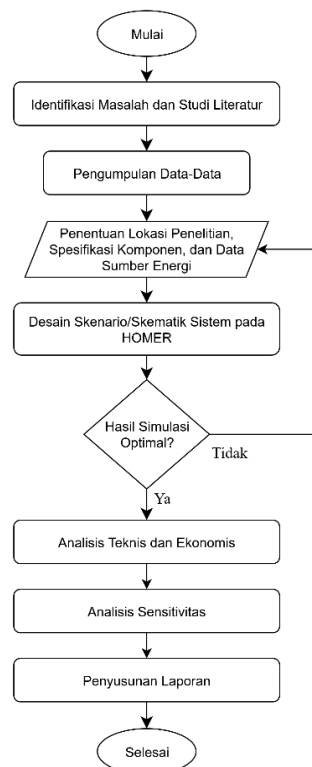


BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Prosedur Penelitian

Prosedur dari penelitian ini direpresentasikan dalam sebuah diagram alir atau *flowchart* yang ditunjukkan pada **Gambar 3.1**.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

Dalam penelitian ini terdapat beberapa prosedur yang dilakukan secara terstruktur dan sistematis dalam upaya untuk tercapainya tujuan penelitian. Langkah awal penelitian dimulai dengan mengidentifikasi permasalahan yang akan diteliti serta melakukan studi literatur dari penelitian sebelumnya agar diperoleh landasan teori yang kuat dan memiliki dasar ilmiah. Tahapan selanjutnya adalah mengumpulkan data serta informasi yang dibutuhkan dalam penelitian mengenai *floating solar photovoltaic* dan *wave energy converter* yang disimulasikan dengan *hydrokinetic*. Data dan informasi tersebut diperoleh dari publikasi ilmiah yang diakses melalui *database*, seperti *ScienceDirect*, *IEEE*, *MDPI*, dan *Google Scholar*.

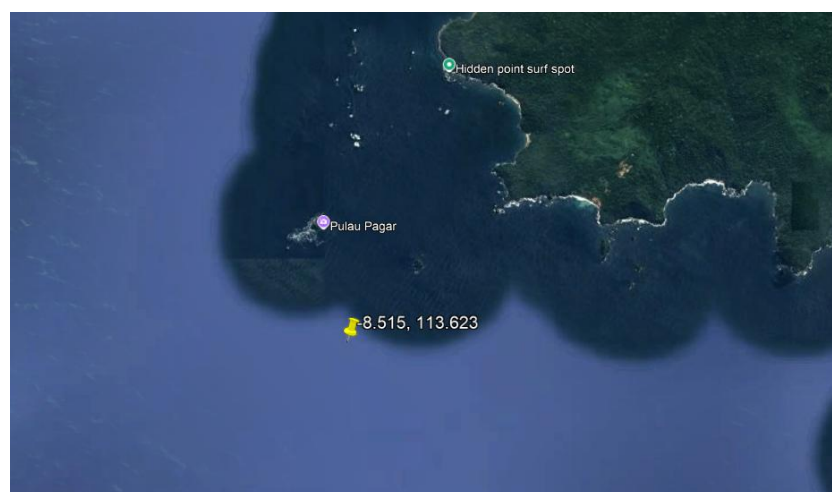
Adapun data sumber energi terbarukan dari iradiasi matahari serta tinggi dan periode gelombang laut didapatkan dari NASA POWER DAV dan Copernicus Marine Service (CMEMS). Data sumber energi terbarukan tersebut diambil berdasarkan lokasi penelitian yang ditentukan. Setelah data dan informasi terkumpul, tahapan selanjutnya adalah perancangan skematik sistem pembangkitan HFPV-WV berskala kecil menggunakan *software* HOMER. Nantinya, data yang didapatkan berdasarkan setiap lokasi penelitian akan menjadi acuan untuk mendapatkan konfigurasi sistem yang optimal dari segi teknis maupun ekonomi.

