

DESIGN DAN ANALISA INTELEGENT POWER SHARING CONTROL PADA AC MICROGRID BERBASIS FUZZY TYPE 2

Muhammad Fahmi Bisma Putra¹, Awan Uji Krismanto², Rachmadi Setiawan³

Institut Teknologi Nasional, Malang, Indonesia

[¹bisma.putra1602@gmail.com](mailto:bisma.putra1602@gmail.com), [²awanujikrismanto@lecturer.itn.ac.id](mailto:awanujikrismanto@lecturer.itn.ac.id), [³rachmadisetiawan@lecturer.itn.ac.id](mailto:rachmadisetiawan@lecturer.itn.ac.id)

Abstrak—Sistem AC microgrid rentan mengalami penurunan frekuensi akibat lonjakan beban yang menyebabkan ketidakseimbangan antara daya pembangkitan dan daya beban. Penelitian ini bertujuan merancang Intelligent Power Sharing Control berbasis Fuzzy Type-2 untuk meningkatkan stabilitas frekuensi dan pembagian daya pada AC microgrid. Pengendali dirancang menggunakan masukan berupa deviasi frekuensi dan laju perubahan frekuensi, kemudian diimplementasikan pada model sistem di MATLAB/Simulink. Kinerja pengendali dievaluasi melalui skenario lonjakan beban dengan membandingkan respons frekuensi sebelum dan sesudah penerapan Fuzzy Type-2. Hasil simulasi menunjukkan bahwa tanpa pengendali Fuzzy Type-2 frekuensi turun hingga 48,50 Hz, sedangkan setelah penerapan pengendali frekuensi minimum meningkat menjadi 49,90 Hz. Hasil tersebut menunjukkan bahwa Fuzzy Type-2 mampu mengurangi deviasi frekuensi secara signifikan, mempercepat pemulihan sistem, dan menghasilkan pembagian daya yang lebih seimbang sehingga meningkatkan keandalan operasi AC microgrid.

Kata kunci: AC microgrid, Intelligent Power Sharing Control, Fuzzy Type-2, stabilitas frekuensi, pembagian daya.

Abstract— An AC microgrid is susceptible to frequency instability caused by sudden load changes, which create an imbalance between generated and demanded power. This study proposes an Intelligent Power Sharing Control based on Type-2 Fuzzy Logic to improve frequency stability and power-sharing performance in an AC microgrid. The controller employs frequency deviation and the rate of change of frequency as input variables and is implemented in a MATLAB/Simulink model. Its performance is evaluated under sudden load increase scenarios by comparing the system response before and after the implementation of the Type-2 Fuzzy controller. Simulation results show that, without the proposed controller, the system frequency drops to 48.50 Hz. After applying the Type-2 Fuzzy controller, the minimum frequency improves to 49.90 Hz. These results demonstrate that the proposed method effectively reduces frequency deviation, Enhances dynamic response, and achieves more balanced power sharing, thereby improving the reliability and stability of the AC microgrid.

Keywords: AC microgrid, Intelligent Power Sharing Control, Type-2 Fuzzy Logic, frequency stability, power sharing.

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Perkembangan teknologi energi terbarukan yang pesat menuntut adanya sistem kelistrikan yang cerdas dan adaptif untuk menjaga kestabilan dan keandalan jaringan. Salah satu konsep yang banyak dikembangkan adalah microgrid, yaitu sistem distribusi energi berskala kecil yang mampu beroperasi secara terhubung maupun mandiri dari jaringan utama (grid-connected dan islanded mode).[1] Dalam operasinya, microgrid menghadapi tantangan dalam pembagian daya (power sharing) yang optimal di antara sumber-sumber energi terdistribusi (Distributed Generation).

Metode droop control adalah salah satu strategi pengendalian yang diterapkan dalam sistem AC microgrid, terutama untuk memungkinkan distribusi beban secara desentralisasi tanpa perlu komunikasi antar inverter. Prinsip utama metode ini adalah meniru sifat-sifat pembangkit sinkron konvensional dengan mengaitkan daya aktif terhadap frekuensi (P-f droop) dan daya reaktif terhadap tegangan (Q-V droop). Melalui pendekatan ini, setiap unit Distribusi Energi (DG) dapat berperan dalam menyediakan beban secara otomatis sesuai dengan perubahan kondisi sistem.[2]

Salah satu kekurangan utama dari droop control tradisional adalah tingkat akurasi yang rendah dalam distribusi daya, terutama saat sistem berada dalam kondisi nonlinier atau menghadapi perubahan beban yang tiba-tiba. Dalam situasi tersebut, respons sistem sering kali kurang optimal, sehingga distribusi daya antara inverter menjadi tidak seimbang.[3] Selain itu, kinerja kontrol droop sangat dipengaruhi oleh parameter jaringan, terutama impedansi saluran antar bus pada unit DG. Perbedaan nilai impedansi ini bisa mengakibatkan deviasi dalam distribusi daya aktif dan

reaktif, yang berujung pada penurunan efisiensi serta keandalan sistem microgrid.[4]

Keterbatasan lainnya adalah karakteristik metode ini yang kurang responsif terhadap perubahan kondisi operasional. Nilai konstanta droop, yang merupakan parameter kemiringan (m dan n), biasanya ditetapkan secara tetap di fase perancangan dan tidak disesuaikan secara real-time. Akibatnya, sistem tidak dapat merespons dengan baik terhadap variasi beban maupun perubahan keadaan sumber energi. Ini menjadi semakin penting saat microgrid menggabungkan sumber energi terbarukan seperti Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), yang memiliki karakteristik keluaran daya yang sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, seperti intensitas radiasi matahari dan suhu.

Kelebihan Kontrol Fuzzy Type-2 pada Sistem Microgrid Kontrol Fuzzy Type-2 memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan metode droop control konvensional dalam pengaturan operasi microgrid. Salah satu kelebihan utamanya adalah kemampuannya dalam menangani ketidakpastian dan gangguan yang terjadi pada sistem. Berbeda dengan Fuzzy Type-1 maupun droop control konvensional yang menggunakan nilai keanggotaan tunggal, Fuzzy Type-2 memiliki Footprint of Uncertainty (FOU) yang memungkinkan sistem mengakomodasi variasi parameter, gangguan beban, serta ketidakpastian pengukuran dengan lebih baik.

Pada hasil simulasi, kontrol Fuzzy Type-2 mampu menghasilkan pembagian daya aktif yang lebih seimbang antara inverter yang beroperasi secara paralel. Hal ini menunjukkan bahwa metode ini dapat mengurangi ketimpangan pembebanan sehingga umur peralatan menjadi lebih panjang dan efisiensi sistem meningkat. Selain itu, pembagian daya reaktif juga menjadi lebih stabil dengan osilasi yang lebih kecil dibandingkan metode konvensional.

Ketika terjadi perubahan beban secara tiba-tiba (load step), kontrol Fuzzy Type-2 memberikan respons transien yang lebih cepat dan mampu menyesuaikan keluaran daya masing-masing inverter secara proporsional. Kemampuan adaptif ini membuat sistem lebih tahan terhadap perubahan kondisi operasi tanpa memerlukan penalaan ulang parameter kontrol secara terus-menerus.

Dari sisi kualitas daya, penggunaan Fuzzy Type-2 mampu menjaga stabilitas frekuensi dan tegangan lebih baik. Penurunan frekuensi akibat perubahan beban menjadi sangat kecil dan proses pemulihannya berlangsung lebih cepat menuju nilai nominal. Tegangan keluaran juga lebih dekat dengan nilai referensi sehingga kualitas energi listrik yang disuplai kepada beban tetap terjaga.

