencakup peluang (*opportunity*) dan ancaman (*threat*) terkait dengan potensi pengembangan energi hibrida di Pulau Matakus, yang penulis peroleh setelah melakukan observasi langsung dan wawancara dengan pihak-pihak yang terkait dalam penelitian ini.

Berikut adalah analisis SWOT penerapan energi hibrida di Pulau Matakus:

1. Evaluasi Faktor Internal (IFE)

Kekuatan (*Strengths*):

- Potensi Energi Terbarukan yang Tinggi: Pulau Matakus memiliki potensi energi surya dan angin yang tinggi, dengan data GHI rata-rata 6,03 kWh/m²/hari untuk energi surya dan kecepatan angin rata-rata 6,3 m/s, yang memungkinkan penggunaan sistem energi hibrida yang lebih efektif.

- b) Pengurangan Ketergantungan pada Bahan Bakar Fosil: Penggunaan energi terbarukan akan mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil yang mahal dan tidak ramah lingkungan.
- c) Keberlanjutan Lingkungan: Sistem energi hibrida yang menggabungkan panel surya, angin, dan genset membantu mengurangi emisi CO₂ dan memberikan solusi ramah lingkungan di Pulau Matakus.
- d) Biaya Operasional yang Lebih Rendah dalam Jangka Panjang: Meskipun biaya investasi awal lebih tinggi, biaya operasional sistem energi terbarukan jauh lebih rendah dibandingkan dengan penggunaan generator diesel.

Kelemahan (*Weaknesses*):

- a) Biaya Investasi Awal yang Tinggi: Investasi awal untuk instalasi panel surya, turbin angin, baterai, dan genset diesel lebih tinggi daripada sistem diesel tradisional.
- b) Ketergantungan pada Infrastruktur yang Terbatas: Daerah terpencil seperti Pulau Matakus memiliki keterbatasan infrastruktur pendukung yang dapat menghambat implementasi dan pemeliharaan sistem energi hibrida.
- c) Keterbatasan Pengetahuan dan Keahlian Lokal: Pengelolaan dan pemeliharaan sistem energi terbarukan memerlukan keahlian teknis yang belum sepenuhnya dimiliki oleh sumber daya manusia di daerah tersebut.

2. Evaluasi Faktor Eksternal (EFE)

Peluang (*Opportunities*):

- a) Meningkatnya Kesadaran terhadap Energi Terbarukan: Terdapat peluang untuk memanfaatkan tren global yang semakin mengutamakan penggunaan energi terbarukan, yang dapat mengurangi dampak perubahan iklim dan meningkatkan kualitas lingkungan.
- b) Dukungan Pemerintah dan Kebijakan Energi Terbarukan: Pemerintah Indonesia memberikan dukungan terhadap proyek-proyek yang berfokus pada penggunaan energi terbarukan, yang dapat membantu dalam memperoleh pendanaan dan insentif.
- c) Pertumbuhan Sektor Wisata: Pulau Matakus sebagai destinasi wisata memiliki potensi untuk meningkatkan permintaan akan energi terbarukan, yang bisa menarik minat wisatawan yang peduli dengan keberlanjutan lingkungan.

Ancaman (*Threats*):

- a) Fluktuasi Cuaca yang Mempengaruhi Pasokan Energi: Fluktuasi cuaca yang ekstrim atau musim kemarau panjang dapat mempengaruhi ketersediaan energi surya dan angin.
- b) Keterbatasan Akses ke Teknologi dan Bahan Baku: Daerah terpencil menghadapi tantangan

besar dalam hal pengadaan teknologi dan bahan baku untuk instalasi dan pemeliharaan sistem energi terbarukan.

- c) Ketidakpastian dalam Implementasi Sistem Baru: Penggunaan teknologi baru di daerah terpencil yang belum terbiasa dengan sistem energi terbarukan dapat menghadirkan risiko kegagalan sistem dan pengelolaan yang tidak optimal.

