

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi di bidang energi telah mendorong lahirnya sistem kelistrikan yang lebih efisien, fleksibel, dan ramah lingkungan. Salah satu bentuk pengembangan tersebut adalah microgrid, yaitu sistem tenaga listrik berskala kecil yang mampu beroperasi secara terhubung ke jaringan utama *grid-connected* maupun berdiri sendiri *islanded*[1]. Microgrid umumnya mengintegrasikan berbagai sumber energi terbarukan seperti *photovoltaic* dan turbin angin, yang menghasilkan energi listrik melalui inverter. Namun, keberadaan sumber energi terbarukan yang bersifat tidak menentu uncertain dan tidak berkelanjutan intermiten menimbulkan tantangan tersendiri terhadap stabilitas sistem tenaga, terutama stabilitas frekuensi. Ketika terjadi perubahan beban atau gangguan daya, sistem microgrid yang didominasi oleh inverter tidak memiliki inersia alami sebagaimana terdapat pada generator sinkron konvensional [2]. Akibatnya, perubahan daya secara tiba-tiba dapat menyebabkan deviasi frekuensi yang signifikan dan mengganggu keandalan sistem. Dalam sistem konvensional, inersia mekanik dari rotor generator berperan penting dalam menahan laju perubahan frekuensi (RoCoF *Rate of Change of Frequency*) mendadak dengan menyimpan energi kinetik.

Dibandingkan dengan metode inersia virtual tetap, kontrol inersia virtual yang ditingkatkan VIC meningkatkan titik nadir frekuensi sistem dan mengurangi laju penurunan frekuensi. Berbagai keuntungan dari penggunaan VIC pada microgrid termasuk respons dinamis yang lebih cepat, peredaman osilasi transien, dan peningkatan stabilitas frekuensi. VIC sangat cocok untuk sistem energi terbarukan yang tidak membutuhkan banyak inersia fisik[3]. Dan Adapun kekurangan penggunaan dari VIC adalah, aplikasi kontrol inersia virtual masih menghadapi masalah seperti stabilitas frekuensi dan tegangan, redaman yang rendah, dan respons tanpa inersia yang disebabkan oleh kurangnya massa berputar pada microgrid berbasis konverter[4].

Konsep ini tidak secara langsung ada pada inverter karena tidak terdapat elemen berputar. Oleh sebab itu, dikembangkanlah konsep VIC, yaitu metode kontrol yang dirancang untuk meniru karakteristik inersia mekanik secara digital melalui algoritma kontrol. VIC bekerja dengan

mendeteksi perubahan frekuensi sistem dan menyesuaikan keluaran daya inverter secara proporsional terhadap percepatan atau perlambatan frekuensi tersebut[5]. Dengan demikian, inverter dapat memberikan efek VIC yang membantu menahan perubahan frekuensi, serupa dengan generator sinkron[6]. Penerapan kontrol inersia virtual pada microgrid diharapkan mampu meningkatkan stabilitas frekuensi, mengurangi deviasi akibat gangguan, serta memperbaiki kualitas daya secara keseluruhan[7]. Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini berfokus pada implementasi VIC pada microgrid AC dengan tujuan untuk meningkatkan stabilitas frekuensi sistem[8]. Melalui simulasi menggunakan perangkat lunak MATLAB dan Simulink, penelitian ini akan membandingkan kinerja sistem microgrid sebelum dan sesudah penerapan VIC.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, dapat diidentifikasi beberapa permasalahan utama yang muncul pada sistem microgrid AC berbasis energi terbarukan, yaitu:

1. Bagaimana mengoptimalkan penerapan strategi kendali bertingkat atau *Hierarchical Control*, dalam menjaga kestabilan frekuensi sistem microgrid?
2. Bagaimana mengurangi Fluktuasi frekuensi yang signifikan akibat ketidakseimbangan antara daya pembangkitan dan beban, terutama pada kondisi *islanding mode*?
3. Bagaimana cara meningkatkan respons sistem inverter yang andal dalam meredam deviasi fluktuasi akibat rendahnya physical inertia konvensional pada sistem berbasis energi terbarukan?

