

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan energi listrik di Indonesia terus mengalami peningkatan seiring dengan pertumbuhan penduduk, perkembangan industri, dan peningkatan kualitas hidup masyarakat. Selama ini, pasokan listrik nasional masih didominasi oleh pembangkit berbahan bakar fosil seperti batu bara, minyak, dan gas bumi. Ketergantungan ini menimbulkan sejumlah masalah serius, di antaranya keterbatasan cadangan energi fosil, fluktuasi harga energi, serta dampak negatif terhadap lingkungan berupa emisi gas rumah kaca, pencemaran udara, dan kontribusi signifikan terhadap perubahan iklim global. Oleh karena itu, transisi menuju energi baru dan terbarukan (EBT) menjadi sebuah keharusan yang tidak dapat ditunda.

Energi surya merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang paling potensial di Indonesia. Dengan rata-rata intensitas radiasi matahari berkisar antara 4–5,4 kWh/m² per hari di hampir seluruh wilayah Indonesia, energi surya memiliki kapasitas besar untuk dioptimalkan sebagai sumber listrik berkelanjutan. Studi kelayakan microgrid untuk elektrifikasi daerah terpencil menunjukkan bahwa sistem berbasis energi surya memberikan solusi yang ekonomis dan andal (Suka Alaqa et al., 2025). Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) berbasis fotovoltaiik telah menjadi salah satu opsi strategis yang tidak hanya ramah lingkungan tetapi juga dapat diterapkan secara desentralisasi, khususnya pada sistem kelistrikan berskala kecil atau *microgrid*.

Konsep Smart Microgrid hadir sebagai solusi inovatif dalam pengelolaan energi terbarukan. Sistem pembangkit listrik berbasis energi terbarukan seperti PLTS dan hybrid renewable energy system semakin banyak diterapkan untuk meningkatkan keberlanjutan dan efisiensi biaya operasional (Bekkouche et al., 2025b). Berbeda dengan sistem kelistrikan konvensional, *smart microgrid* mampu mengintegrasikan berbagai komponen seperti panel surya, baterai penyimpanan, inverter, sistem kendali, dan jaringan distribusi secara cerdas. Sistem ini dapat

beroperasi secara on-grid maupun *off-grid*, serta memiliki fleksibilitas dalam manajemen energi, seperti optimasi distribusi daya, pengaturan beban, hingga pengurangan losses. Dengan demikian, *smart microgrid* tidak hanya meningkatkan keandalan pasokan energi, tetapi juga berperan dalam mendukung efisiensi energi secara menyeluruh.

Dalam penelitian ini, sistem Smart Microgrid difokuskan pada kapasitas energi sebesar 5 kWp, yang mewakili kebutuhan harian sistem mikro berskala kecil, seperti laboratorium kampus atau fasilitas mandiri rumah tangga modern. Kapasitas ini dipilih untuk menggambarkan skenario realistis sistem *off-grid* dengan kemampuan penyimpanan dan suplai daya yang cukup untuk mendukung operasional selama 24 jam penuh dengan strategi efisiensi energi optimal.

Untuk merancang dan mengevaluasi kinerja sistem *smart microgrid*, diperlukan sebuah alat bantu analisis yang akurat dan komprehensif. Salah satu perangkat lunak yang umum digunakan adalah *HOMER Pro (Hybrid Optimization Model for Electric Renewables)*. *HOMER Pro* mampu melakukan simulasi teknis dan analisis performa sistem energi terbarukan dengan berbagai konfigurasi. Perangkat ini dapat mengevaluasi parameter seperti produksi energi, rasio energi terbarukan (*renewable fraction*), *losses*, *unmet load*, *performance ratio*, hingga skenario efisiensi energi pada sistem microgrid.

Melalui penelitian ini, dilakukan evaluasi kinerja *smart microgrid* fotovoltaik menggunakan simulasi *HOMER Pro* dengan berbagai skenario efisiensi energi. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai konfigurasi sistem yang optimal, efisien, dan berkelanjutan, serta dapat menjadi acuan dalam pengembangan teknologi *microgrid* di Indonesia, baik untuk kebutuhan masyarakat, industri, maupun kebijakan energi nasional.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana kinerja *Smart Microgrid* fotovoltaik pada skenario efisiensi energi dengan kapasitas sistem sebesar 5 kWp?
2. Bagaimana performa sistem terhadap kapasitas PV pada kondisi beban 5 kWp?

3. Bagaimana konfigurasi optimal untuk mencapai efisiensi energi tertinggi pada sistem *Smart Microgrid* 5 kWp?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah :

1. Mengevaluasi kinerja sistem *Smart Microgrid* berbasis fotovoltaik dengan total kapasitas energi 5 kWp menggunakan perangkat lunak *HOMER PRO*
2. Menentukan konfigurasi PV dan baterai terbaik yang menghasilkan efisiensi energi tertinggi untuk sistem *Smart Microgrid* 5 kWp

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini antara lain :

1. Manfaat Akademis
 - a. Memberikan kontribusi pada literatur akademik terkait penerapan *smart microgrid* berbasis energi terbarukan
 - b. Menjadi referensi bagi mahasiswa, peneliti, dan akademik dalam mempelajari simulasi sistem kelistrikan menggunakan *HOMER Pro*
2. Manfaat Praktis
 - a. Menjadi acuan teknis dalam merancang dan mengevaluasi kinerja *smart microgrid* untuk implementasi di lapangan
 - b. Memberikan gambaran nyata bagi masyarakat maupun pelaku usaha tentang pemanfaatan energi surya secara efisien
3. Manfaat Pemerintah & Industri
 - a. Mendukung pengambilan keputusan dalam kebijakan energi nasional, khususnya terkait peningkatan bauran energi terbarukan
 - b. Menjadi pertimbangan bagi industri energi dan kelistrikan dalam mengembangkan proyek *smart microgrid* berbasis PLTS

1.5 Ruang Lingkup Penelitian

Untuk menjaga fokus penelitian, ruang lingkup penelitian ini ditetapkan sebagai berikut :

1. Objek Penelitian
 - a. Sistem *smart microgrid* berbasis fotovoltaik yang dimodelkan menggunakan *HOMER Pro*

2. Skenario Efisiensi Energi

- a. Variasi kapasitas 5 kWp (PV), kapasitas baterai, dan strategis efisiensi energi