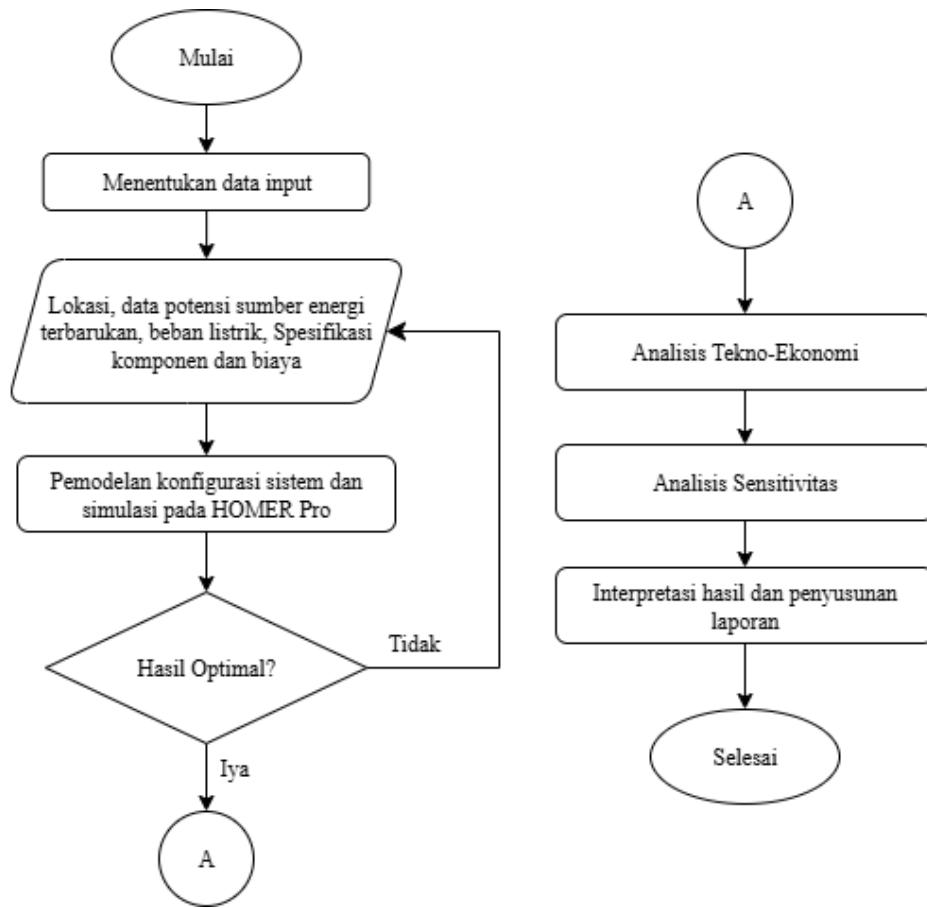


## BAB III

### METODELOGI PENELITIAN

#### 3.1 Prosedur Penelitian

Untuk mengetahui prosedur penelitian yang dilakukan penulis dapat dilihat pada **Gambar 3.1** sebagai berikut:



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

Dalam Penelitian ini, diperlukan beberapa prosedur penelitian yang harus dilakukan secara sistematis dan terstruktur seperti yang ditampilkan pada **Gambar 3.1**. Studi literatur secara komprehensif adalah langkah pertama yang perlu dilakukan untuk mengidentifikasi dan mengumpulkan data serta informasi relevan terkait *hybrid renewable energy system* (HRES), teknologi *floating solar photovoltaic* (FSPV), dan

*Wind Energy* di wilayah pantai. Data-data tersebut diambil dari jurnal nasional dan internasional yang diakses melalui berbagai sumber seperti *Elsevier*, *Science Direct*, MDPI, IEEE, situs web pemerintah dan publikasi jurnal internasional lainnya. Selain itu, data sumber energi terbarukan seperti radiasi matahari dan kecepatan angin di dapat dari NASA POWER (*Prediction of Worldwide Energy Resource*). Selanjutnya, penulis mempelajari dan mensintesis data untuk mengidentifikasi masalah dan menentukan tujuan penelitian serta mendapatkan informasi yang relevan dengan penelitian. Setelah data-data tersebut terkumpul dan relevan, langkah selanjutnya adalah melakukan perancangan desain sistem energi terbarukan menggunakan perangkat lunak HOMER Pro untuk melakukan simulasi dan merancang desain terbaik dan optimal dari sistem energi terbarukan melalui analisis teknno-ekonomi serta output energi yang dihasilkan.

