

DESAIN DAN ANALISIS *POWER SHARING* PADA *ALTERNATING CURRENT MICROGRID* DENGAN METODE *DROOP CONTROL*

¹Lauretti Yovita Lumban Gaol, ² Awan Uji Krismanto, ³ Irrine Budi Sulistiawati
Institut Teknologi Nasional Malang, Malang, Indonesia

¹laurettiyovita@gmail.com, ²awan_uji_krismanto@lecturer.itn.ac.id, ³irrine@lecturer.itn.ac.id

Abstrak— Dalam era modern, kebutuhan akan energi listrik semakin meningkat seiring dengan pertumbuhan populasi serta perkembangan teknologi yang pesat. Energi Terbarukan merupakan solusi yang bisa diimplementasikan karena bersifat aman, andal, dan ramah lingkungan. Penggunaan sumber energi terbarukan dalam kelistrikan disebut dengan *Distributed Generation* (DG). Dalam makalah ini pendekatan analitis dilakukan untuk mengevaluasi metode *droop control* pada mode *islanding*. Kondisi *islanding* terjadi ketika *microgrid* tidak terhubung dari grid utama (PLN) dan *distributed generation* (DG) mensuplai penuh beban yang terhubung ke sistem. *Droop control* adalah solusi utama pada *power sharing* antar DG dalam jaringan mikro, dimana pada mode ini tidak ada dukungan dari jaringan distribusi listrik. Makalah ini mengusul mode simulasi *power sharing* dengan simulink. *Microgrid* terdiri dari tiga subsistem inverter paralel, dengan daya masing-masing diatur kapasitasnya sesuai dengan *case* yang akan dijalankan dan terhubung ke bus PCC (*Point-of-Common-Coupling*). Berdasarkan hasil simulasi, Inverter dengan *droop* yang lebih kecil yaitu 1% akan memberikan kontribusi daya lebih banyak saat terjadi peningkatan beban, dan sebaliknya

Kata Kunci— *Distributed Generation, Droop Control, Power sharing, Microgrid*

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Dalam era modern, kebutuhan akan energi listrik yang semakin meningkat seiring dengan pertumbuhan populasi serta perkembangan teknologi yang pesat. Kebutuhan ini dapat ditemukan di sektor industri, transportasi, dan rumah tangga. Namun, penggunaan sumber energi konvensional banyak menimbulkan dampak negatif pada lingkungan sekitar dan juga merusak ketersediaan sumber daya alam yang ada.

Energi Terbarukan merupakan solusi yang bisa diimplementasikan karena bersifat aman, andal, dan ramah lingkungan. Penggunaan sumber energi terbarukan dalam

kelistrikan menjadikan *microgrid* sebagai sistem interkoneksi beban. *Microgrid* terdiri dari pembangkit energi terbarukan dan sistem penyimpanan energi [1] dan dapat beroperasi secara mandiri atau terhubung ke jaringan listrik utama. Jika terhubung ke jaringan listrik utama, *microgrid* dapat memasok kelebihan daya ke jaringan listrik utama sementara dalam kondisi operasi mandiri, *microgrid* bergantung pada sumber daya internalnya. Konsep *microgrid* sangat penting dalam mengembangkan sistem kelistrikan yang ramah lingkungan dan berkelanjutan, karena memungkinkan penggunaan sumber energi terbarukan dan sistem penyimpanan energi untuk menghasilkan dan menyimpan energi yang bersih dan ramah lingkungan.

Pemanfaatan sumber energi terbarukan dalam kelistrikan disebut dengan *Distributed Generation* (DG). *Distributed Generation* (DG) merupakan pembangkit listrik skala kecil yang dekat dengan beban. Penggunaan *Distributed Generation* dapat meningkatkan efisiensi sistem secara keseluruhan, mengurangi kerugian transmisi, mengurangi polusi dan pencemaran lingkungan serta menjamin kelangsungan distribusi tenaga listrik. Namun, peningkatan signifikan dalam penggunaan DG akan menyebabkan masalah kestabilan tegangan dan frekuensi yang disebabkan oleh perubahan cepat pada tingkat pembangkitan dan pembebanan [2]. Hal ini akan berdampak pada keandalan dan keamanan sistem.