Secara keseluruhan, kontrol Fuzzy Type-2 menawarkan kinerja yang lebih unggul dalam hal akurasi pembagian daya, kemampuan menghadapi ketidakpastian, peredaman osilasi, stabilitas frekuensi, serta regulasi tegangan, sehingga sangat sesuai diterapkan pada sistem microgrid yang memiliki karakteristik beban dan sumber energi yang dinamis.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, dapat diidentifikasi beberapa permasalahan yang terjadi pada sistem AC microgrid dalam pengaturan pembagian daya, yaitu:

1. Bagaimana meningkatkan metode kontrol konvensional menangani non-linearitas dan gangguan sistem, sehingga diperlukan metode kontrol cerdas yang lebih adaptif dan sistem handal seperti Fuzzy Type-2.
2. Bagaimana memperbaiki Respon sistem yang masih lambat terhadap perubahan beban tidak adaptif, karena tidak memiliki kemampuan pengambilan keputusan secara real-time.
3. Bagaimana meredam Tingkat fluktuasi frekuensi yang masih tinggi akibat tidak adanya mekanisme kontrol yang mampu mengatasi ketidakpastian pada sumber energi terbarukan.

C. Tujuan Penelitian

Pada penelitian kali ini bertujuan untuk mengembangkan sistem kontrol pada ac microgrid yang mana menggunakan sistem control fuzzy type 2 untuk mengoptimalkan pembangkit energi baru terbarukan.

Tujuan spesifik dari penelitian ini adalah :

1. Merancang model sistem AC microgrid yang terdiri dari beberapa Distributed Generation (DG), beban, serta sistem pengendali power sharing berbasis Fuzzy Type-2 di lingkungan MATLAB/Simulink. Merancang sebuah sistem kontrol ac mikrogrid dengan sistem fuzzy type 2
2. Mengembangkan kontroler Fuzzy Type-2 untuk melakukan penyesuaian parameter droop control secara adaptif berdasarkan kondisi dinamis beban dan fluktuasi daya sumber.
3. Membuktikan keunggulan sistem kontrol cerdas berbasis Fuzzy Type-2 dalam meningkatkan keandalan dan efisiensi operasional AC microgrid di bawah kondisi ketidakpastian dan dinamika beban yang tinggi terutama pada perubahan fluktuasi frekuensi.

II. KAJIAN PUSTAKA

A. Sistem Microgrid

Definisi microgrid adalah sebagai sekumpulan beban dan sumber energi terdistribusi yang beroperasi sebagai satu kesatuan sistem terkendali, mampu beroperasi dalam mode terhubung ke jaringan (gridconnected) maupun mandiri (islanded), pada sistem microgrid sendiri dapat memungkinkan mencakup beberapa jenis sumber energi dari sumber energi konvensional hingga sumber energi terbarukan contohnya adalah plts.[6]

Microgrid ini dapat diartikan sebagai jaringan distribusi yang terintegrasi oleh dg dan beban local. Microgrid ini dirancang untuk mensuplai sistem tenaga Listrik pada suatu pulau atau suatu region dengan level tegangan distribusi.

Ada beberapa bagian bagian yang ada pada sistem jaringan microgrid Distributed Generation (DG), yaitu sumber

pembangkit listrik terdistribusi yang berada dekat dengan beban. DG dapat berupa pembangkit energi terbarukan seperti photovoltaic (PV), turbin angin, dan mikrohidro, maupun pembangkit konvensional seperti generator diesel atau generator sinkron.

1. Voltage Source Inverter (VSI) yang berperan sangat penting dalam AC microgrid. Pada mode islanded, inverter dapat bertugas untuk membentuk referensi tegangan dan frekuensi sistem.
2. AC bus (busbar AC) yang berfungsi sebagai titik penghubung antara seluruh komponen dalam sistem, termasuk DG, sistem penyimpanan energi, dan beban.
3. Beban (load) juga merupakan komponen utama dalam AC microgrid.[7]

B. Distributed Generation

Distributed Generation (DG) merupakan salah satu konsep penting dalam perkembangan sistem tenaga listrik modern. Distributed Generation dapat didefinisikan sebagai pembangkitan energi listrik yang ditempatkan dekat dengan lokasi beban atau konsumen, berbeda dengan sistem pembangkit konvensional yang umumnya terpusat pada satu lokasi dengan kapasitas besar dan menyalurkan energi listrik melalui jaringan transmisi jarak jauh. Dengan adanya Distributed Generation, energi listrik dapat dihasilkan secara lokal sehingga mampu meningkatkan efisiensi distribusi energi serta mengurangi rugi-rugi daya pada jaringan transmisi.[8]

Konsep Distributed Generation mulai berkembang seiring dengan meningkatnya kebutuhan energi listrik, keterbatasan sumber energi fosil, serta meningkatnya kesadaran terhadap penggunaan energi ramah lingkungan. Sistem DG memungkinkan integrasi berbagai sumber energi alternatif seperti tenaga surya, angin, biomassa, serta sistem pembangkit skala kecil lainnya ke dalam jaringan listrik. Selain itu, DG juga dapat menggunakan pembangkit konvensional skala kecil seperti mikro turbin, generator diesel, dan fuel cell.[9]

Secara umum, Distributed Generation memiliki kapasitas pembangkit yang relatif kecil dibandingkan dengan pembangkit listrik konvensional. Kapasitas DG biasanya berkisar dari beberapa kilowatt hingga beberapa megawatt. Pembangkit ini dapat terhubung langsung ke jaringan distribusi tegangan rendah atau tegangan menengah, bahkan dapat beroperasi secara mandiri dalam suatu sistem lokal seperti microgrid. Dengan demikian, Distributed Generation memiliki fleksibilitas tinggi dalam pengoperasiannya. Dalam sistem microgrid terdapat rumus frekuensi menggunakan metode droop control pada DG microgrid :

$$f = f_0 - k_p(P - P_0) \quad (1)$$

Keterangan:

f = Frekuensi sistem

f_0 = Frekuensi nominal

k_p = Koefisien droop

P = Daya output DG

P_0 = Daya referensi

Microgrid merupakan sistem jaringan listrik lokal yang terdiri dari berbagai sumber Distributed Generation, sistem penyimpanan energi, serta beban yang dapat beroperasi secara terhubung dengan jaringan utama atau secara mandiri. Melalui konsep ini, Distributed Generation dapat dimanfaatkan secara lebih efektif untuk meningkatkan efisiensi, keandalan, serta keberlanjutan sistem tenaga listrik.[10]

C. Control Fuzzy type 2

Sistem tenaga listrik modern mengalami perkembangan pesat seiring dengan meningkatnya kebutuhan energi dan integrasi sumber energi terbarukan. Salah satu solusi yang banyak dikembangkan adalah AC microgrid, yaitu sistem jaringan listrik skala kecil yang mampu beroperasi secara mandiri maupun terhubung dengan jaringan utama (*grid-connected*). AC microgrid terdiri dari berbagai sumber energi terdistribusi (*Distributed Generation/DG*) seperti panel surya, turbin angin, dan generator konvensional, yang dihubungkan melalui inverter ke jaringan AC.