### 3.2 Jenis Penelitian

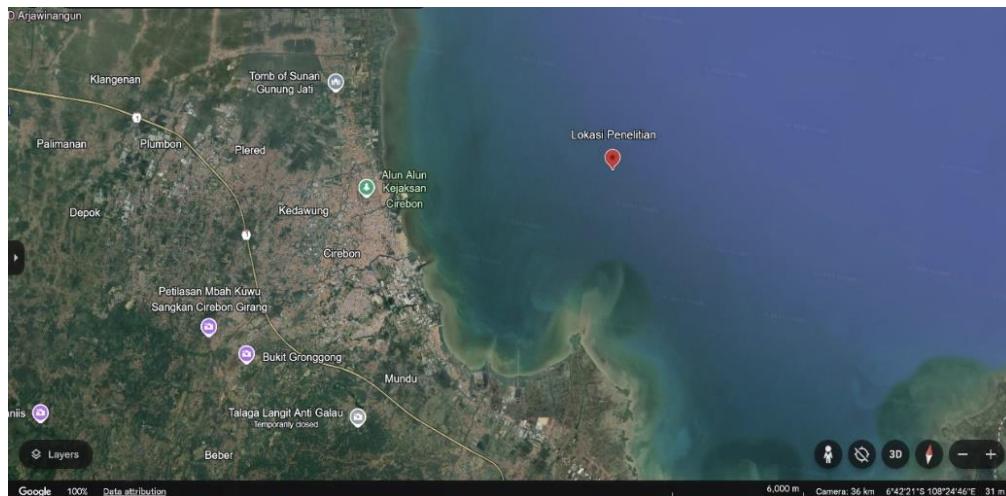
Penelitian ini merupakan jenis penelitian dengan pendekatan simulasi kuantitatif berbasis perangkat lunak untuk merancang dan menganalisis sistem energi terbarukan hibrida. Pendekatan ini dipilih karena memungkinkan evaluasi kinerja sistem dalam berbagai skenario tanpa memerlukan implementasi yang mahal. Simulasi kuantitatif memberikan data yang dapat diukur dan dianalisis secara statistik, sehingga memungkinkan perbandingan objektif antara konfigurasi sistem yang berbeda dan penilaian kelayakan teknis dan ekonomi.

Perangkat lunak yang digunakan pada penelitian ini yaitu HOMER Pro untuk memodelkan dan mengoptimalkan sistem energi terbarukan hibrida yang mengintegrasikan berbagai sumber energi terbarukan. Keunggulan utama terletak pada kemampuannya untuk melakukan analisis teknno-ekonomi secara komprehensif (IEA, 2024) dan kemampuan analisis sensitivitasnya memungkinkan peneliti untuk mengevaluasi dampak perubahan variabel input terhadap kelayakan teknis dan ekonomi sistem (T. Chingkheinganba, 2022). Perangkat lunak ini juga telah divalidasi secara luas dan digunakan dalam ribuan studi penelitian serta proyek di seluruh dunia,

membuktikan bahwa HOMER Pro sebagai alat yang terpercaya dan diakui secara global dalam bidang energi terbarukan (Nurunnabi et al., 2019b). Dengan demikian, pemilihan HOMER Pro merupakan pilihan yang tepat untuk penelitian ini karena keunggulannya dalam memodelkan, mengoptimalkan, dan menganalisis sistem energi terbarukan hibrida secara teknno-ekonomi, yang sejalan dengan tujuan penelitian untuk mengidentifikasi konfigurasi *H-flosow* yang paling optimal dan layak.

Pada penelitian ini menggunakan data sekunder yang didapatkan dari literatur ilmiah dan *website*, termasuk artikel jurnal, penelitian terdahulu, dan buku. Penelitian ini tidak melakukan validasi secara langsung dilapangan serta simulasi tidak mempertimbangkan faktor sosial dan lingkungan eksternal. Validasi terhadap data input yang digunakan seperti data indeks radiasi matahari dan kecepatan angin diperoleh dari NASA *Prediction of Worldwide Energy Resource* (POWER). NASA POWER menyediakan data meteorologi dan sumber energi terbarukan yang telah divalidasi secara global dan banyak digunakan dalam studi kelayakan sistem energi terbarukan (Roy et al., 2024) serta merupakan sumber yang teruji dan menyediakan data yang konsisten untuk analisis jangka panjang (Mojumder et al., 2024b).

### 3.3 Spesifikasi Area Studi



Gambar 3. 2 Map area studi Pantai Cirebon  
(Sumber: Diadaptasi dari Google Earth, 2025)

Pada **Gambar 3.2** menunjukkan tampilan map area studi Pantai Cirebon terletak pada koordinat  $6^{\circ}42'05.4"S$   $108^{\circ}38'16.4"E$ , area studi berbatasan dengan Kabupaten Cirebon dan Kota Cirebon. Pemilihan lokasi ini didasarkan karena Pantai Cirebon memiliki iklim tropis dengan suhu rata-rata  $28^{\circ}C$  dengan kelembapan sekitar  $\pm 48 - 93\%$ . Suhu di wilayah ini tertinggi dapat mencapai  $33^{\circ}C$  bahkan lebih, dan suhu terendah sekitar  $24^{\circ}C$  (Astjario & Harkins, 2011).