3.2 Lokasi Penelitian

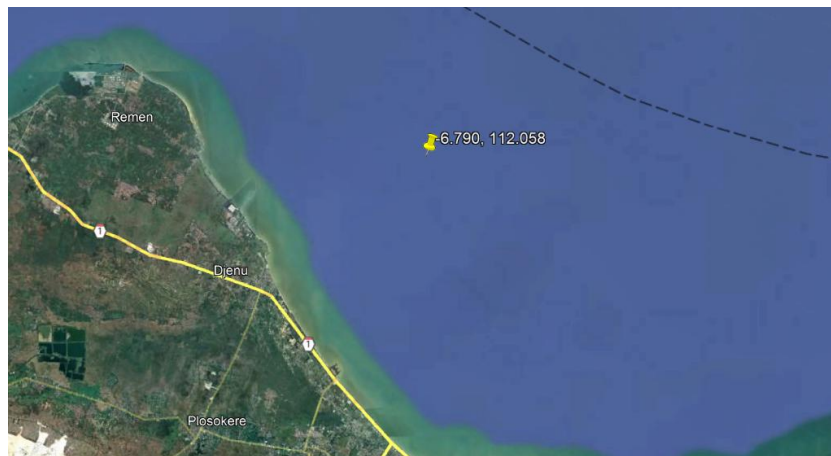
Sebagai salah satu negara yang terletak pada garis khatulistiwa, Indonesia memiliki potensi yang baik terhadap penggunaan energi surya. **Tabel 3.1** dan **Gambar 3.2** menunjukkan peta dan koordinat geografis dari empat lokasi yang ditentukan dalam penelitian ini.

Tabel 3.1 Koordinat Geografis Lokasi Penelitian

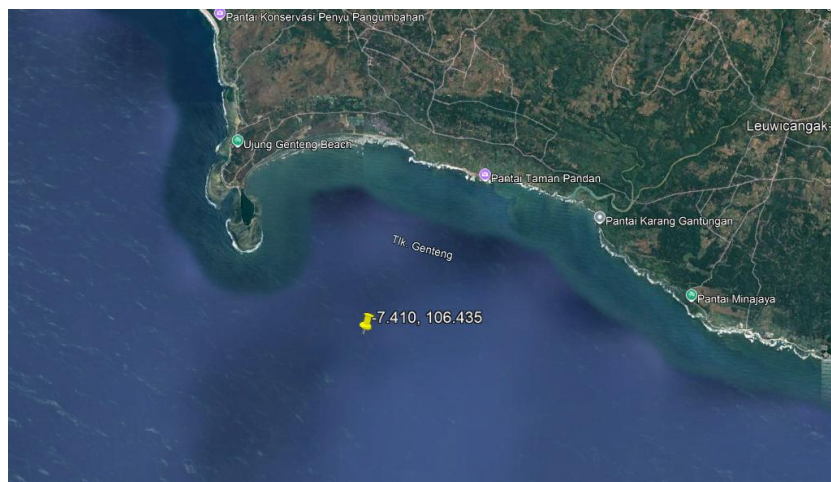
Provinsi	Wilayah Pantai	Lintang (°N)	Garis Bujur (°E)
Jawa Timur	Jember	-8,515	113,623
Jawa Timur	Tuban	-6,790	112,058
Jawa Barat	Sukabumi	-7,410	106,435
Jawa Barat	Indramayu	-6,275	108,407



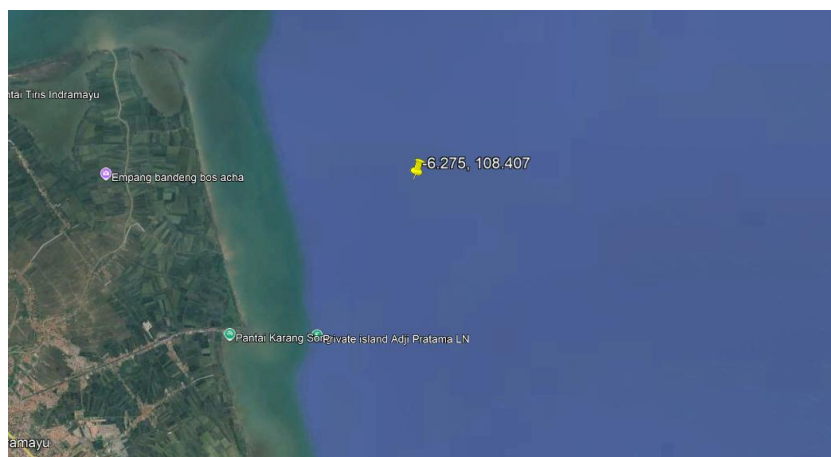
(a)