Tabel 5. Tabel Matriks IFE (*Internal Factor Evaluation*)

Faktor Internal	Bobot	Rating	Skor
Kekuatan (<i>Strength</i>)			
Potensi energi terbarukan yang tinggi	0.2	4	0.8
Biaya operasional yang lebih rendah	0.2	3	0.6
Pengurangan ketergantungan pada bahan bakar fosil	0.15	4	0.6
Pengelolaan dan pemeliharaan sistem yang efisien	0.15	2	0.3
Total Skor Kekuatan	0.7		2.3
Kelemahan (<i>Weaknesses</i>)			
Biaya investasi awal yang tinggi	0.1	2	0.2
Keterbatasan infrastruktur di daerah terpencil	0.1	1	0.1
Ketergantungan pada teknologi yang relatif baru	0.1	2	0.2
Total Skor Kekuatan	0.3		0.5
Total Skor	1.00		2.8

Tabel 6. Tabel Matriks EFE (*External Factor Evaluation*)

Faktor Eksternal	Bobot	Rating	Skor
Peluang (<i>Opportunities</i>)			
Meningkatnya kesadaran terhadap energi terbarukan	0.2	4	0.8
Dukungan pemerintah terhadap energi terbarukan	0.2	3	0.6
Pertumbuhan sektor wisata di Pulau Matakus	0.15	4	0.6
Total Skor Kekuatan	0.55		2.0

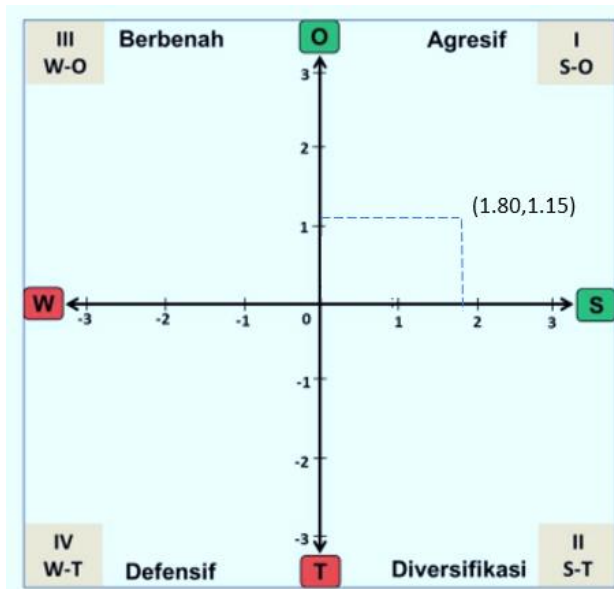
Faktor Eksternal	Bobot	Rating	Skor
Ancaman (<i>Threats</i>)			
Ketidakpastian iklim yang mempengaruhi pasokan energi	0.2	2	0.4
Keterbatasan akses terhadap teknologi dan bahan baku	0.15	1	0.15
Fluktuasi harga bahan bakar fosil	0.1	3	0.3
Total Skor Kekuatan	0.45		0.85
Total Skor	1.00		2.85

Berdasarkan perhitungan yang dilakukan menggunakan matriks IFE dan matriks EFE, hasil analisis internal dan eksternal di PT XYZ menunjukkan perbandingan sebagai berikut:

x = Selisih antara Total Skor Kekuatan (*strength*) dan Total Skor Kelemahan (*weakness*).

y = Selisih antara Total Skor Peluang (*opportunity*) dan Total Skor Ancaman (*threat*).

Dengan perhitungan, diperoleh $x = 2,3 - 0,5 = 1,15$ dan $y = 2,0 - 0,85 = 1,15$. Nilai x dan y tersebut kemudian diperlakukan sebagai titik koordinat yang dipetakan dalam diagram kartesius SWOT, seperti yang terlihat pada Gambar 3. Diagram Cartesius SWOT.



Gambar 3. Diagram Cartesius SWOT

Berdasarkan diagram SWOT yang menunjukkan hasil berada pada kuadran I (*Strengths & Opportunities*), strategi yang dapat diterapkan adalah strategi agresif. Strategi agresif ini digunakan ketika suatu organisasi atau sistem memiliki

kekuatan internal yang besar (*Strengths*) dan peluang eksternal yang menguntungkan (*Opportunities*).