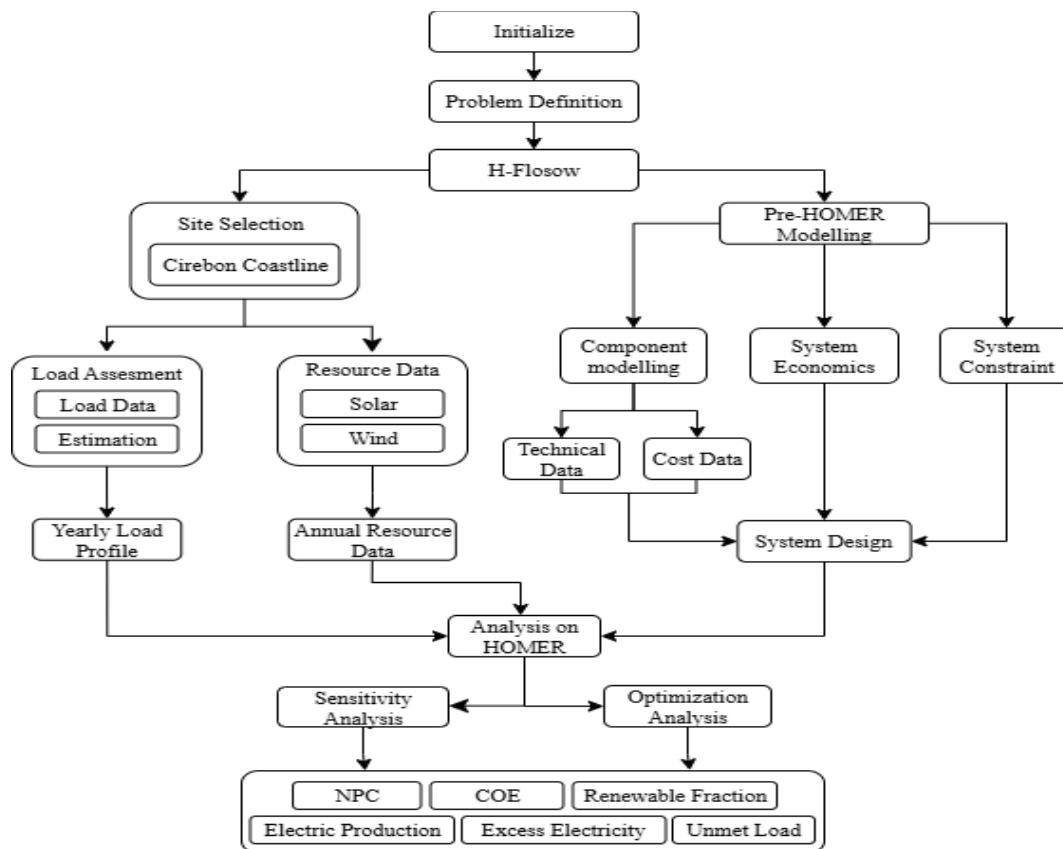
### 3.4 Teknik Pengolahan Data

Dalam penelitian ini pengolahan data dilakukan dengan menggunakan *software* HOMER Pro untuk melakukan analisis teknno-ekonomi dan analisis sensitivitas. Parameter output yang dianalisis pada analisis teknno-ekonomi meliputi: *Net Present Cost* (NPC), *Cost of Energy* (COE), *Excess Electricity*, *Renewable Fraction*, dan *Unmet Load* yang dapat memberikan gambaran komprehensif mengenai kelayakan teknis dan ekonomi sistem. Dan analisis sensitivitas menggunakan multi-parameter mencakup variasi intensitas radiasi matahari dan kecepatan angin secara bersamaan,

parameter ini didasarkan pada potensi lingkungan pesisir yang dinamis dan dampaknya terhadap kinerja teknis dan ekonomi sistem. Serta melakukan diskusi dengan dosen pembimbing terkait hasil analisis yang berkaitan dengan topik penelitian.

### 3.4.1 Pengolahan Data HOMER

Pengolahan data pada HOMER Pro yang dilakukan penulis dapat dilihat pada **Gambar 3.3:**