Dalam pengoperasian AC microgrid, salah satu aspek yang sangat penting adalah pengendalian pembagian daya (*power sharing control*). Tujuan utama dari *power sharing* adalah memastikan bahwa setiap sumber energi terbagi terhadap beban secara proporsional sesuai dengan kapasitasnya, sehingga sistem dapat bekerja secara efisien, stabil, dan andal. Selain itu, pengendalian ini juga bertujuan untuk menjaga kestabilan frekuensi dan tegangan dalam batas yang diizinkan.[11]

Struktur dasar dari Fuzzy Logic Type-2 terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu fuzzifikasi, basis aturan (*rule base*), mesin inferensi (*inference engine*), reduksi tipe (*type reduction*), dan defuzzifikasi. Pada tahap fuzzifikasi, sinyal input yang berupa nilai crisp diubah menjadi himpunan fuzzy. Selanjutnya, aturan-aturan IF-THEN digunakan dalam basis aturan untuk menentukan hubungan antara input dan output. Mesin inferensi kemudian memproses aturan tersebut untuk menghasilkan output fuzzy Type-2. Tahap berikutnya adalah *type reduction*, yaitu proses konversi dari fuzzy Type-2 menjadi fuzzy Type-1, yang kemudian diubah menjadi nilai crisp melalui defuzzifikasi.[12]

Dalam penerapan pada AC microgrid, Fuzzy Type-2 digunakan sebagai pengendali untuk menggantikan atau melengkapi droop control. Input yang digunakan dalam sistem ini umumnya berupa error daya aktif dan reaktif, yaitu selisih antara daya referensi dan daya aktual. Secara matematis, error daya aktif dapat dinyatakan sebagai:

$$e_p = P_{ref} - P \quad (1)$$

dan perubahan error sebagai:

$$\Delta e_p = e_p(t) - e_p(t-1) \quad (2)$$

Demikian pula untuk daya reaktif:

$$e_q = Q_{ref} - Q \quad (3)$$

Input-input ini kemudian diproses oleh Fuzzy Type-2 untuk menghasilkan output berupa koreksi frekuensi (Δf) dan koreksi tegangan (ΔV). Dengan demikian, persamaan kontrol menjadi:

$$f = f_0 + \Delta f_{fuzzy} \quad (4)$$

$$V = V_0 + \Delta V_{fuzzy} \quad (5)$$

Penggunaan Fuzzy Type-2 dalam power sharing memberikan sejumlah keunggulan dibandingkan metode konvensional. Pertama, Fuzzy Type-2 memiliki kemampuan yang lebih baik dalam menangani ketidakpastian, baik yang berasal dari variasi beban maupun dari karakteristik sumber energi. Kedua, sistem ini lebih adaptif karena tidak memerlukan model matematis yang presisi. Ketiga, Fuzzy Type-2 mampu meningkatkan akurasi pembagian daya antar sumber energi, sehingga beban dapat didistribusikan secara lebih merata. Selain itu, metode ini juga mampu meningkatkan stabilitas sistem, terutama dalam menjaga frekuensi dan tegangan tetap berada dalam batas yang diizinkan saat terjadi gangguan.[13]

D. Power Sharing

Power sharing merupakan konsep fundamental dalam sistem microgrid yang bertujuan membagi daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) secara proporsional di antara beberapa sumber energi yang beroperasi paralel, seperti inverter, generator, dan energi terbarukan. Daya aktif berkaitan dengan frekuensi sistem, sedangkan daya reaktif berperan dalam pengaturan tegangan, sehingga keduanya harus dikendalikan secara terkoordinasi untuk menjaga stabilitas dan efisiensi sistem.[14]

Metode yang umum digunakan adalah droop control, yang mengatur hubungan antara P–frekuensi dan Q–tegangan tanpa memerlukan komunikasi antar sumber. Meskipun sederhana dan mudah diimplementasikan, metode ini memiliki keterbatasan dalam akurasi pembagian daya, terutama akibat perbedaan impedansi jaringan. Alternatif lainnya adalah metode berbasis komunikasi yang menawarkan akurasi lebih tinggi, namun memerlukan infrastruktur yang kompleks.[15]

Sebagai solusi, dikembangkan intelligent power sharing berbasis kecerdasan buatan, seperti fuzzy logic, khususnya fuzzy type-2, yang mampu menangani ketidakpastian sistem dan meningkatkan respons terhadap perubahan beban. Dengan pendekatan ini, microgrid dapat beroperasi lebih adaptif, stabil, dan andal dalam menghadapi dinamika sistem.[16]

E. Droop Control

Droop control merupakan metode pengendalian yang banyak digunakan pada sistem microgrid, khususnya pada inverter yang terhubung dengan Distributed Generation (DG). Metode ini berfungsi untuk mengatur pembagian daya aktif dan daya reaktif antar sumber energi tanpa memerlukan komunikasi langsung antar unit pembangkit. Konsep dasar droop control diadaptasi dari karakteristik generator sinkron konvensional, di mana perubahan daya akan memengaruhi frekuensi dan tegangan sistem.

Pada microgrid AC, droop control bekerja berdasarkan hubungan antara daya aktif terhadap frekuensi ($P-f$) dan

daya reaktif terhadap tegangan ($Q-V$). Ketika beban meningkat, daya aktif yang disuplai inverter juga meningkat sehingga frekuensi sistem mengalami penurunan kecil sesuai karakteristik droop. Begitu pula pada daya reaktif, peningkatan daya reaktif akan menyebabkan penurunan tegangan keluaran inverter. Dengan mekanisme tersebut, beberapa inverter dapat berbagi beban secara proporsional tanpa koordinasi komunikasi yang kompleks.

Hubungan droop control untuk daya aktif dan frekuensi dapat dinyatakan sebagai:

$$f = f_0 - m(P - P_0) \quad (1)$$

di mana f adalah frekuensi keluaran inverter, f_0 adalah frekuensi nominal, P adalah daya aktif keluaran, P_0 adalah daya aktif referensi, dan m merupakan koefisien droop daya aktif terhadap frekuensi.

Sedangkan hubungan antara daya reaktif dan tegangan dinyatakan dengan persamaan:

$$V = V_0 - n(Q - Q_0) \quad (2)$$

di mana V adalah tegangan keluaran inverter, V_0 adalah tegangan nominal, Q adalah daya reaktif keluaran, Q_0 adalah daya reaktif referensi, dan n merupakan koefisien droop daya reaktif terhadap tegangan.

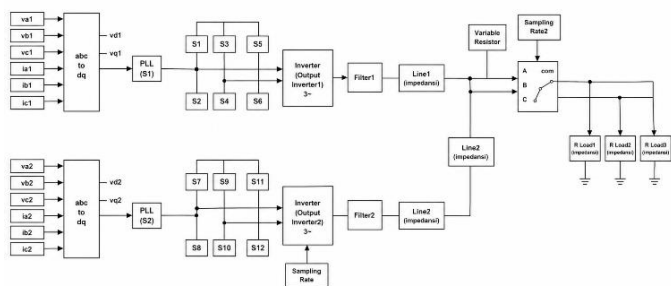
Keunggulan utama droop control adalah struktur kontrolnya yang sederhana, mudah diimplementasikan, serta mampu meningkatkan stabilitas dan fleksibilitas operasi microgrid, terutama pada mode islanded. Selain itu, metode ini memungkinkan pembagian daya yang lebih merata antar inverter dan meningkatkan keandalan sistem ketika terjadi perubahan beban. Namun demikian, droop control konvensional memiliki kelemahan berupa deviasi frekuensi dan tegangan akibat perubahan beban, sehingga sering dikombinasikan dengan secondary control atau metode cerdas seperti fuzzy logic untuk memperbaiki performa sistem.