Analisis Ekonomi Sistem

Dari hasil simulasi, analisis ekonomi menggunakan *Net Present Cost* (NPC) dan *Levelized Cost of Energy* (LCOE) menunjukkan bahwa sistem hibrida yang menggabungkan panel surya, turbin angin, genset diesel, dan baterai lebih ekonomis dalam jangka panjang meskipun memerlukan biaya investasi awal yang lebih tinggi. Sistem ini dapat mengurangi pengeluaran untuk bahan bakar dan mengurangi emisi CO₂ secara signifikan. LCOE untuk sistem hibrida adalah Rp. 4362/kWh, yang jauh lebih rendah dibandingkan dengan Rp. 10.990/kWh untuk sistem berbasis diesel saja. Dari segi manajerial, analisis ekonomi yang dilakukan menggunakan metode NPC dan LCOE menunjukkan bahwa meskipun biaya investasi awal untuk sistem hibrida lebih tinggi, biaya operasional jangka panjang jauh lebih rendah dibandingkan dengan sistem diesel. Dengan adanya pengurangan penggunaan bahan bakar, pengurangan biaya pemeliharaan (karena ketergantungan yang lebih rendah pada generator diesel), serta penurunan emisi CO₂, sistem hibrida ini menawarkan solusi lebih efisien dalam jangka panjang. NPC yang lebih rendah menunjukkan bahwa investasi dalam sistem hibrida dapat memberikan hasil yang lebih baik secara finansial dalam waktu yang lebih lama, meskipun memerlukan biaya awal yang lebih besar.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan Penerapan sistem energi hibrida yang menggabungkan panel surya, turbin angin, dan genset diesel di Guest House Pulau Matakus terbukti efektif meningkatkan ketahanan energi dan mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil. Selain menekan biaya operasional, sistem ini juga berkontribusi dalam mengurangi emisi karbon dan menjaga lingkungan.

Analisis SWOT menunjukkan bahwa potensi energi terbarukan yang melimpah dan dukungan dari pemerintah serta sektor wisata membuka peluang besar untuk mengembangkan sistem ini lebih jauh. Strategi yang disarankan fokus pada penguatan infrastruktur, kemitraan, dan edukasi masyarakat agar pemanfaatan energi terbarukan semakin optimal.

Rekomendasi utama meliputi peningkatan kapasitas panel surya dan turbin angin, pengembangan sistem penyimpanan energi, serta pelatihan sumber daya manusia untuk mengelola sistem dengan baik. Dengan langkah-langkah tersebut, Pulau Matakus berpotensi menjadi contoh

sukses penerapan energi terbarukan yang berkelanjutan, sekaligus mendorong pembangunan ekonomi dan pelestarian lingkungan di daerah terpencil.

Keberhasilan penerapan sistem energi hibrida ini juga menunjukkan pentingnya kolaborasi antara pemerintah, sektor swasta, dan masyarakat lokal. Dengan dukungan yang berkelanjutan dan komitmen bersama, inovasi energi terbarukan di wilayah terpencil seperti Pulau Matakus tidak hanya akan memperkuat kemandirian energi, tetapi juga membuka peluang baru bagi peningkatan kualitas hidup dan pertumbuhan ekonomi yang ramah lingkungan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah berkontribusi dalam terselesaikannya penelitian ini. Ucapan terima kasih khusus disampaikan kepada institusi dan rekan-rekan yang telah memberikan dukungan baik secara akademik maupun fasilitas selama pelaksanaan penelitian. Semoga hasil penelitian ini dapat memberikan manfaat dan menjadi kontribusi bagi pengembangan ilmu pengetahuan di bidang energi hibrida.