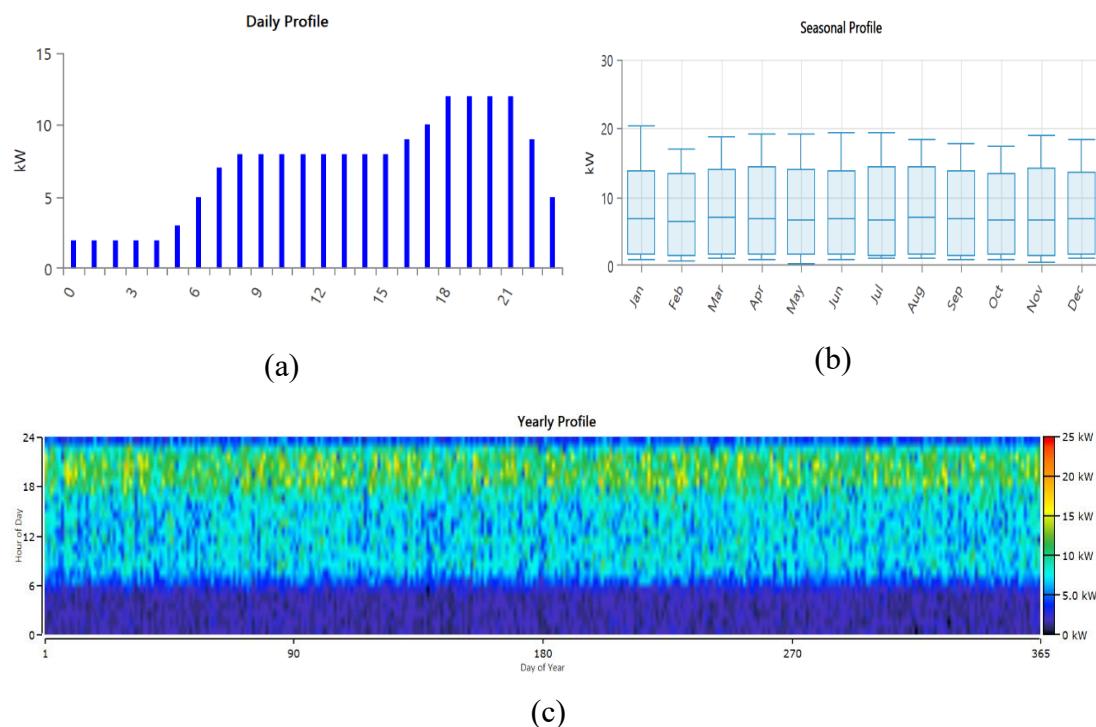


Gambar 3. 3 Diagram Alir Homer Pro

Dalam penelitian ini, perangkat keras yang digunakan yaitu laptop untuk memproses data, serta perangkat lunak yang digunakan meliputi *Microsoft Word*, *Microsoft Excel*, dan HOMER sebagai alat utama dalam pemodelan dan simulasi sistem *H-flosow*. Dalam menentukan karakteristik sistem yang optimal dapat dilakukan

dalam tiga tahap, yaitu menjalankan simulasi, optimasi, dan analisis sensitivitas. Pada proses simulasi, HOMER menghitung kinerja teknis dan biaya dari setiap konfigurasi sistem yang diusulkan. Kemudian proses optimasi, HOMER mengevaluasi berbagai kemungkinan kombinasi sumber daya untuk menghasilkan solusi optimal dengan biaya terendah. Dan terakhir proses analisis sensitivitas, HOMER melakukan analisis terhadap perubahan variabel seperti radiasi matahari dan kecepatan angin untuk memperkirakan bagaimana perubahan variabel tersebut dapat memengaruhi kelayakan dan kinerja sistem yang optimal. Diagram alir yang menggambarkan secara detail proses analisis pada HOMER Pro dapat dilihat pada **Gambar 3.3**.

### 3.4.2 Permintaan Beban Listrik Harian



Gambar 3. 4 Profil Beban Listrik (a) Daily Profile, (b) Seasonal Profile, (c) Yearly Profile

Kebutuhan beban yang dipergunakan pada lokasi penelitian diasumsikan untuk mensuplai rumah-rumah nelayan di sekitar lokasi yang di validasi oleh HOMER Pro.

Ridwan Septiyadi Ramlan, 2025

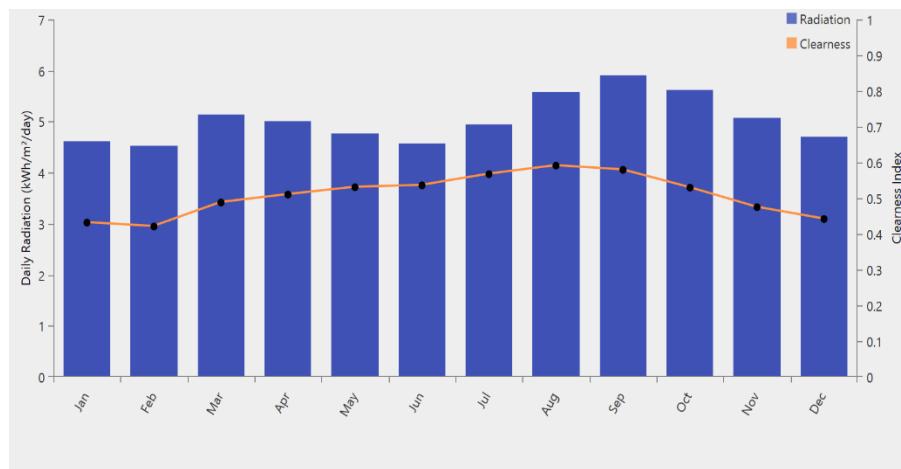
DESAIN DAN ANALISIS SISTEM ENERGI TERBARUKAN *HYBRID FLOATING SOLAR PHOTOVOLTAIC DAN WIND ENERGY DI WILAYAH PANTAI*