Dalam penelitian microgrid modern, droop control banyak dikembangkan menggunakan metode adaptive control, virtual impedance, dan fuzzy control untuk meningkatkan akurasi pembagian daya aktif maupun daya reaktif serta memperbaiki respons transien sistem. Oleh karena itu, droop control menjadi salah satu teknik pengendalian yang sangat penting dalam pengembangan sistem microgrid berbasis energi terbarukan.[20]

III. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan kinerja pembagian daya (power sharing) pada sistem AC microgrid dengan menerapkan pengendali Fuzzy Logic Type-2 sebagai pengontrol cerdas. Pengendali ini dirancang untuk mengatasi ketidakpastian sistem dan perubahan beban yang terjadi selama operasi microgrid sehingga distribusi daya aktif dan daya reaktif antar Distributed Generation (DG) dapat berlangsung secara proporsional dan stabil.

A. Permodelan Sistem Microgrid



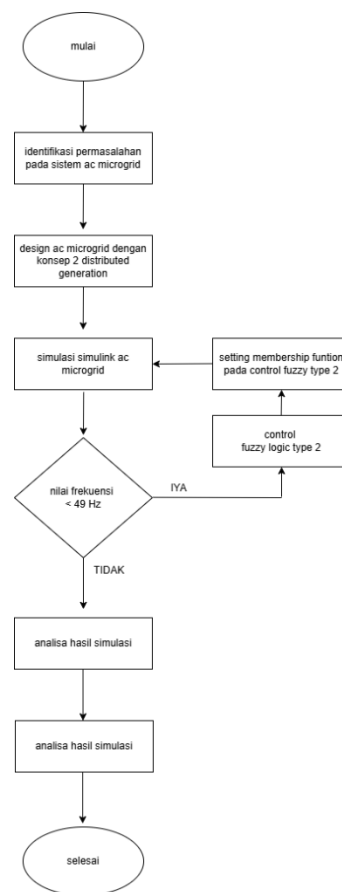
Gambar 1. Permodelan Sistem Microgrid

Gambar 1, Menunjukkan konfigurasi AC Microgrid yang terdiri dari dua unit Distributed Generation (DG) berbasis inverter tiga fasa yang beroperasi secara paralel untuk menyuplai beban. Pada masing-masing inverter, tegangan dan arus keluaran diukur kemudian diproses melalui transformasi $abc-dq$ dan Phase Locked Loop (PLL) untuk memperoleh informasi yang diperlukan dalam proses sinkronisasi dan pengendalian sistem.

Sinyal kontrol yang dihasilkan digunakan untuk mengatur sakelar inverter sehingga sumber tegangan DC dapat dikonversi menjadi AC tiga fasa. Keluaran inverter kemudian melewati filter untuk mengurangi harmonisa akibat proses switching dan meningkatkan kualitas daya yang disalurkan ke jaringan.

Selanjutnya, daya listrik dialirkan melalui impedansi saluran menuju titik sambung bersama (PCC). Pada sisi beban terdapat variable resistor dan beberapa beban resistif yang digunakan untuk mensimulasikan perubahan kondisi beban selama pengujian. Konfigurasi ini memungkinkan analisis terhadap kemampuan sistem dalam menjaga kestabilan tegangan dan frekuensi serta memastikan pembagian daya yang seimbang antar inverter ketika terjadi perubahan beban pada microgrid

B. Flowchart Sistem



Gambar 2. Flowchart Sistem

Gambar 2, Flowchart ini menjelaskan proses perancangan dan analisis Intelligent Power Sharing Control pada sistem AC microgrid menggunakan fuzzy type-2. Proses pertama dimulai dari identifikasi masalah seperti ketidakseimbangan daya, fluktuasi beban, dan keterbatasan droop control. Selanjutnya dilakukan perancangan sistem microgrid dan kontrol fuzzy type-2, lalu di implementasikan dalam simulasi MATLAB/Simulink. Hasil simulasi kemudian dievaluasi jika belum sesuai, dilakukan penyetelan ulang parameter fuzzy dan simulasi diulang, jika sudah sesuai, dilakukan analisis performa sistem. Tahap akhir menghasilkan kesimpulan bahwa metode fuzzy type-2 mampu meningkatkan stabilitas, pembagian daya, serta respon sistem terhadap gangguan, kemudian penelitian dinyatakan selesai.

IV. SIMULASI DAN ANALISA

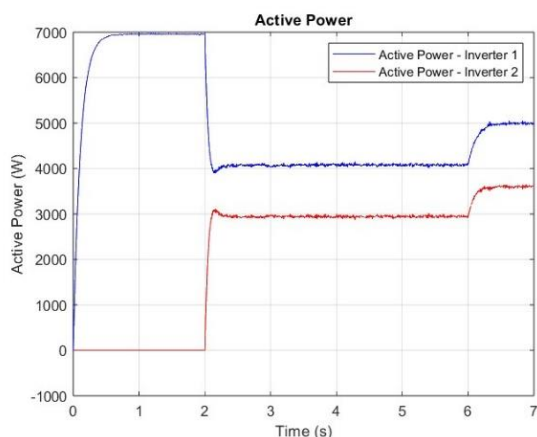
A. Hasil dalam kondisi basecase

Pada hasil awal ini menggunakan kondisi basecase Dimana pada kondisi ini sistem power sharing masih menggunakan sistem droop control konvensional Dimana pada grafik yang dihasilkan jika diberi gangguan hasil grafiknya masih terdapat osilasi yang sangat tinggi seperti contohnya pada grafik frekuensi masih terdapat drop yang sangat besar.

1) Hasil Active Power Basecase

Setelah sistem microgrid di jalankan dengan keadaan basecase

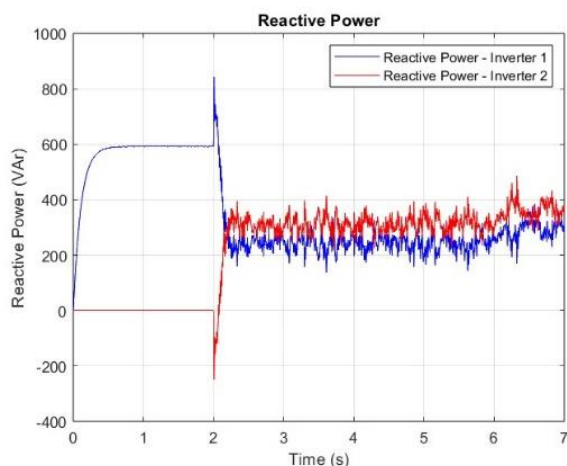
mendapatkan hasil active power, selanjutnya dapat dianalisa untuk mengetahui perbandingan basecase dengan sistem yang sudah menggunakan fuzzy type 2.



Gambar 3. Hasil Daya Aktif Kondisi Basecase

Gambar 3, Grafik Active Power pada kondisi basecase menunjukkan pembagian daya aktif antara dua inverter pada sistem microgrid. Pada awal simulasi, inverter 1 menyuplai seluruh beban sekitar 7000 W, sedangkan inverter 2 belum aktif. Pada detik ke-2, inverter 2 mulai bekerja sehingga terjadi pembagian daya, di mana inverter 1 turun menjadi sekitar 4000 W dan inverter 2 naik menjadi sekitar 3000 W. Selanjutnya pada detik ke-6 terjadi penambahan beban sehingga daya kedua inverter meningkat. Hasil ini menunjukkan sistem kontrol mampu melakukan load sharing namun pada grafik tersebut belum stabil karena pada saat terjadinya gangguan active power tersebut naik sangat tinggi dan Kembali untuk ke tegangan semula sangat lama.

