

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Penyimpanan energi telah menjadi komponen kunci dalam perkembangan energi terbarukan, terutama dalam konteks transisi menuju sistem energi yang lebih berkelanjutan. Dengan meningkatnya penggunaan sumber energi terbarukan seperti tenaga surya dan angin, kebutuhan akan sistem penyimpanan yang efisien dan andal semakin diperlukan. Baterai, sebagai salah satu teknologi penyimpanan energi yang paling umum, memungkinkan penyimpanan energi yang dihasilkan dari sumber terbarukan untuk digunakan saat permintaan energi tinggi atau saat sumber energi tidak tersedia, termasuk dalam aplikasi pompa air pertanian yang memerlukan pasokan energi stabil untuk irigasi yang berkelanjutan. Namun, meskipun baterai menawarkan banyak keuntungan, tantangan dalam pengelolaan dan efisiensi operasionalnya tetap menjadi perhatian utama dalam penelitian dan pengembangan (Hannan et al., 2021).

Motor induksi satu fasa memiliki arus pengasutan 5-7 kali lebih tinggi dari arus nominalnya (Atmam et al., 2020), yang menjadi salah satu tantangan utama dalam aplikasi sistem penyimpanan energi berbasis baterai. Pengosongan berlebih hingga 112.5% kapasitas arus pengosongan dapat menyebabkan degradasi struktural dan kegagalan total sel Lithium-Ion (Wang et al., 2021). Meskipun *battery management system* (BMS) telah dikembangkan untuk membatasi arus pengosongan dan melindungi baterai, sistem ini justru menghambat pengoperasian motor induksi satu fasa karena membatasi arus pengasutannya, walaupun baterai

masih mampu mencukupi kebutuhan arus nominal motor. Kondisi ini menjadi kendala serius terutama dalam aplikasi energi terbarukan yang mengandalkan baterai sebagai sumber energi utama.

Penelitian sebelumnya mengusulkan penggunaan bank superkapasitor (SCB) yang terhubung ke sistem *photovoltaic off-grid* melalui konverter DC/DC dua arah dengan pergeseran waktu 50 ms antara injeksi arus pulsa 2A (selama 200 ms) dan pengasutan motor induksi 70W dapat meminimalkan deviasi tegangan sistem hingga ± 8 (Bahramian et al., 2025). Superkapasitor memiliki kemampuan untuk menyimpan dan melepaskan energi dengan sangat cepat, menjadikannya ideal untuk aplikasi yang memerlukan pengisian dan pengosongan cepat (Lakshmi et al., 2023). Berdasarkan hasil penelitian dan karakteristik kinerja superkapasitor tersebut, penulis akan mengimplementasikan sistem penyimpanan energi hibrida yang menggabungkan baterai dan superkapasitor guna mengatasi arus pengasutan motor induksi yang dibatasi oleh BMS, sehingga motor induksi dapat beroperasi tanpa merusak baterai.

Penelitian ini akan melibatkan beberapa tahap, dimulai dengan perancangan sistem penyimpanan energi hibrida yang mengintegrasikan baterai dan superkapasitor. Perhitungan kapasitas baterai, superkapasitor dan beban maksimal yang dapat terhubung sehingga operasi motor induksi satu fasa tidak merusak baterai. Selanjutnya dilakukan pembuatan prototipe sistem hibrida yang dilengkapi sensor-sensor untuk akuisisi data. Pengujian skala laboratorium dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem dalam kondisi nyata dan pengukuran arus pengasutan motor induksi serta respons sistem terhadap beban. Data yang diperoleh dari

pengujian ini akan dianalisis untuk menentukan efektifitas sistem hibrida dalam mengatasi masalah arus berlebih baterai dan memastikan bahwa motor induksi dapat beroperasi tanpa merusak baterai. Perbandingan kapasitas superkapasitor dan beban untuk mendapatkan kapasitas yang optimal dalam mengatasi arus pengasutan motor induksi terhadap arus berlebih baterai.

Penelitian ini diharapkan mampu menghasilkan sistem penyimpanan energi hibrid yang tidak hanya mampu mengatasi masalah pengosongan berlebih pada baterai, tetapi juga meningkatkan efisiensi operasional motor induksi dalam aplikasi sistem mikrogrid terisolasi. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi bagi pengembangan teknologi penyimpanan energi di masa depan, serta mendukung transisi menuju sistem energi yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan.