Universitas Pendidikan Indonesia | [repository.upi.edu](http://repository.upi.edu) | [perpustakaan.upi.edu](http://perpustakaan.upi.edu)

Desa Malahing wilayah pesisir pantai Kota Bontang dengan jumlah penduduk sebanyak 221 jiwa dan 55 kepala keluarga dengan daya listrik rumah 900 VA (Sakti et al., 2023). Dari analisis tersebut dapat disimpulkan bahwa jumlah konsumsi listrik rata-rata konsumsi 44,2 kWh per hari. Data tersebut dapat digunakan untuk memprediksi permintaan beban sistem. Penggunaan beban dalam 24 jam mengikuti pola variasi yang disediakan oleh software HOMER Pro dalam kategori komunitas.

Pada **Gambar 3.4** merupakan representasi data beban harian yang diterapkan pada lokasi penelitian. Pola penggunaan energi menunjukkan bahwa penggunaan energi cukup rendah dari jam 00.00 hingga 04.00 dan peningkatan yang paling signifikan terjadi pada jam 18.00 hingga 21.00 karena rentang waktu tersebut orang sedang berada di rumah dan kondisi malam hari sehingga menyebabkan lonjakan beban. Dapat disimpulkan bahwa pola penggunaan energi dipengaruhi kondisi dan jam tertentu.

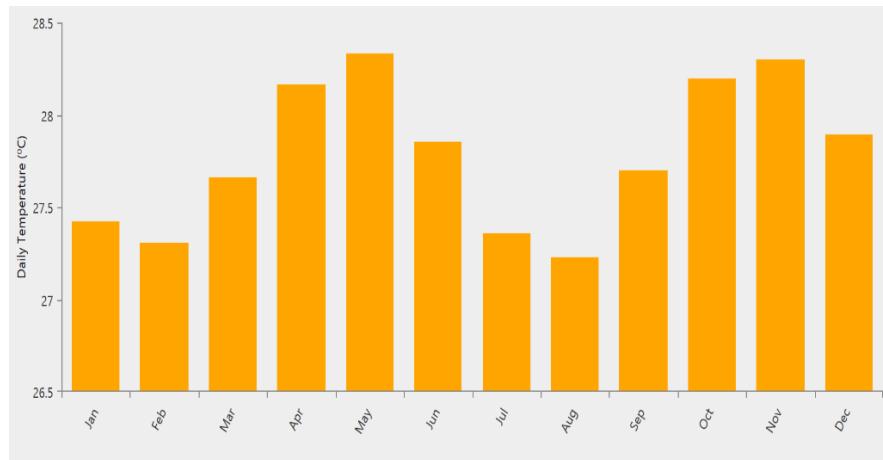
### 3.4.3 Data Indeks Radiasi Kejernihan dan Temperatur



Gambar 3. 5 Data Rata-rata Bulanan Indeks Radiasi dan Kejernihan

Indeks radiasi dan kejernihan harian dan temperatur merupakan salah satu indikator untuk mengetahui potensi energi surya. Data rata-rata bulanan indeks radiasi dan kejernihan harian dan temperatur di lokasi penelitian selama periode 22 tahun (2000-2022) yang diperoleh dari NASA POWER dapat dilihat pada **Gambar 3.5** dan

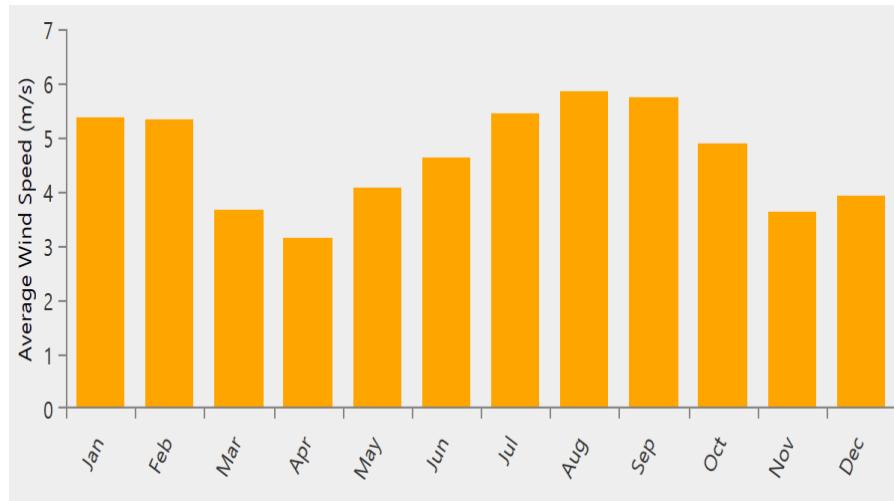
**Gambar 3.6** menghasilkan nilai rata-rata paparan radiasi matahari di lokasi penelitian sebesar 5.04 kWh/m<sup>2</sup>/hari. Dengan nilai tertinggi terdapat pada bulan September sebesar 5.90 kWh/m<sup>2</sup>/hari dan yang terendahnya terdapat pada bulan Februari sebesar 4.34 kWh/m<sup>2</sup>/hari (NASA POWER, 2024).