2) Hasil Reactive Power Kondisi Basecase



Gambar 4. Hasil daya reaktif kondisi basecase

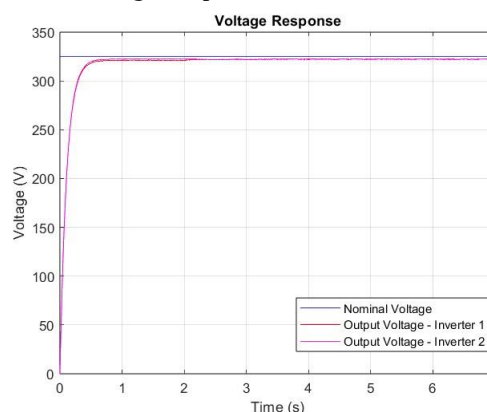
Gambar 4, Grafik reactive power tersebut menunjukkan bahwa pada kondisi awal hingga sekitar detik ke-2, inverter 1 menghasilkan daya reaktif yang cukup tinggi dan meningkat hingga mencapai kondisi stabil di sekitar 600 VAr, sedangkan inverter 2 masih berada pada nilai mendekati nol. Kondisi ini

menunjukkan bahwa pembagian daya reaktif antar inverter belum terjadi secara merata pada saat awal operasi sistem.

Pada detik ke-2 terjadi perubahan kondisi atau gangguan pada sistem yang menyebabkan respon transien berupa lonjakan dan penurunan daya reaktif secara tiba-tiba. Inverter 1 mengalami penurunan daya reaktif yang signifikan, sedangkan inverter 2 mengalami kenaikan daya reaktif. Setelah gangguan terjadi, kedua inverter mulai membagi daya reaktif secara lebih seimbang dengan nilai rata-rata berada pada kisaran 250–400 VAr.

Pada detik ke-6 terdapat kenaikan yang tidak signifikan namun kenaikan tersebut adalah terjadinya gangguan kedua dengan demikian pada sistem tersebut masih belum sepenuhnya stabil karena masih terdapat banyak osilasi pada grafik tersebut.

3) Hasil Voltage Response Kondisi Basecase



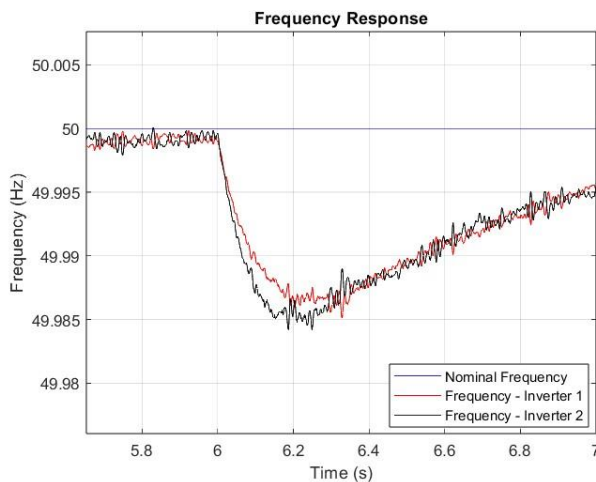
Gambar 5. Hasil Respon Tegangan Kondisi Basecase

Gambar 5, Grafik *voltage response* menunjukkan respon tegangan pada sistem microgrid terhadap waktu simulasi. Pada awal simulasi, tegangan mengalami kenaikan secara cepat dari kondisi nol hingga mencapai nilai nominal sekitar 320 V dalam waktu yang singkat. Respon ini menunjukkan bahwa sistem kontrol mampu membawa tegangan menuju kondisi referensi dengan cepat tanpa mengalami keterlambatan yang besar.

Setelah mencapai nilai nominal, tegangan sistem cenderung stabil dan konstan hingga akhir simulasi. Kurva tegangan inverter 1 dan inverter 2 juga terlihat hampir berhimpit, yang menandakan bahwa kedua inverter memiliki performa pengaturan tegangan yang baik dan mampu menjaga sinkronisasi tegangan pada sistem microgrid. Namun pada grafik tegangan tersebut tegangan yang dihasilkan tidak Kembali ke tegangan yang dituntukan.

Selain itu, grafik tidak menunjukkan adanya overshoot maupun osilasi yang signifikan setelah kondisi tunak tercapai. Hal ini menunjukkan bahwa kontrol tegangan yang digunakan memiliki kestabilan yang baik dalam mempertahankan tegangan sistem tetap berada di sekitar nilai nominal meskipun sistem beroperasi secara paralel. Namun pada grafik tegangan tersebut tegangan yang dihasilkan tidak Kembali ke tegangan yang dituntukan.

4) Hasil Frekuensi Response Kondisi Basecase



Gambar 6. Hasil Frekuensi Response Kondisi Basecase

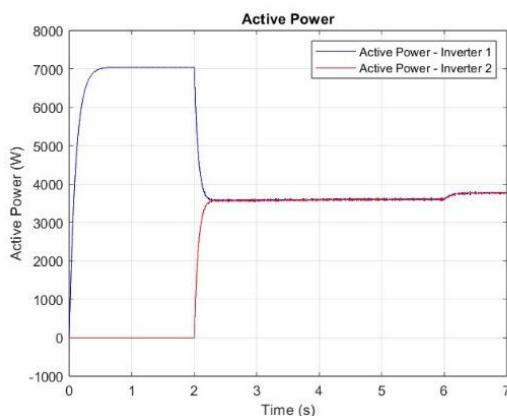
Gambar 6, Grafik hasil dari frekuensi respon,imana pada grafik tersebut pada kondisi awal dapat dilihat frekuensi masih di 50Hz namun pada saat detik ke 6 terjadinya gangguan hingga terjadi drop frekuensi hingga 49,98 Hz, setelah terjadinya drop frekuensi yang dikarenakan gangguan selanjutnya pada detik ke 6.4 frekuensi Kembali naik namun tidak Kembali ke frekuensi 50 Hz bahkan pada detik selanjutnya frekuensi tidak Kembali ke 50Hz namun hanya naik sampai frekuensi 49,99Hz saja.

Dengan hasil pada gambar tersebut dapat disimpulkan bahwa pada sistem droop control konvensional ini terbukti tidak bisa menstabilkan frekuensi secara cepat setelah terjadinya gangguan yang mengakibatkan frekuensi jatuh.

B. Hasil Dalam Kondisi Sudah Fuzzy

Pada hasil simulasi kondisi menggunakan fuzzy ini fuzzy yang dipakai adalah type 2 dengan jenisnya adalah mamdani dan pada simulasi ini menggunakan membership function berjumlah 5 membeship function pada simulasi ini pada rangkain control yang awalnya droop control diubah menjadi sistem fuzzy type 2.