(b)



(c)



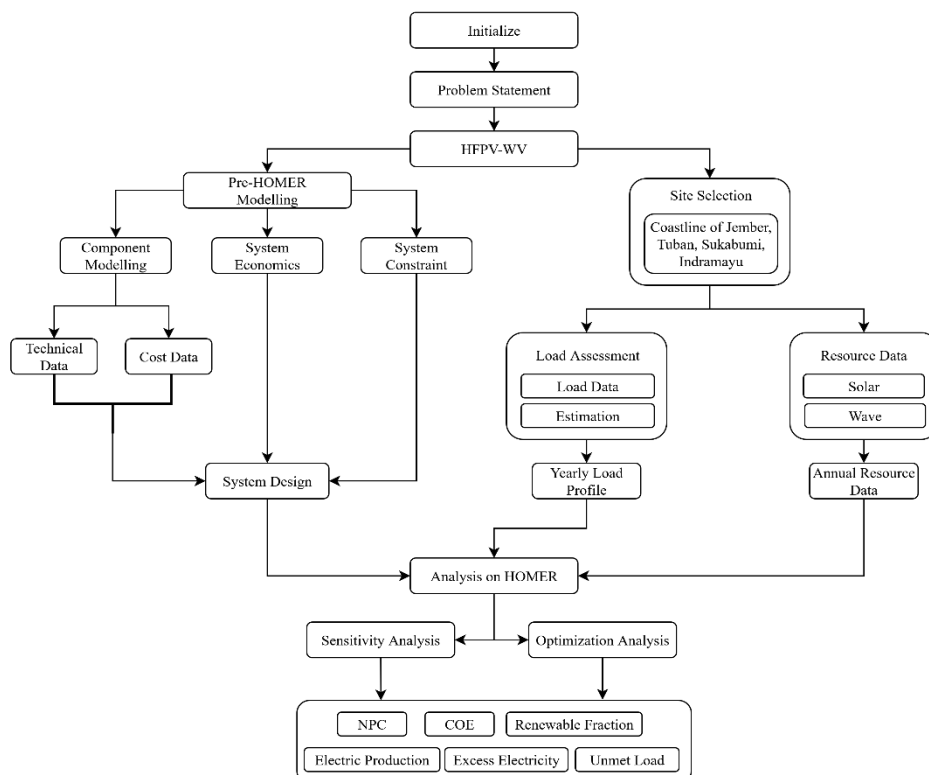
(d)

Gambar 3.2 Peta Lokasi Penelitian (a) Wilayah Pantai Jember, (b) Wilayah Pantai Tuban, (c) Wilayah Pantai Sukabumi, dan (d) Wilayah Pantai Indramayu
(Sumber: Diambil dari Google Earth, 2025)

Pemilihan empat lokasi tersebut didasarkan pada potensi sumber daya energi surya yang dimiliki dari setiap lokasi. Adapun perbedaan kondisi geografis penelitian terutama perbedaan posisi antara pantai utara dan pantai selatan Pulau Jawa dapat menjadi sebuah perbandingan terhadap sumber energi gelombang laut.

3.3 Metode Pengolahan Data

Dalam penelitian ini, perangkat lunak HOMER berperan penting dalam proses pemodelan dan simulasi dari sistem HFPV-WV. Hal tersebut karena HOMER mampu untuk menghitung kinerja teknis maupun biaya dari setiap konfigurasi yang disimulasikan dalam proses optimasi, sehingga didapatkan konfigurasi sistem yang paling optimal. Pada **Gambar 3.3** digambarkan proses analisis pada *software* HOMER. Proses analisis sensitivitas juga dilakukan menggunakan *software* HOMER untuk melihat pengaruh perubahan variabel sumber energi terbarukan terhadap variabel yang menjadi parameter kelayakan secara teknis dan ekonomi. Setiap proses dilakukan agar didapatkan konfigurasi sistem yang paling optimal.

