

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Penelitian

Pemanfaatan energi fosil seperti batubara masih mendominasi sebagai sumber pembangkitan listrik di tingkat global termasuk di Indonesia, yang berdampak signifikan terhadap peningkatan emisi karbon dan degradasi lingkungan (Manolache et al., 2025). Ketergantungan terhadap bahan bakar fosil menyebabkan degradasi lingkungan serta tidak berkelanjutan dari sisi pasokan energi yang mendorong pencarian solusi alternatif berupa teknologi energi terbarukan (Vo et al., 2021). Teknologi *floating solar photovoltaic* (FPV) adalah salah satu inovasi penting yang muncul untuk mengatasi keterbatasan lahan dalam sistem fotovoltaiik darat (Solomin et al., 2021). Solusi ini memungkinkan instalasi sistem tenaga surya di permukaan air seperti danau, kolam, dan laut, memanfaatkan area perairan tanpa mengganggu aktivitas darat, sekaligus memanfaatkan air laut sebagai pendingin alami untuk meningkatkan efisiensi pada panel surya (Lee et al., 2020; Naiborhu et al., 2024). Berdasarkan hasil studi oleh Cazzaniga et al. (2018) diperkirakan bahwa efisiensi energi yang dihasilkan oleh *floating solar photovoltaic* (FPV) lebih tinggi dibanding sistem darat karena modul panel surya mendapatkan sistem pendinginan alami dari permukaan air.

Di Indonesia, *floating solar photovoltaic* (FPV) sudah mulai diterapkan melalui proyek PLTS Terapung Cirata di Waduk Cirata dengan kapasitas 192 MWp dan menjadikannya proyek FPV terbesar di Asia Tenggara (Satria et al., 2024). Namun, pengaplikasian FPV di wilayah laut atau pantai masih sangat terbatas dan belum masuk tahap komersialisasi meskipun kondisi laut Indonesia sangat mendukung dari sisi paparan sinar matahari yang tinggi dan karakteristik ombak yang relatif tenang, ditandai dengan rata-rata tinggi gelombang yang tidak lebih dari 4 meter dan kecepatan angin laut kurang dari 15 m/s (Silalahi & Blakers, 2023). Berdasarkan hasil penelitian oleh Esparza et al. (2024), dari segi ekonomi penerapan FPV di Indonesia memiliki nilai LCOE (*Levelized Cost of Energy*) kurang dari \$0.1/kWh yang menandakan potensi penerapan FPV secara ekonomi.

Hal tersebut penting diketahui sebagai dasar pertimbangan untuk perancangan sistem FPV yang efisien dan aman di wilayah pantai Pulau Jawa.

Namun demikian, salah satu kekurangan dari sistem FPV adalah ketergantungannya pada iradiasi matahari, yang menyebabkan variasi *output* daya yang cukup signifikan sehingga tidak dapat diprediksi (Madeško et al., 2024). Untuk mengatasi hal ini, penggabungan teknologi FPV dengan pembangkit listrik berbasis energi gelombang laut (*wave energy*) maupun energi angin (*wind speed*) mulai banyak diteliti sebagai alternatif untuk menstabilkan pasokan energi (Jariwala et al., 2024; López et al., 2020). Oleh karena itu, sistem pembangkitan *hybrid* seperti ini mampu meningkatkan kapasitas pembangkitan listrik secara keseluruhan dan sistem pembangkitan dapat beroperasi di siang hari maupun malam hari (Cazzaniga et al., 2019).