1.3 Tujuan dan Manfaat

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memahami, menerapkan, dan menganalisis pengaruh penerapan VIC terhadap stabilitas frekuensi pada sistem microgrid AC. Secara khusus, tujuan penelitian ini meliputi:

1. Menerapkan konsep penerapan strategi kendali bertingkat atau *Hierarchical Control*, dalam menjaga kestabilan frekuensi sistem microgrid.
2. Mengurangi Fluktuasi frekuensi yang signifikan akibat ketidakseimbangan antara daya pembangkitan dan beban,

terutama pada kondisi *islanding mode*.

3. Meredam dan mengevaluasi kinerja sistem dari inverter dan microgrid dengan dan meredam deviasi fluktuasi yang di miliki oleh *physical inertia*.

1.4 Batasan Masalah

Supaya pembahasan tidak menyimpang dari tujuan penulisan penelitian ini, maka penulis sampaikan batasan-batasan sebagai berikut:

1. Parameter performa yang dianalisis meliputi overshoot, undershoot, waktu pemulihan (*settling time*), serta kemampuan Virtual Inertia Control dalam meningkatkan stabilitas frekuensi sistem.
2. Analisis penelitian difokuskan pada respons dinamis frekuensi sistem sebelum dan sesudah penerapan Virtual Inertia Control terhadap parameter frekuensi pada AC Microgrid.
3. Hasil penelitian dibatasi pada perbandingan performa sistem AC Microgrid sebelum dan sesudah penerapan Virtual Inertia Control berdasarkan hasil simulasi.

1.5 Sistematika Penulisan

Penulisan laporan skripsi ini disusun secara sistematis untuk memudahkan pembaca dalam memahami keseluruhan pembahasan penelitian. Sistematika penulisan skripsi ini disusun ke dalam beberapa bab yang saling berkaitan, dengan pembahasan pada setiap bab disesuaikan dengan standar dan ketentuan penulisan ilmiah. Adapun sistematika penulisan laporan skripsi ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Berisikan tentang latar belakang mengenai perkembangan microgrid di lingkungan pembangkit listrik yang mempengaruhi stabilitas sistem tenaga, terutama stabilitas frekuensi, menjadi tantangan tersendiri disaat terjadi perubahan beban atau gangguan daya, sistem microgrid yang didominasi oleh inverter tidak memiliki inersia alami sebagaimana terdapat pada generator sinkron konvensional.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Dapat menjelaskan teori mengenai VIC dalam microgrid, analisis aliran frekuensi kontrol inersia virtual yang ditingkatkan VIC yang dapat meningkatkan titik nadir frekuensi sistem dan mengurangi laju penurunan frekuensi agar tidak jatuh dalam posisi titik nadir, termasuk penggunaan perangkat lunak MATLAB.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Membahas tentang simulasi dan penelitian yang berisi tentang pengolahan data dan simulasi *Virtual Inertia control* pada AC *Microgrid* dengan kondisi sistem dalam kondisi basecase maupun ketika sistem diberi beban saat gangguan dan menggunakan VIC. Analisa kestabilan frekuensi yaitu melalui analisa tersebut menggunakan software MATLABr2023b.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas analisis sistem pada kondisi *base case* serta kondisi sistem setelah diberikan gangguan berupa perubahan beban. Pembahasan mencakup hasil simulasi, respons sistem terhadap gangguan, serta analisis terhadap parameter-parameter yang diamati. Seluruh hasil analisis dan pembahasan sistem akan diuraikan secara lebih rinci pada bab ini.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan yang diperoleh berdasarkan hasil analisis pengaruh stabilitas frekuensi menggunakan metode *droop control*. Analisis dilakukan dengan membandingkan respons frekuensi sistem pada kondisi *base case* dan kondisi ketika sistem mengalami gangguan berupa perubahan beban. Selain itu, bab ini juga memuat saran yang dapat digunakan sebagai bahan evaluasi serta acuan untuk pengembangan dan penyempurnaan sistem pada penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

Daftar pustaka berisi sumber kutipan referensi atau refrensi yang digunakan sebagai teori pendukung berupa jurnal, buku, dan lain lain.