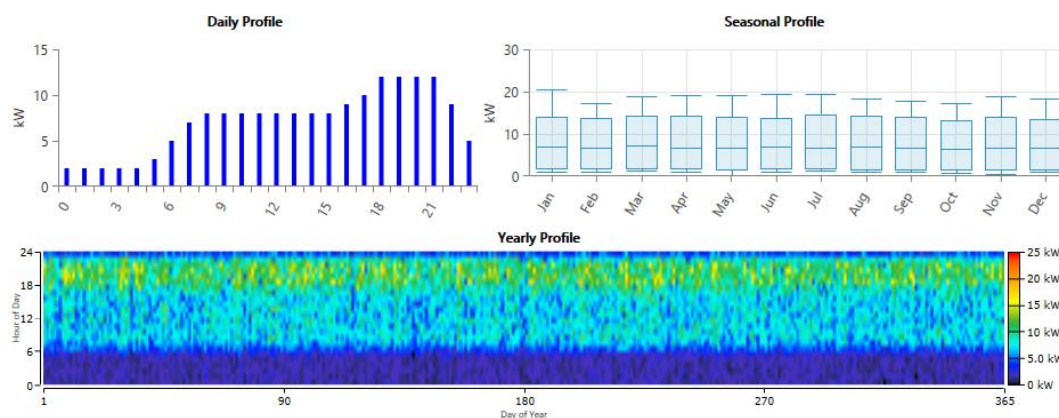


Gambar 3.3 Diagram Alir Analisis HOMER

3.4 Pengumpulan Data

3.4.1 Data Beban Listrik Harian

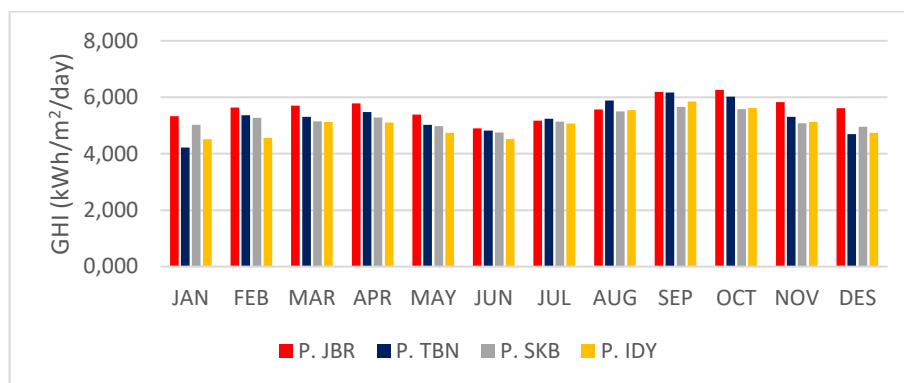
Pada penelitian ini, beban listrik harian yang digunakan merupakan penggunaan beban 24 jam dalam kategori komunitas (*community*) yang tersedia pada *software* HOMER. Kebutuhan beban tersebut diasumsikan untuk menyuplai kebutuhan listrik rumah-rumah nelayan di sekitar lokasi dengan rata-rata konsumsi listrik sebesar 165 kWh per hari. Adapun pada **Gambar 3.4** memperlihatkan beban harian yang digunakan pada setiap lokasi penelitian dengan rincian kondisi beban terendah di jam 00.00 hingga 04.00 dan kondisi beban tertinggi di jam 18.00 hingga 21.00 sehingga pola penggunaan energi dipengaruhi pada waktu dan kondisi tertentu.