Gambar 3. 6 Data Rata-rata Bulanan Temperatur

Sedangkan untuk nilai rata-rata temperatur di lokasi penelitian yaitu 27.79 °C. Dengan nilai tertinggi pada bulan Mei sebesar 28.33 °C dan nilai terendah pada bulan Agustus sebesar 27.23 °C (NASA POWER, 2024). Dapat disimpulkan bahwa lokasi penelitian sangat berpotensi untuk diterapkan sumber energi surya.

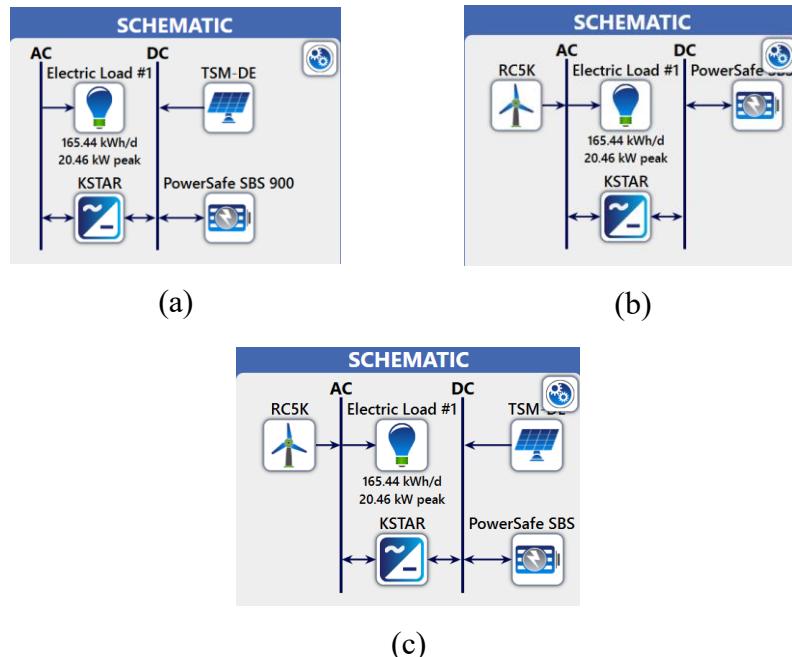
### 3.4.4 Data Kecepatan Angin



Gambar 3. 7 Data Kecepatan Angin

Data rata-rata bulanan kecepatan angin di lokasi penelitian dengan ketinggian 10 m diatas permukaan bumi periode bulan Januari tahun 2000 sampai Desember tahun 2022 yang diperoleh dari NASA POWER. Pada **Gambar 3.7** mununjukkan data kecepatan angin rata-rata bulanan selama 22 tahun pada lokasi penelitian menghasilkan nilai rata-rata kecepatan angin sebesar 4.64 m/s. Kecepatan angin pada bulan Agustus sebesar 5.85 m/s adalah yang tertinggi dan yang terendah terdapat pada bulan April sebesar 3.16 m/s (NASA POWER, 2024). Dengan data tersebut lokasi penelitian sangat berpotensi untuk diterapkan energi angin.

### 3.5 Skema Desain Konfigurasi Sistem



Gambar 3. 8 Desain Sistem (a) FSPV, (b) WT, (c) FSPV-WT

Dari data yang telah didapatkan, dilakukan pemodelan konfigurasi sistem yang akan diterapkan pada lokasi penelitian. Seperti yang terlihat pada **Gambar 3.8** terdapat 3 konfigurasi sistem yang dirancang pada *software* HOMER Pro. Dari ketiga konfigurasi sistem tersebut akan disimulasikan secara *off-grid* dengan menggunakan data beban dan spesifikasi komponen yang sama. Tetapi, terdapat perbedaan dari masing-masing konfigurasi sistem energi terbarukan yang digunakan. Desain pertama menggunakan PV-Baterai-Konverter, desain kedua menggunakan WT-Baterai-Konverter, dan desain ketiga yaitu kombinasi antara PV-WT-Baterai-Konverter.