1) Hasil Active Power Menggunakan Fuzzy



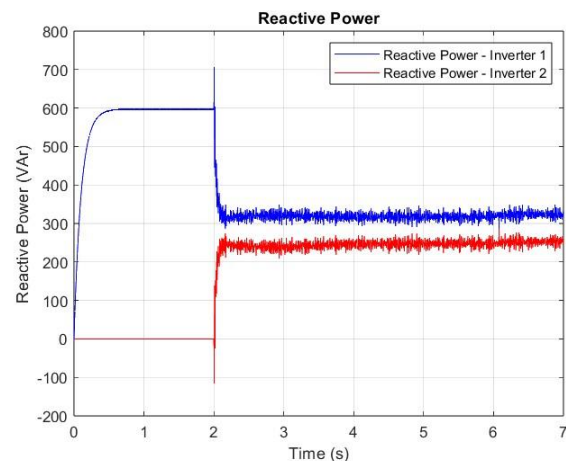
Gambar 7. Hasil Daya Aktif Menggunakan Fuzzy Type 2

Gambar 7, ini interval waktu 0 hingga 2 detik, terlihat bahwa Inverter 1 menyuplai daya aktif secara penuh hingga mencapai sekitar 7000 W. Respons kenaikan daya terjadi dengan cepat dan stabil, yang menunjukkan bahwa kontrol Fuzzy Type-2 mampu menghasilkan respons transien yang baik dengan waktu naik (*rise time*) yang singkat dan overshoot yang kecil. Pada kondisi ini, Inverter 2 belum memberikan kontribusi daya sehingga nilai dayanya masih berada di sekitar nol.

Pada saat detik ke 2 detik terjadi perubahan kondisi operasi sistem, yang ditunjukkan dengan penurunan daya pada Inverter 1 dan kenaikan daya pada Inverter 2. Perubahan ini mengindikasikan adanya proses *power sharing* atau pembagian beban antar inverter. Daya aktif pada Inverter 1 turun dari sekitar 7000 W menjadi sekitar 3600–3700 W, sedangkan daya aktif pada Inverter 2 meningkat hingga mencapai nilai yang hampir sama. Kondisi ini menunjukkan bahwa kedua inverter berhasil membagi daya secara proporsional dan seimbang.

Pada detik ke 6 terjadi sedikit terdapat gangguan namun karena sudah menggunakan control fuzzy 2 sehingga pada saat terjadinya gangguan pada daya aktif kenaikan pada grafik tidak signifikan. Sehingga dibandingkan dengan yang menggunakan droop control sistem fuzzy lebih mengatasi gangguan lebih cepat.

2) Hasil Reactive Power Menggunakan Fuzzy



Gambar 8. Hasil Daya Reaktif Menggunakan Fuzzy Type 2

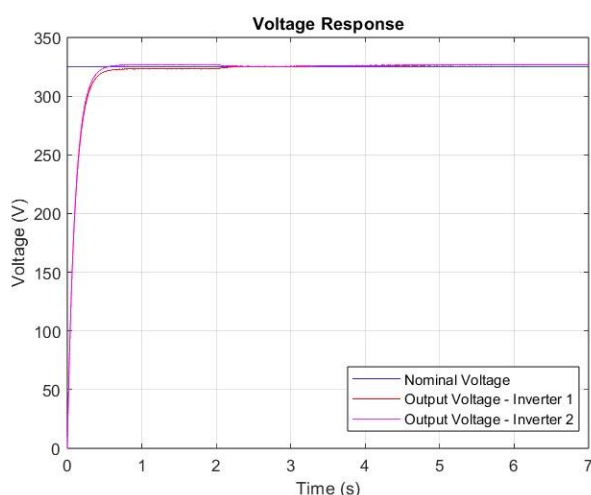
Gambar 8, Hasil dari grafik reactive power terlihat pada grafik tersebut yang berwarna biru adalah reactive power inverter 1 dan untuk yang merah merupakan reactive power inverter 2 dan dapat dilihat bahwa Pada interval waktu 0 hingga 2 detik, terlihat bahwa Inverter 1 menyuplai daya reaktif sebesar kurang lebih 600 VAR. Respons sistem mengalami kenaikan yang cepat menuju kondisi stabil tanpa osilasi yang besar. Hal ini menunjukkan bahwa kontrol Fuzzy Type-2 mampu memberikan respons transien yang baik dan menjaga kestabilan daya reaktif pada sistem.

Pada saat $t = 2$ detik terjadi perubahan kondisi operasi sistem, yang kemungkinan disebabkan oleh penambahan beban atau aktivasi inverter kedua dalam mekanisme *reactive power sharing*. Setelah perubahan tersebut, daya reaktif Inverter 1 mengalami penurunan dari sekitar 600 VAR menjadi sekitar 320–340 VAR. Di sisi lain, daya reaktif Inverter 2 meningkat dari 0 VAR menjadi sekitar 240–260 VAR.

Setelah melewati kondisi transien, sistem mencapai kondisi (*steady state*) pada rentang waktu sekitar 2,5 detik hingga akhir simulasi. Pada kondisi ini terlihat adanya sedikit (*ripple*) atau fluktuasi kecil pada kedua kurva daya reaktif. Namun amplitudo fluktuasi tersebut relatif kecil sehingga sistem tetap dapat dikategorikan stabil. Fluktuasi kecil ini umum terjadi pada sistem inverter akibat proses switching dan dinamika kontrol daya reaktif.

Berdasarkan grafik tersebut, dapat disimpulkan bahwa metode Fuzzy Logic Type-2 mampu mengontrol dan membagi daya reaktif antar inverter dengan baik.

3) Hasil Voltage Response Menggunakan Fuzzy



Gambar 9. Hasil Respon Tegangan Menggunakan Fuzzy Type 2

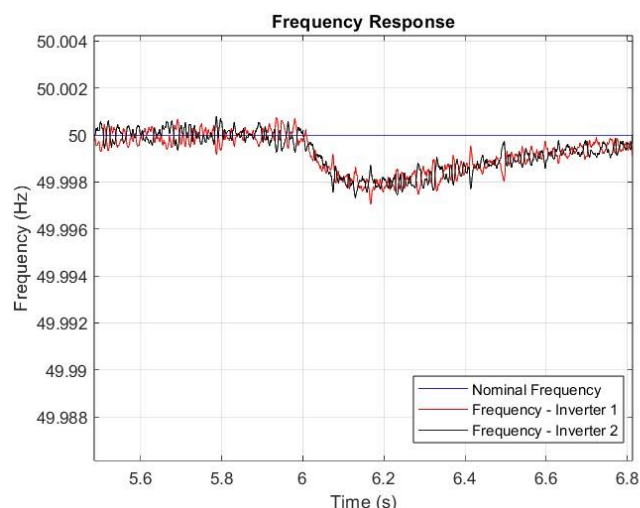
Gambar 9, Grafik tersebut, terlihat bahwa pada kondisi awal sistem mengalami kenaikan tegangan yang sangat cepat dari 0 V menuju tegangan nominal sekitar 320–325 V. Respons transien terjadi dalam waktu yang singkat, yaitu kurang dari 1 detik. Hal ini menunjukkan bahwa kontrol Fuzzy Type-2 mampu mempercepat proses pencapaian tegangan referensi (*setpoint*) dengan baik.

Di sekitar waktu $t = 2$ detik terlihat adanya perubahan kecil pada sistem, namun tegangan keluaran tetap stabil dan segera menyesuaikan kembali ke nilai nominal tanpa osilasi yang berarti. Respons ini menunjukkan bahwa metode Fuzzy Type-2 memiliki kemampuan adaptasi yang baik terhadap perubahan kondisi operasi maupun gangguan pada sistem.