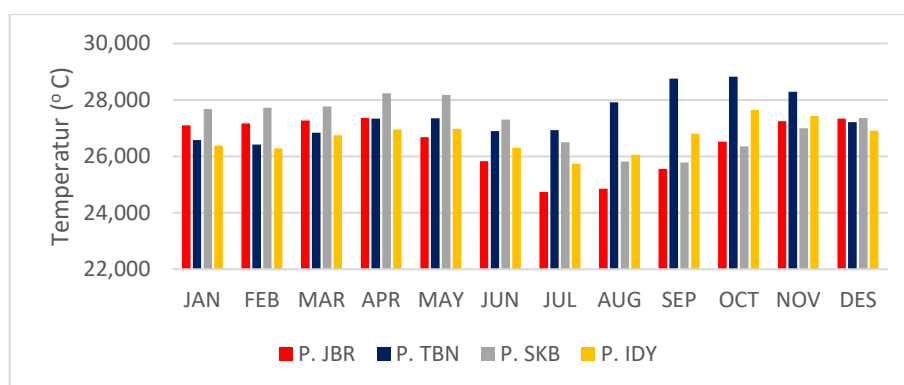
Gambar 3.4 Profil Beban Listrik

3.4.2 Potensi Energi Surya

Data rata-rata bulanan *global horizontal irradiance* (GHI) dan temperatur dari empat lokasi penelitian diperlukan sebagai indikator potensi energi surya. Data tersebut diperoleh melalui *database* NASA POWER DAV selama periode 5 tahun (2018 – 2022) dari empat lokasi penelitian sebagaimana ditunjukkan pada **Gambar 3.5** dan **Gambar 3.6**.



Gambar 3.5 Data Rata-Rata Bulanan GHI di Lokasi Penelitian



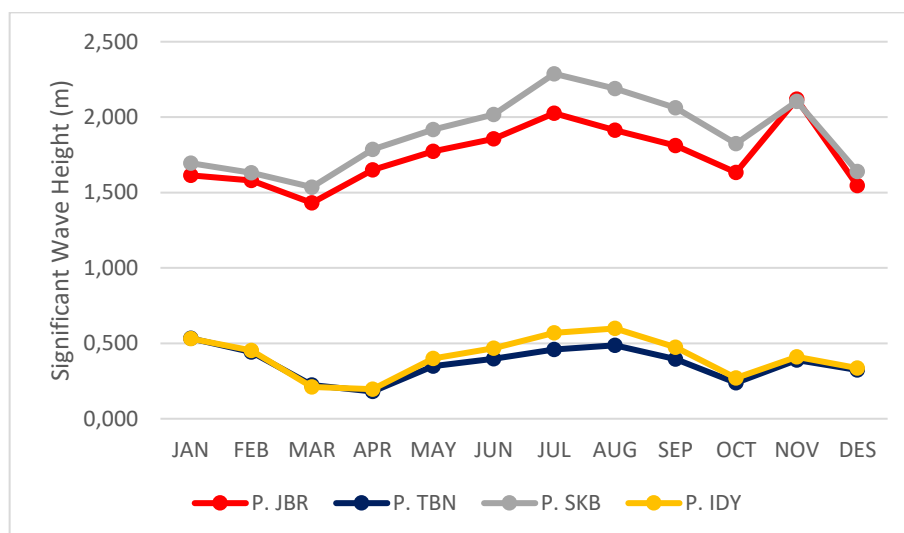
Gambar 3.6 Data Rata-Rata Bulanan Temperatur di Lokasi Penelitian

Data rata-rata tahunan GHI untuk Pantai Jember, Pantai Tuban, Pantai Sukabumi, dan Pantai Indramayu masing-masing sebesar 5,615; 5,292; 5,198; dan 5,046 kWh/m²/day. Sedangkan untuk data rata-rata tahunan temperatur untuk empat lokasi penelitian masing-masing sebesar 26,462; 27,448; 27,136; dan 26,684. Adapun nilai rata-rata tertinggi GHI terdapat di Pantai Jember, sedangkan nilai rata-rata temperatur tertinggi di Pantai Tuban (NASA POWER, 2025).