#### 3.5.1 Panel Surya

Dalam penelitian ini, komponen PV yang digunakan yaitu Tallmax TSM-DE -460 WP berkapasitas 0,46 kW. Komponen ini menggunakan material *monocrystalline* dengan keluaran arus DC. Biaya investasi awal sekitar \$81,04 dan biaya operasional serta pemeliharaan sebesar 5% dari total investasi awal yaitu

sebesar \$4,05 (López et al., 2020). Masa operasional komponen PV ini bertahan hingga 25 tahun dengan *derating factor* sebesar 88% seperti yang dijelaskan pada

**Tabel 3.1.**

Tabel 3. 1 Spesifikasi Komponen PV Panel

Spesifikasi Teknis FSPV	
FSPV Panel	Nilai
Nama/model	Tall Max DE - 460 W
Tipe cell	Monocrystalline
Kapasitas terukur	460 w
Koefisien suhu	-0.34
Suhu operasi	43°C ± 2°C
Efisiensi	21%
Umur pakai	25 Tahun

### 3.5.2 Wind Turbine

*Wind turbine* yang digunakan pada penelitian ini yaitu Rexco RC-5K -A dengan bus AC. Seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 3.2** WT tersebut memiliki kapasitas sebesar 5 kW dengan ketinggian 10 meter (Abdelrahim et al., 2022). Biaya investasi awal untuk wind turbin tersebut sekitar \$2.051,73 serta biaya operasional dan pemeliharaan sebesar 5% dari biaya investasi awal yaitu sekitar \$100,94. Masa pakai wind turbin bertahan hingga 15 tahun.

Tabel 3. 2 Spesifikasi Komponen *Wind Turbine*

Spesifikasi Teknis WT	
Turbin angin	Nilai
Nama/model	RexCo RC-5K-A
Kapasitas terukur	5 kW
Diameter rotor	4,7 m
Tinggi hub	10 m

Kecepatan angin minimum	3,5 m/s
Kecepatan angin terukur	12 m/s
Umur pakai	15 tahun

### 3.5.3 Baterai

Pada penelitian ini komponen baterai yang digunakan yaitu Enersys PowerSafe SBS 900 dengan kapasitas maksimal sebesar 1009,85 Ah. Seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 3.3**. Biaya investasi awal baterai tersebut sebesar \$625,97 serta biaya operasional dan pemeliharaan 5% dari investasi awal sebesar \$31,20 dengan masa pakai hingga 15 tahun.

Tabel 3. 3 Spesifikasi Komponen Baterai

Spesifikasi Teknis Baterai	
Penyimpanan Baterai	Nilai
Nama/model	EnerSys PowerSafe SBS 900
Tegangan nominal	12 V
Kapasitas nominal	12,12 kWh
Efisiensi bolak-balik	97%
Kapasitas maksimum	1009,85 Ah
Umur pakai ( <i>throughput</i> )	15 tahun (12,937 kWh)
Rasio kapasitas	0,157421
Konstanta laju (1/jam)	4,617449
Tingkat pengisian minimum	30%

### 3.5.4 Konverter

Konverter yang digunakan pada penelitian ini adalah KSTAR BluE-20KT-M1 dengan kapasitas sebesar 20 kW dengan masa pakai hingga 20 tahun dan memiliki efisiensi *inverter* dan *rectifier* sebesar 98,6% dengan biaya investasi awal sebesar \$1.313,46 serta biaya operasional dan pemeliharaan sebesar 5% dari investasi awal sebesar \$65,67. **Tabel 3.4** menunjukkan komponen konverter yang direncanakan.

Tabel 3. 4 Spesifikasi Komponen Konverter

Spesifikasi Teknis Konverter	
Konverter	Nilai

Nama/model	KSTAR BluE-20KT-M1
Efisiensi	98,60%
Umur pakai	25 tahun
Kapasitas relatif	100%
Kapasitas terukur	20 kW

### 3.5.5 Faktor Ekonomi dan *Constraints*

Pada **Tabel 3.5** merupakan faktor ekonomi dan faktor *constraints* yang digunakan dalam penelitian ini.

**Tabel 3. 5 Faktor Ekonomi dan *Constraints***

Faktor Ekonomi dan <i>Constraint</i>				
Kategori	Parameter	Nilai	Satuan	
Ekonomi	Suku buka nominal	5.75	%	
	Tingkat inflasi yang diperkirakan	1.03	%	
	Umur proyek	25	tahun	
	Mata uang	US Dollar	\$	
<i>Constraints</i>	Fraksi terbarukan	100	%	
	Muat pada langkah waktu saat ini	10	%	
	Produksi tenaga surya	100	%	
	Produksi tenaga angin	50	%	

Faktor ekonomi meliputi nilai inflasi, *discount rate*, dan umur proyek penelitian. Nilai nominal *discount rate* di Indonesia sebesar 5,75% dan nilai inflasi sebesar 1,03% mengacu pada Bank Indonesia (BI, 2025). Nilai tersebut dapat berubah berdasarkan kondisi makro ekonomi, kekuatan finansial dan berbagai kebijakan lainnya. Untuk umur proyek penelitian menyesuaikan dari komponen yang memiliki masa pakai paling lama yaitu selama 25 tahun.