Dengan performa tersebut, metode Fuzzy Type-2 sangat efektif diterapkan pada sistem inverter paralel dan microgrid

karena mampu menjaga kualitas tegangan serta meningkatkan kestabilan sistem tenaga Listrik

4) Hasil Frekuensi Response Menggunakan Fuzzy



Gambar 10. Hasil Frekuensi Response Menggunakan Fuzzy Type 2

Gambar 10, Grafik tersebut, terlihat bahwa frekuensi kedua inverter berada sangat dekat dengan frekuensi nominal 50 Hz. Hal ini menunjukkan bahwa metode kontrol Fuzzy Type-2 mampu menjaga kestabilan frekuensi sistem dengan baik selama proses operasi berlangsung.

Pada rentang waktu sekitar 4,8 hingga 5,9 detik, frekuensi inverter mengalami fluktuasi kecil di sekitar nilai nominal. Fluktuasi tersebut masih berada dalam batas toleransi yang sangat kecil, sehingga tidak mempengaruhi kestabilan sistem secara signifikan. (*ripple*) pada grafik umumnya disebabkan oleh proses switching inverter, dinamika kontrol, maupun perubahan kecil pada beban sistem.

Pada sekitar $t = 6$ detik terlihat adanya gangguan atau perubahan kondisi operasi yang menyebabkan frekuensi kedua inverter mengalami penurunan sesaat hingga berada di bawah 50 Hz. Penurunan frekuensi ini menunjukkan adanya respons sistem terhadap perubahan beban atau gangguan daya pada jaringan.

Meskipun terjadi penurunan frekuensi, kontroler Fuzzy Type-2 mampu mengembalikan frekuensi menuju nilai nominal dengan cepat. Respons pemulihan berlangsung secara halus tanpa osilasi berlebihan, sehingga sistem kembali stabil dalam waktu singkat. Hal ini menunjukkan bahwa kontrol Fuzzy Type-2 memiliki kemampuan *dynamic response* dan *robustness* yang baik terhadap gangguan sistem.

Table 1. Perbandingan Fuzzy Dengan Metode Konvensional

Parameter analisis	Control Fuzzy type 2	Droop Control konvensional
Pembagian Daya Aktif ($t = 2.5 - 6.0$ s)	Seimbang (Ideal): Inv 1 ~ 3600 W Inv 2 ~ 3600 W	Tidak Seimbang (Ada Gap): Inv 1 ~ 4100 W Inv 2 ~ 2900 W
Pembagian Daya Reaktif ($t = 2.5 - 6.0$ s)	Ada Selisih Sedikit: Inv 1 ~ 320 VAr Inv 2 ~ 240 VAr	Saling Berpotongan (Osilatif): Inv 1 & Inv 2 berosilasi acak di kisaran 200 - 400 VAr.
Respon Daya Aktif saat Load Step ($t = 6.0 - 7.0$ s)	Beban tambahan terbagi rata: Inv 1 naik ke ~3800 W Inv 2 naik ke ~3800 W	Beban tambahan tidak seimbang: Inv 1 naik ke ~5000 W Inv 2 naik ke ~3600 W
Respon Frekuensi saat Load Step ($t = 6.0 - 7.0$ s)	Penurunan Sangat Kecil: Drop hingga ~49.998 Hz, lalu stabil ke ~49.999 Hz.	Penurunan Lebih Dalam: Drop cukup signifikan hingga ~49.985 Hz sebelum perlahan naik.
Regulasi Tegangan Output (Seluruh Waktu)	Stabil kokoh mendekati nominal ~325 V.	Stabil kokoh mendekati nominal ~322 V.

Berdasarkan Tabel 1 Analisis Parameter, dapat disimpulkan bahwa metode kontrol fuzzy type-2 memberikan kinerja yang lebih baik dibandingkan droop control konvensional dalam pengelolaan sistem microgrid. Pada pembagian daya aktif, kontrol fuzzy type-2 mampu mendistribusikan daya secara seimbang antara inverter 1 dan inverter 2 dengan masing-masing sekitar 360 W, sedangkan metode konvensional menunjukkan ketidakseimbangan pembagian daya dengan selisih yang cukup besar antar inverter.

Pada pembagian daya reaktif, kontrol fuzzy type-2 juga menghasilkan distribusi daya yang lebih stabil dan mendekati seimbang. Sebaliknya, droop control konvensional mengalami fenomena osilasi dan saling berpotongan antar inverter sehingga menyebabkan ketidakstabilan pembagian daya reaktif.

Ketika terjadi penambahan beban pada interval waktu 6–7 detik, kontrol fuzzy type-2 mampu membagi kenaikan daya

secara merata sehingga kedua inverter menanggung beban yang hampir sama. Pada metode konvensional, kenaikan daya cenderung tidak merata dan lebih banyak ditanggung oleh inverter tertentu.

Dari sisi respons frekuensi, kontrol fuzzy type-2 menunjukkan performa yang lebih baik dengan penurunan frekuensi yang sangat kecil dan pemulihan yang cepat menuju kondisi nominal. Sementara itu, droop control konvensional mengalami penurunan frekuensi yang lebih besar dan membutuhkan waktu lebih lama untuk kembali stabil.

Selain itu, regulasi tegangan keluaran pada kontrol fuzzy type-2 lebih dekat dengan nilai nominal sekitar 325 V dibandingkan metode konvensional yang berada di sekitar 322 V. Hasil ini menunjukkan bahwa penerapan kontrol fuzzy type-2 mampu meningkatkan kualitas pembagian daya, menjaga kestabilan frekuensi, serta mempertahankan tegangan sistem dengan lebih baik dibandingkan droop control konvensional.

V. KESIMPULAN

Setelah menjalankan simulasi pada matlab didapat hasil penelitian yang telah dilakukan pada permodelan sistem AC microgrid, dapat disimpulkan bahwa metode Power Sharing Control menggunakan Fuzzy Logic Type-2 mampu meningkatkan performa sistem dibandingkan dengan metode droop control konvensional. Sistem yang dirancang berhasil melakukan pembagian daya aktif dan daya reaktif antar inverter secara lebih baik dan lebih seimbang, terutama saat terjadi perubahan beban maupun gangguan pada sistem microgrid.

Pada kondisi basecase, sistem masih mengalami beberapa kelemahan seperti munculnya osilasi yang cukup besar, Respon sistem yang lambat setelah terjadi gangguan, serta kestabilan frekuensi dan tegangan yang belum optimal. Hal ini terlihat pada respon frekuensi yang mengalami penurunan cukup besar dan membutuhkan waktu lebih lama untuk kembali mendekati nilai nominal.

Setelah menggunakan kontrol Fuzzy Logic Type-2, performa sistem mengalami peningkatan yang cukup signifikan. Didapat hasil simulasi menunjukkan bahwa respon transien sistem menjadi lebih cepat, Overshoot dapat dikurangi, dan osilasi pada grafik daya, tegangan, maupun frekuensi menjadi lebih kecil. Sistem juga mampu mempertahankan kestabilan frekuensi di sekitar nilai nominal 50 Hz serta menjaga tegangan tetap stabil pada kondisi operasi normal maupun saat terjadi gangguan.

Saat pengujian power sharing, Metode Fuzzy Type-2 mampu membagi daya aktif dan daya reaktif antar inverter secara lebih sesuai dengan kondisi sistem. Ketika terjadi perubahan beban pada detik tertentu, inverter dapat menyesuaikan suplai daya dengan cepat sehingga sistem tetap berada dalam kondisi stabil. Hal ini menunjukkan bahwa kontrol Fuzzy Type-2 memiliki kemampuan adaptasi yang bagus terhadap perubahan kondisi operasi dan ketidakpastian pada sistem microgrid.