REFERENSI

- [1] Suharyati, dkk., *Indonesia Energy Outlook 2021*, Secretariate General The National Energy Council, 2021. ISSN 2527-3000.
- [2] BPPT, *Buku Outlook Energi Indonesia 2021, Perspektif Teknologi Energi Indonesia: Tenaga Surya untuk Penyediaan Energi Charging Station*, ISBN 978-602-1328-20-0, 2021.
- [3] Rehmani, A., & Akhter, P., "Techno-Economic Analysis of Hybrid Renewable Energy Systems for Rural Area Energization in Pakistan," *Proceedings of the 1st International Conference on Electrical, Computer and Energy Engineering (ECE)*, 2019, pp. 1-6. <https://doi.org/10.1109/ECE.2019.8921031>.
- [4] Natividad, L. E., & Benalcazar, P., "Hybrid Renewable Energy Systems for Sustainable Rural Development: Perspectives and Challenges in Energy Systems Modeling," *Energies*, vol. 16, no. 3, 1328, 2023. <https://doi.org/10.3390/en16031328>.
- [5] Alonso, J. B., Sandwell, P., & Nelson, J. (2021). The potential for solar-diesel hybrid mini-grids in refugee camps: A case study of Nyabiheke camp, Rwanda. arXiv. <https://arxiv.org/abs/2101.06576>
- [6] Awerbuch, Shimon. (2006). Portfolio-Based Electricity Generation Planning: Policy Implications For Renewables And Energy Security. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change. 11. 693-710. 10.1007/s11027-006-4754-4.
- [7] International Renewable Energy Agency (IRENA). (2020). Innovation Landscape for a Renewable-Powered Future: Solutions to Integrate Variable Renewables. IRENA. Diakses dari: <https://www.irena.org/publications/2020/Nov/Innovation-Landscape-for-a-Renewable-Powered-Future>
- [8] Ditto Adi Permana, dkk., "Studi Analisis Pembangkit Listrik Hybrid (Diesel-Angin) di Pulau Karimun Jawa," *Jurnal Mahasiswa TEUB*, 2014.
- [9] S. Bahramara, M. Parsa Moghaddam, & M.R. Haghifam, "Optimal Planning of Hybrid Renewable Energy Systems Using HOMER: A Review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016.
- [10] Olaogun, O., & Olubambi, P. A. (2025). Optimization of Hybrid Wind/PV Micro-grid for Telecom Masts: A Feasibility Study Using Energy Estimation Models and HOMER. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1492, 012011. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1492/1/012011>
- [11] Pradhan, S., Kumar, R., & Sethi, R. (2020). SWOT analysis of hybrid renewable energy systems for remote areas: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 121, 109725. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109725>
- [12] Mwizerwa, J. P., Usman, K., Rasaki, S. A., & Ndagijimana, P., "Preparation of Doped Spinel LiMn2O4 Cathode Using α -MnO2 for High-Performance Li-Ion Batteries," *Academia Materials Science*, vol. 1, no. 3, 2024. <https://doi.org/10.20935/AcadMatSci7333>.
- [13] Thango-Mabizela, B., & Obokoh, L., "Techno-Economic Analysis of Hybrid Renewable Energy Systems for Power Interruptions: A Systematic Review," *Engineering*, vol. 5, pp. 2108-2156, 2024. <https://doi.org/10.3390/eng5030112>.
- [14] Pexapark. (2020). LCOE - Understanding the Levelized Cost of Energy. <https://pexapark.com/blog/lcoe/>
- [15] Samodrawati, D., & Sukasri, D. (2024). Optimasi kapasitas PLTS hybrid Nusa Penida dengan menggunakan aplikasi HOMER. *Jurnal Teknologi*, 12(1), 15-26. <https://doi.org/10.31479/jtek.v12i1.350>
- [16] Maluku Post, "Rasio Elektrifikasi PLN di Territory Tanimbar dan MBD Hampir Mencapai 100 Persen," *Maluku Post*, 2022. Available: <https://malukupost.com/2022/09/rasio-elektrifikasi-pln-di-territory-tanimbar-dan-mbd-hampir-reach-100-persen/>.
- [17] Maesha Gusti Rianta ST., M.Sc., "Mengenal Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) dan Mekanisme Kegagalan pada Turbin Angin," *Indonesia RE*, June 2023. Available: <https://indonesiare.co.id/id/article/mengenal-pembangkit-listrik-tenaga-bayu-pltb-dan-mekanisme-kegagalan-pada-turbin-angin>.
- [18] Padmadewi, A. L., Pratiwi, E. W., & Halimi, B., "Solar PV-Wind-Genset Hybrid Power Generation System for A Commercial Building in Remote Area," in *Proceedings of the 8th International Conference on Instrumentation, Control, and*

Automation (ICA), Jakarta, Indonesia, 2023, pp.
166-170.

<https://doi.org/10.1109/ICA53853.2023.10273094>.