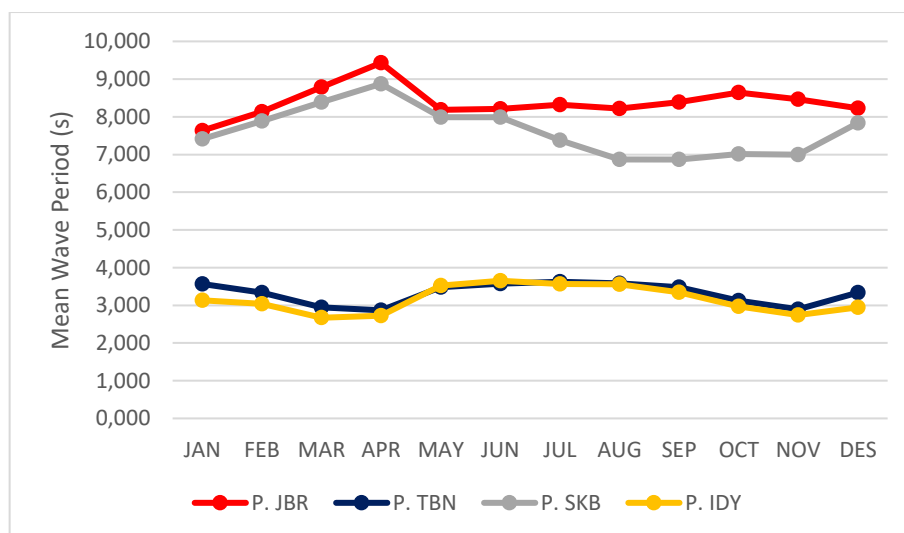
3.4.3 Potensi Energi Gelombang Laut

Data energi gelombang laut yang digunakan pada penelitian adalah data *significant wave height* (tinggi gelombang signifikan) dan *mean wave period* (periode gelombang rata-rata). Pada *software* HOMER, data yang dimasukkan berupa *wave speed* (kecepatan gelombang) karena tidak adanya komponen *wave energy converter* sehingga digunakan komponen *hydrokinetic* pada simulasi HOMER. Data tersebut didapatkan dari hasil perhitungan antara data *significant wave height* dan data *mean wave period* yang diperoleh melalui *database*

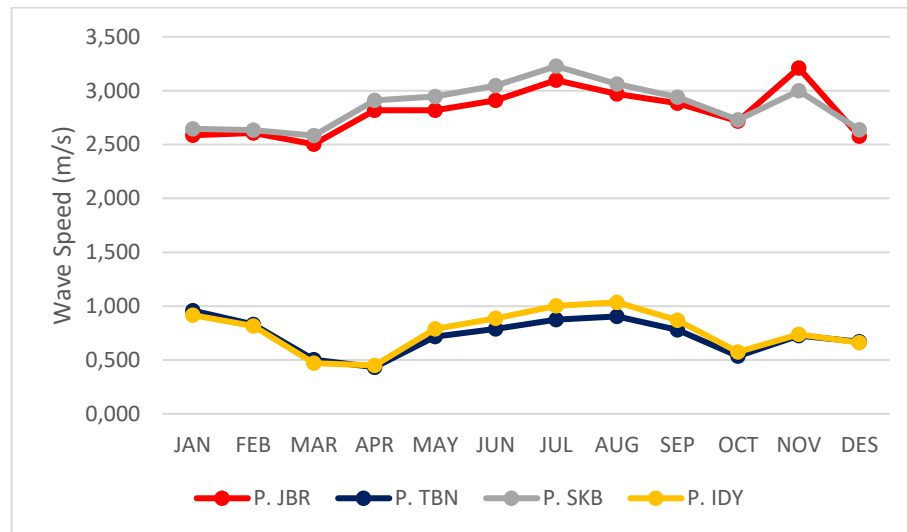
Copernicus Marine Service (CMEMS) selama periode 5 tahun (2018 – 2022) dari empat lokasi penelitian sebagaimana ditunjukkan pada **Gambar 3.7** dan **Gambar 3.8**, sekaligus **Gambar 3.9** yang merepresentasikan hasil perhitungan rata-rata bulanan untuk data *wave speed*.



Gambar 3.7 Data *Significant Wave Height* di Lokasi Penelitian



Gambar 3.8 Data *Mean Wave Period* di Lokasi Penelitian



Gambar 3.9 Data *Wave Speed* sebagai *resource* HOMER

Data *wave speed* (kecepatan gelombang) yang diperlukan didapatkan melalui beberapa perhitungan (Kangaji et al., 2025; Sinnadurai et al., 2023). Dalam konteks simulasi ini, data *significant wave height* dan *mean wave period* dipandang cukup representatif untuk menggambarkan kondisi gelombang laut yang sesungguhnya. Kedua parameter tersebut secara luas digunakan dalam kajian oseanografi dan rekayasa kelautan sebagai dasar perhitungan kecepatan gelombang, sehingga hasil estimasi *wave speed* dapat dianggap akurat serta dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah. Pada rumus [3.1] merupakan perhitungan daya gelombang laut (P_w), dengan densitas air laut ($\rho = 1025 \text{ kg/m}^3$), percepatan gravitasi ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$), tinggi gelombang signifikan (H_s), dan periode gelombang rata-rata (T).