1.2. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang terdapat pada penelitian yang akan dilakukan, dapat diidentifikasi beberapa masalah sebagai berikut:

1. Penyimpanan baterai PLTS terhubung dengan beragam beban dimana beban motor induksi satu fasa memiliki arus pengasutan yang tinggi.
2. Pengosongan berlebih hingga 112.5% dari kapasitas baterai mengakibatkan kehilangan kapasitas yang signifikan dan degradasi struktural pada sel Lithium-Ion.
3. Baterai Lhitium-Ion di pasaran telah dilengkapi pembatas arus sehingga tidak dapat menyuplai kebutuhan arus beban yang melebihi pengaturannya.

4. Pengoperasian motor induksi satu fasa memerlukan arus pengasutan lima hingga tujuh kali dari arus nominalnya dalam kurun waktu yang singkat.
5. Motor induksi satu fasa tidak dapat beroperasi karena kebutuhan arus pengasutannya dibatasi oleh BMS baterai.
6. Bagaimana motor induksi satu fasa dapat beroperasi tanpa merusak baterai.
7. Diperlukan penelitian lebih lanjut terkait kapasitas superkapasitor yang optimal untuk memenuhi arus pengasutan motor induksi satu fasa.
8. Diperlukan pengujian langsung untuk membuktikan apakah pengimplementasian superkapasitor dapat mengurangi arus pengosongan baterai akibat penggunaan motor induksi satu fasa.

1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini menggunakan Baterai Lithium-Ion berkapasitas 12V 10Ah.
2. Kapasitas beban pengujian dibatasi untuk memperoleh perbandingan optimal yang dapat diimplementasikan pada kapasitas lainnya.
3. Fokus penelitian adalah pada pengaruh sistem hibrid superkapasitor-baterai selama proses pengosongan (discharging).
4. Proses pengosongan menggunakan beban motor induksi satu fasa.
5. Tidak membahas reaksi kimia yang terjadi pada baterai dan superkapasitor.
6. Tidak membahas mengenai sistem kontrol dari sistem penyimpanan hibrid.
7. Aspek ekonomis terkait sistem hibrid superkapasitor-baterai tidak dibahas dalam penelitian ini.

1.4. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang dan menentukan kapasitas minimum sistem hibrida superkapasitor-baterai yang optimal untuk mengurangi arus pengosongan baterai selama pengasutan motor induksi satu fasa?
2. Berapa nilai kapasitansi minimum superkapasitor yang dibutuhkan agar arus pengosongan baterai saat pengasutan tetap berada di bawah batas arus aman?
3. Bagaimana menentukan rasio minimum antara kapasitas superkapasitor, baterai, dan motor untuk melindungi baerai saat starting motor induksi satu fasa?

1.5. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian yang akan dilakukan adalah:

1. Merancang dan menentukan kapasitas minimum sistem hibrida superkapasitor-baterai untuk mengurangi lonjakan arus pengosongan baterai saat starting motor induksi satu fasa.
2. Menentukan nilai kapasitas minimum superkapasitor yang mampu menjaga arus pengosongan baterai tetap berada di bawah batas arus aman saat proses starting.
3. Menentukan rasio minimum antara kapasitas superkapasitor, baterai, dan motor untuk melindungi baterai saat starting motor induksi satu fasa.

1.6. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian yang akan dilakukan adalah:

1. Mengembangkan sistem hibrid superkapasitor-baterai untuk mencegah kerusakan baterai pada pengoperasian motor induksi satu fasa.
2. Menyediakan referensi teknologi penyimpanan energi yang efisien untuk aplikasi arus pengasutan tinggi dalam sistem mikrogrid terisolasi.
3. Memberikan solusi praktis untuk meningkatkan umur operasional baterai dalam sistem kelistrikan yang menggunakan motor induksi, sehingga mengurangi biaya penggantian dan perawatan sistem penyimpanan energi.
4. Menyediakan metodologi perhitungan dan desain sistem hibrid yang dapat diadaptasi untuk berbagai jenis beban dengan karakteristik pengasutan tinggi, tidak hanya terbatas pada motor induksi satu fasa.