Pada penerapan Fuzzy Logic Type-2 juga menunjukkan kemampuan yang lebih baik dalam menangani karakteristik

sumber energi terbarukan seperti PLTS yang memiliki keluaran daya tidak stabil akibat perubahan radiasi matahari dan kondisi lingkungan. Dengan kemampuan menangani ketidakpastian tersebut, sistem kontrol menjadi lebih andal dan efisien untuk diterapkan pada microgrid modern berbasis energi terbarukan.

Ada beberapa hal yang perlu disarankan untuk pengembangannya judul ini Berdasarkan hasil perancangan dan analisis yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya. Pertama, penelitian selanjutnya dapat mengembangkan sistem AC microgrid dengan kondisi operasi yang lebih kompleks, seperti penambahan jumlah Distributed Generation (DG), variasi kapasitas inverter, serta perubahan jenis dan pola beban yang lebih beragam.

Kedua, Pengembangan metode pengendalian dapat dilakukan dengan melakukan optimasi parameter pada Fuzzy Type-2, khususnya pada fungsi keanggotaan, rule base, dan faktor penskalaan input maupun output. Hal tersebut diharapkan dapat meningkatkan kemampuan sistem dalam merespons perubahan beban dan menjaga kestabilan pembagian daya aktif maupun daya reaktif.

Ketiga, Penelitian selanjutnya dapat membandingkan kinerja metode Fuzzy Type-2 dengan metode pengendalian cerdas lainnya, seperti Fuzzy Type-1, Adaptive Control, atau metode berbasis optimasi. Perbandingan tersebut dapat dilakukan berdasarkan parameter respons frekuensi, tegangan, waktu pemulihan, serta akurasi power sharing.

PERNYATAAN

Pernyataan Penggunaan Kecerdasan Artifisial

Penulis menggunakan ChatGPT sebagai alat bantu dalam proses penyusunan artikel, khususnya untuk membantu pemeriksaan tata bahasa, penyuntingan, perbaikan struktur kalimat, dan penyempurnaan redaksi. Seluruh proses penelitian, pengolahan dan analisis data, interpretasi hasil, serta kesimpulan dilakukan dan diverifikasi oleh penulis. Penulis bertanggung jawab sepenuhnya atas isi, keakuratan, orisinalitas, dan integritas artikel.

Kontribusi Penulis

Penulis bertanggung jawab atas seluruh tahapan penelitian, meliputi perumusan masalah dan metodologi, penelitian, pelaksanaan pemodelan dan simulasi, pengumpulan serta pengolahan data, analisis dan interpretasi hasil, hingga penyusunan dan penyuntingan artikel

Pendanaan

Penelitian ini tidak memperoleh pendanaan dari pihak eksternal.

Konflik Kepentingan

Penulis menyatakan tidak terdapat konflik kepentingan yang berkaitan dengan penelitian dan publikasi artikel ini.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. Handini, H. B. Santoso, R. Setiabudy, and E. A. Setiawan, "Power Management of A Microgrid with A Distributed Energy Storage in Grid Connected and Islanded Modes," vol. 1, pp. 114–118, 2020.
- [2] M. Effendy and A. C. System, "Performance Comparison of Proportional-Integral and Fuzzy-PI for a Droop Control of DC Microgrid," 2020.
- [3] A. U. Krismanto, H. P. Waseso, A. Lomi, and E. Y. Setyawan, "Fuzzy based MPPT Control System in Grid Connected Solar Plant," vol. 01, no. 01, pp. 30–37, 2022.
- [4] Q. Sun, Q. Sun, and D. Qin, "Adaptive Fuzzy Droop Control for Optimized Power," 2019, doi: 10.3390/en12010045.
- [5] S. Swathi, B. S. Kumar, and J. Upendar, "Voltage and frequency stabilization by fuzzy integrated droop control of a multi renewable source micro grid," vol. 30, no. 3, pp. 1308–1320, 2023, doi: 10.11591/ijeecs.v30.i3.pp1308-1320.
- [6] A. Kusmantoro, *Sistem Mikrogrid*, vol. 1. 2022.
- [7] G. S. Spagnolo, "LED Rail Signals : Full Hardware Realization of Apparatus with Independent Intensity by Temperature Changes," pp. 1–12, 2021.
- [8] W. Bai and K. Lee, *Distributed Generation System Control Strategies in Microgrid Operation*, vol. 47, no. 3. IFAC, 2014. doi: 10.3182/20140824-6-ZA-1003.02116.
- [9] B. W. França *et al.*, "Sliding Droop Control for Distributed Generation in Microgrids SLIDING DROOP CONTROL FOR DISTRIBUTED GENERATION IN MICROGRIDS," pp. 429–439, 2017.
- [10] P. Khetrapal, "Distributed Generation : A Critical Review of Technologies , Grid Integration Issues , Growth Drivers and Potential Benefits," vol. 9, no. 2, pp. 189–205, 2020, doi: 10.14710/ijred.9.2.189-205.
- [11] S. Ahmadi, S. Shokoohi, and H. Bevrani, "Electrical Power and Energy Systems A fuzzy logic-based

- droop control for simultaneous voltage and frequency regulation in an AC microgrid,” *Int. J. Electr. POWER ENERGY Syst.*, vol. 64, pp. 148–155, 2015, doi: 10.1016/j.ijepes.2014.07.024.
- [12] N. A. Windarko, “A Comparison of Type-1 and Type-2 Fuzzy Logic Controller for Full Bridge Boost Converter on DC Microgrid System,” vol. 11, no. 4, pp. 1046–1060, 2023.
- [13] M. R. Djalal and I. Robandi, “Pemodelan Peramalan Beban pada System Sulselrabar Menggunakan Tipe-2 Logika Fuzzy,” vol. 19, no. 2, pp. 89–96, 2022.
- [14] C. Natesan, S. Ajithan, and S. Mani, “Applicability of Droop Regulation Technique in Microgrid - A Survey,” vol. 18, no. 3, pp. 23–36, doi: 10.4186/ej.2014.18.3.23.
- [15] A. W. N. Husna, M. A. Roslan, M. H. Mat, and A. Info, “Droop control technique for equal power sharing in islanded microgrid,” vol. 10, no. 1, pp. 530–537, 2019, doi: 10.11591/ijpeds.v10.i1.pp530-537.
- [16] A. De Wibowo, M. Sidik, and H. Lumbantobing, “A Novel Interval Type-2 Fuzzy Logic Controller for Shunt Active Power Filters in Power Quality Enhancement,” vol. 6, no. 2, pp. 177–187, 2024, doi: 10.52005/fidelity.v6i2.248.
- [17] M. A. A. Bishri, M. E. Dalimunthe, and D. Lesmana, “Analysis of Reactive Power Flow in an Electric Power System,” vol. 6, no. 3, pp. 198–203, 2024, doi: 10.52005/fidelity.v6i3.237.
- [18] N. Raphson and J. Distribusi, “No Title,” vol. 12, no. 1, pp. 20–28, 2025.
- [19] B. Rudianta, M. Hafizhuddin, and A. Syakur, “Perbaikan Faktor Daya Beban Induktif di Industri dengan Menggunakan Kapasitor Shunt,” pp. 77–82, 2020
- [20] W. Aribowo, H. Suryoatmojo, F. A. Pamuji, U. N. Surabaya, and C. Author, “Improved Droop Control Based on Modified Osprey Optimization Algorithm in DC Microgrid,” vol. 5, no. 3, 2024, doi: 10.18196/jrc.v5i3.21347.