Sedangkan faktor *constraint* digunakan untuk membatasi sistem dan mengatur suatu kondisi yang harus dipenuhi oleh sistem. Dalam hal ini bahwa HOMER akan menghapus sistem yang melebihi batasan yang telah diatur oleh peneliti, sehingga

dalam hasil optimasi sistem tidak terdapat hasil yang melibih dari sistem yang telah diatur. Pada penelitian ini diatur nilai *renewable energy fraction* sebesar 100% dikarenakan sistem yang dirancang merupakan sistem *off-grid* yang dimana seluruh sistem menggunakan energi terbarukan. Untuk keluaran FSPV dimasukkan nilai sebesar 100% dan untuk keluaran WT sebesar 50%.

### 3.6 Asumsi Teknis dan Ekonomi

Dalam penelitian ini diperlukan perencanaan komponen sistem yang akan digunakan mencakup asumsi teknis dan ekonomi. Rancangan sistem ini mencakup berbagai komponen seperti panel surya, turbin angin, baterai, dan konverter yang didasarkan dari literatur ilmiah, spesifikasi pabrikan, dan kondisi ekonomi yang relevan. Hal ini diperlukan sebelum melakukan simulasi pada HOMER Pro untuk memastikan konsistensi dan objektivitas. Pada **Tabel 3.6** menunjukkan asumsi teknis dari komponen sistem yang digunakan. Panel surya yang digunakan memiliki kapasitas 460 WP dengan *deracting factor* sebesar 88% dan umur pakai 25 tahun. Turbin angin yang digunakan berkapasitas 5 kW dan umur pakai 15 tahun. Baterai yang digunakan memiliki kapasitas maksimal sebesar 1009,85 Ah dengan umur pakai 15 tahun. Dan terakhir konverter memiliki kapasitas 20 kW dengan umur pakai 25 tahun.

Tabel 3. 6 Asumsi Teknis Sistem yang Digunakan

Komponen	Kapasitas	Biaya	Biaya	Efisiensi	Umur	Ref
		Modal	O&M			
		(\$)	(\$)			
Panel Surya	460 WP	\$81.04/	\$4,05/4	21%	25 tahun	(Sunpal
(Tallmax		460WP	60WP			Energy
TSM-DE)						Co.,
						2025)

Turbin Angin	5kW	\$2,051.73/unit	\$100.94/unit	-	15 tahun	(Wuxi Rexco Technolo gy Co., 2025)
(RC-5K-A)						
Baterai (Enersys PowerSafe SBS 900)	1009.85 Ah	\$625.97/7/unit	\$31.20/unit	97%	15 tahun	(Enersys Co., 2025)
Konverter (KSTAR BluE-20KT-M1)	20 kW	\$1,313.46/46/unit	\$65.67/unit	98,60%	25 tahun	(Shenzhen KSTAR Science and Technolo gy Co., 2025)

Pada **Tabel 3.7** menunjukkan asumsi ekonomi dari komponen sistem yang digunakan meliputi modal awal, biaya operasional dan perawatan, nilai inflasi, dan *discount rate*. Panel surya yang digunakan memiliki biaya modal awal sebesar \$81.04/460WP dan biaya operasional dan perawatan sebesar \$4,05/460WP. Turbin angin yang digunakan memiliki biaya modal awal sebesar \$2,051.73/unit dan biaya operasional dan perawatan sebesar \$100.94/unit. Baterai yang digunakan memiliki biaya modal awal sebesar \$625.97/unit dan biaya operasional dan perawatan sebesar \$31.20/unit. Serta konverter memiliki biaya modal awal sebesar \$1,313.46/unit dan biaya operasional dan perawatan sebesar \$65.67/unit. Untuk nilai nominal *discount*

rate dan nilai inflasi pada setiap komponen mengacu pada Bank Indonesia dengan besaran discount rate sebesar 5,75% dan nilai inflasi sebesar 1,03% (BI, 2025).

Tabel 3. 7 Asumsi Ekonomi Sistem yang Digunakan

<b>Komponen</b>	<b>Kapasitas</b>	<b>Biaya</b>	<b>Biaya</b>	<b>Suku</b>	<b>Tingkat</b>	<b>Ref</b>
		<b>Modal</b>	<b>O&amp;M</b>	<b>Bunga</b>	<b>Inflasi</b>	
		<b>(\\$)</b>	<b>(\\$)</b>	<b>Nominal</b>		
Panel Surya (Tallmax TSM-DE)	460 WP	\$81.04/ 460WP	\$4,05/ 60WP			
Turbin Angin (RC-5K-A)	5kW	\$2,051. 73/unit	\$100.9 4/unit			
Baterai (Enersys PowerSafe SBS 900)	1009.85 Ah	\$625.9 7/unit	\$31.20/ unit	5,75%	1,03%	(BI, 2025)
Konverter (KSTAR BluE- 20KT-M1)	20 kW	\$1,313. 46/unit	\$65.67/ unit			