$$P_w = \frac{\rho \cdot g^2}{64\pi} H_s^2 \cdot T \quad [3.1]$$

Setelah didapatkan daya gelombang laut (P_w), selanjutnya dilakukan perhitungan daya *wave energy converter* (P_{wec}) menggunakan rumus [3.2]. Adapun diameter tangkap alat yang diasumsikan dengan diameter rotor ($L = 1 \text{ m}$) dan efisiensi *wave energy converter* ($\eta_{wec} = 25\%$) dibutuhkan pada perhitungan ini.

$$P_{wec} = P_w \cdot L \cdot \eta_{wec} \quad [3.2]$$

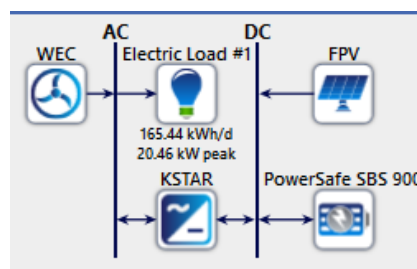
Karena *hydrokinetic* akan digunakan sebagai simulasi *wave energy converter*, maka nilai daya *hydrokinetic* sama dengan daya *wave energy converter*. Dengan menggunakan rumus [3.3] didapatkan nilai kecepatan gelombang (v), di mana dibutuhkan luas penampang ($A = 0,785 \text{ m}^2$), densitas air laut ($\rho = 1025 \text{ kg/m}^3$), dan efisiensi *hydrokinetic* ($\eta_{hy} = 25\%$).

$$v = \left(\frac{2 \cdot P_{wec}}{\rho \cdot A \cdot \eta_{hy}} \right)^{\frac{1}{3}} \quad [3.3]$$

Berdasarkan data yang dikumpulkan pada CMEMS, nilai rata-rata tahunan *significant wave height* untuk Pantai Jember, Pantai Tuban, Pantai Sukabumi, dan Pantai Indramayu masing-masing sebesar 1,746; 0,368; 1,891; dan 0,410 m. Sedangkan untuk rata-rata tahunan *mean wave period* untuk empat lokasi penelitian masing-masing sebesar 8,387; 3,318; 7,624; dan 3,155 s (CMEMS, 2025). Adapun data hasil perhitungan *wave speed* yang diperlukan sebagai *resource hydrokinetic*, masing-masing lokasi penelitian memiliki nilai sebesar 2,81; 0,73; 2,87; dan 0,77 m/s.

3.5 Konfigurasi Sistem Pembangkitan

Setelah mendapatkan data-data yang dibutuhkan untuk simulasi, dilakukan pemodelan konfigurasi sistem yang akan diterapkan di empat lokasi penelitian. **Gambar 3.10** menunjukkan konfigurasi sistem yang akan disimulasikan, sistem tersebut merupakan sistem pembangkitan berbasis *off-grid* yang tersusun dari PV, WEC (disimulasikan dengan *hydrokinetic*), baterai, dan konverter. Sumber daya utama sistem pembangkitan ini adalah pembangkit listrik tenaga surya terapan dan pembangkit listrik tenaga gelombang laut yang disimulasikan dengan *hydrokinetic*. Adapun penggunaan baterai sebagai penyimpanan energi utama.



Gambar 3.10 Konfigurasi Sistem HFPV-WV pada HOMER

3.5.1 Panel Surya

Komponen panel surya yang digunakan dalam penelitian ini adalah Canadian Solar TOPBiHiKu7 berkapasitas 0,72 kW bermaterial *monocrystalline* dengan *output* berupa listrik DC. Biaya investasi awal sebesar \$320 dengan biaya pemeliharaan sebesar \$16 yang merupakan 5% dari biaya investasi awal. **Tabel 3.2** menunjukkan spesifikasi teknis dari panel surya tersebut.