Berdasarkan penelitian sebelumnya, sistem pembangkitan *hybrid* juga mengurangi kebutuhan akan sistem penyimpanan energi seperti baterai atau PHS (*pumped hydro storage*) karena pasokan daya bisa berkelanjutan antara siang dan malam hari (Nuri et al., 2024). Adapun penelitian oleh Waskito et al. (2023) yang menguji kelayakan secara teknis dan ekonomi dari penerapan *wave energy converter* di wilayah Indonesia didapatkan nilai LCOE sekitar \$91/MWh untuk WEC dengan kapasitas 130 kW dengan biaya konstruksi \$2.000.000. Studi lain di daerah Cidaun, Jawa Barat dapat memproduksi listrik hingga 119 GWh dan nilai LCOE sebesar \$25,13/kWh (Triasdian et al., 2019). Hal tersebut menyatakan penerapan teknologi *hybrid* antara FPV dan *wave energy* bisa menjadi relevan pengaplikasiannya di Indonesia karena dengan mempertimbangkan tinggi gelombang laut yang aman bagi FPV dan potensi energi surya maupun energi gelombang laut. Walaupun pada penelitian yang dilakukan oleh Ribeiro et al., (2020) biasanya *wave energy* dihibrida dengan *wind energy*, hal tersebut tidak menutup kemungkinan potensi penerapan sistem *hybrid floating solar photovoltaic* dengan *wave energy*. Oleh karena itu, penelitian ini merupakan kajian pertama di Indonesia yang mengombinasikan FPV dan WEC dalam skala kecil dengan analisis tekno-ekonomi berbasis HOMER di empat lokasi pantai Pulau Jawa.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menganalisis sistem HFPV-WV berskala kecil yang beroperasi secara *off-grid*. Perancangan dan simulasi dari sistem HFPV-WV menggunakan bantuan *software* atau perangkat lunak HOMER agar didapatkan hasil untuk dianalisis kelayakannya dengan pendekatan analisis tekno-ekonomi dan analisis sensitivitas. Penelitian ini dilakukan di empat titik lokasi penelitian dengan rincian dua titik di pantai utara dan dua titik di pantai selatan Pulau Jawa, yang memiliki karakteristik wilayah yang berbeda-beda, guna didapatkan konfigurasi sistem yang optimal. Dengan pendekatan tersebut, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi khususnya dalam pengembangan sistem energi terbarukan yang memanfaatkan energi surya dan energi gelombang laut, sekaligus menjadi referensi dalam perencanaan transisi energi listrik di Indonesia.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini:

1. Bagaimana karakteristik dan potensi sumber daya energi terbarukan melalui sistem HFPV-WV berskala kecil di lokasi penelitian?
2. Bagaimana perancangan desain sistem HFPV-WV secara *off-grid* yang optimal di wilayah pantai Pulau Jawa menggunakan *software* HOMER?
3. Bagaimana perbandingan hasil simulasi untuk menentukan kelayakan sistem HFPV-WV setelah dilakukan analisis tekno-ekonomi dan sensitivitas?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi dan menganalisis potensi energi terbarukan berdasarkan sistem HFPV-WV berskala kecil di lokasi penelitian.
2. Melakukan perancangan desain sistem HFPV-WV secara *off-grid* menggunakan *software* HOMER.
3. Mengevaluasi kelayakan secara teknis dan ekonomi dari sistem HFPV-WV dari setiap lokasi penelitian berdasarkan hasil simulasi.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat terkait pengembangan pembangkit listrik energi terbarukan berbasis sumber daya energi surya yang dihibrida dengan energi gelombang laut dan bantuan *software* HOMER maupun analisis tekno-ekonomi. Adapun penelitian ini menyajikan hasil simulasi dari *software* HOMER dengan pendekatan analisis tekno-ekonomi dan analisis sensitivitas di setiap lokasi penelitian agar ditemukannya desain sistem HFPV-WV yang optimal untuk wilayah pantai Pulau Jawa.

1.5 Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian ini difokuskan pada analisis teknis dan ekonomi dari pembangkit listrik energi terbarukan melalui sistem HFPV-WV berskala kecil berbasis *off-grid* menggunakan *software* HOMER di empat titik lokasi penelitian dengan rincian masing-masing dua titik di pantai utara dan pantai selatan Pulau Jawa. Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang berasal dari NASA POWER DAV untuk data energi surya dan Copernicus Marine Service (CMEMS) untuk data energi gelombang laut. Adapun analisis tekno-ekonomi digunakan untuk menentukan konfigurasi sistem dan lokasi yang optimal dengan mempertimbangkan beberapa parameter, seperti *Net Present Cost* (NPC) dan *Cost of Energy* (COE). Selain itu, analisis sensitivitas digunakan untuk mengetahui perubahan variabel lingkungan terhadap performa sistem HFPV-WV. Penelitian ini tidak membahas beberapa hal mengenai dampak lingkungan dan sosial, seluruh aspek dalam pembangunan sebuah sistem pembangkitan, serta pembahasan secara detail mengenai desain mekanik/struktural dari perangkat yang digunakan dalam sistem HFPV-WV berskala kecil.