Tabel 3.2 Spesifikasi Teknis Panel Surya

Panel Surya	Nilai
Nama/Model	Canadian Solar TOPBiHiKu7 690-720 W
Jenis	Bifacial N-type
Kapasitas	720 W
Koefisien Temperatur	-29 °C
<i>Operating Temperature</i>	41 °C
Efisiensi	23,2%
Faktor Derasi	88%
<i>Lifetime</i>	25 tahun

3.5.2 Wave Energy Converter

Komponen *wave energy converter* atau konverter energi gelombang laut berskala kecil pada penelitian ini disimulasikan menggunakan *hydrokinetic*, yaitu SMART Monofloat yang memiliki kapasitas 5 kW dengan *output* listrik AC. Biaya investasi awal adalah \$26.000 dengan biaya pemeliharaan sebesar \$1.300 yang merupakan 5% dari biaya investasi awal. **Tabel 3.3** menunjukkan spesifikasi teknis dari *hydrokinetic* (Kasman, 2019) yang digunakan sebagai komponen yang menyimulasikan *wave energy converter* berskala kecil.

Tabel 3.3 Spesifikasi Teknis *Hydrokinetic*

<i>Hydrokinetic</i>	Nilai
Nama/Model	SMART Monofloat 5kW
Kapasitas	5 kW
Diameter Rotor	1 m
<i>Cut-in</i>	0,7 m/s
<i>Max. Output at Speed</i>	2,8 m/s
<i>Lifetime</i>	20 tahun

3.5.3 Baterai

Pada penelitian ini, komponen baterai yang digunakan adalah EnerSys PowerSafe SBS 900 dengan kapasitas 12,12 kWh. Biaya modal dan penggantian unit dari satu komponen baterai adalah \$625,97 dengan biaya pemeliharaan 5% dari biaya modal yang berarti sebesar \$31,2. **Tabel 3.4** menunjukkan spesifikasi teknis dari komponen baterai tersebut.

Tabel 3.4 Spesifikasi Teknis Baterai

Baterai	Nilai
Nama/Model	EnerSys PowerSafe SBS 900
Tegangan Nominal	12 V
Nominal <i>Capacity</i>	12,12 kWh
Efisiensi	97%
Kapasitas Maksimum	1.009,85 Ah
<i>Lifetime (Throughput)</i>	15 tahun (12.937,10 kWh)

3.5.4 Konverter

Konverter yang digunakan pada penelitian ini adalah KSTAR BluE 20KT-M1 dengan kapasitas 20 kW yang memiliki efisiensi *inverter* dan *rectifier* sebesar 98,6%. Biaya investasi awal dari konverter sebesar \$1.417 dengan biaya pemeliharaan \$70,85 yang merupakan 5% biaya investasi awal. **Tabel 3.5** menunjukkan spesifikasi teknis dari konverter tersebut.

Tabel 3.5 Spesifikasi Teknis Konverter

Konverter	Nilai
Nama/Model	KSTAR BluE 20KT-M1
Efisiensi	98,60%
<i>Lifespan</i>	25 tahun
<i>Relative Capacity</i>	100%
Kapasitas	20 kW

3.5.5 Faktor *Economics* dan *Constraints*

Pada **Tabel 3.6** ditunjukkan factor *economics* (ekonomi) dan *constraints* (batasan sistem) yang diatur pada HOMER untuk simulasi sistem HFPV-WV ini.

Tabel 3.6 Faktor *Economics* dan *Constraints*

Kategori	Parameter	Nilai
<i>Economics</i>	<i>Nominal discount rate</i>	5,75%

	<i>Expected inflation rate</i>	1,57%
	<i>Project lifetime</i>	25 tahun
	Mata Uang	US Dollar (US\$)
	<i>Renewable fraction</i>	100%
Constraints	<i>Load in current time step</i>	10%

Berdasarkan tabel tersebut, faktor *economics* meliputi *nominal discount rate*, *inflation rate* (nilai inflasi), dan *project lifetime* (umur proyek). Nilai *nominal discount rate* sebesar 5,75% dan nilai *inflation rate* sebesar 1,57% berdasarkan Bank Indonesia (BI, 2025). Untuk *project lifetime* atau umur proyek adalah 25 tahun karena mengikuti umur kerja komponen paling lama pada sistem. Adapun faktor *constraints* berupa *renewable fraction* sebesar 100% yang menandakan bahwa sistem ini berbasis *off-grid*.