Untuk memastikan distribusi daya yang seimbang antar sumber energi dalam *microgrid*, dilakukan pendekatan yang umum yaitu *power sharing* dengan metode *droop control*. Metode *droop control* pada inverter dalam *microgrid* memungkinkan sumber daya yang berbeda seperti panel surya, turbin angin, dan penyimpanan energi untuk berbagi beban secara seimbang sesuai dengan karakteristik daya yang diinginkan dengan mengatur daya keluaran dari setiap sumber daya berdasarkan karakteristik *droop* yang ditentukan. Untuk menjaga agar frekuensi sistem stabil pada

saat *power sharing* digunakan teknik *droop control*. Teknik ini sangat berguna untuk menghitung nilai frekuensi ketika terjadi ketidakseimbangan daya atau fluktuasi beban. Perhitungan nilai frekuensi pada sistem menjadi acuan untuk menentukan sinyal kontrol/kendali sistem *microgrid*.

Pada pengoperasiannya, DG diintegrasikan ke dalam jaringan distribusi listrik melalui *microgrid*. *Microgrid* merupakan unit kontrol beban dan beberapa DG yang dapat beroperasi dalam dua mode. Yaitu dapat dihubungkan ke jaringan utama atau terputus dari jaringan utama. Untuk memastikan integrasi yang optimal dari sumber daya ke dalam jaringan *microgrid*, pada skripsi ini akan didesain dan dianalisis mengenai kestabilan tegangan dan frekuensi pada *microgrid* untuk operasi paralel tiga inverter tiga fasa yang dapat dikendalikan dengan mengubah nilai *droop*

B. Rumusan Masalah

1. Bagaimana mendesain sistem *power sharing* pada *Alternating Current microgrid* ?
2. Bagaimana mengatur kestabilan frekuensi tetap stabil pada kondisi terputus dari grid utama (*islanding*) saat kapasitas pembangkit dan pengaturan *droop* yang berubah?

C. Tujuan dan Manfaat Penelitian

1. Mendapatkan permodelan sistem pembagian daya (*power sharing*) pada *Alternating Current microgrid*.
2. Menganalisa kestabilan frekuensi pada *microgrid* yang dikendalikan dengan *droop control*.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Microgrid

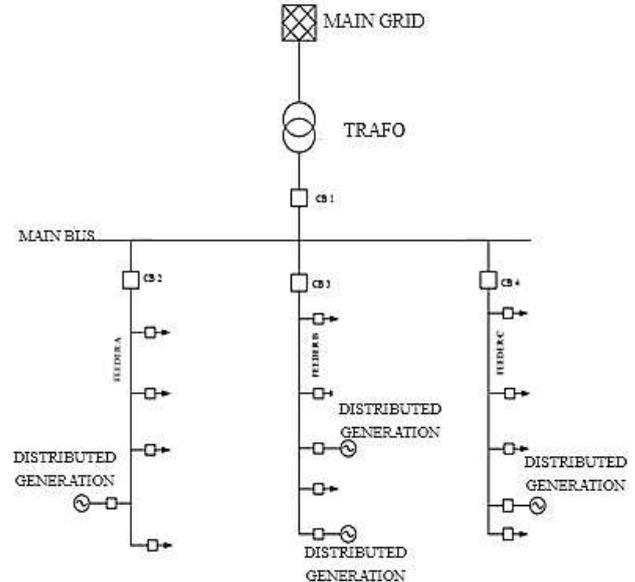
Microgrid adalah model pembangkitan listrik terdistribusi yang dapat mencakup berbagai jenis energi serta energi baru terbarukan seperti energi angin, energi matahari, biogas, dan pembangkit listrik tenaga mikrohidro [3]. Secara definisi, *microgrid* adalah interkoneksi beban yang menggabungkan berbagai sumber energi yang terdistribusi kedalam satu sistem. *Microgrid* dapat beroperasi secara paralel dengan sistem yang lebih besar dan saling terhubung atau secara mandiri.

Microgrid juga dapat didefinisikan sebagai bagian dari jaringan distribusi yang terintegrasi dengan *distributed generation* dan beban lokal. *Microgrid* dirancang untuk menyalurkan listrik di suatu area dengan tingkat tegangan distribusi. Dalam pengoperasiannya, *microgrid* memiliki generator sendiri yaitu DG yang terletak di dekat pusat beban. Pembangkit yang digunakan dalam *microgrid* biasanya bersifat terbarukan atau non-konvensional [4].

B. Grid Connected

Dalam mode *grid-connected*, *microgrid* terhubung ke grid utama, yang memberi *Distributed Generation* kemampuan

untuk mensuplai daya ke beban menggunakan grid utama. Dalam mode *swing*, grid utama PLN bertindak sebagai sumber yang tak terbatas, dan grid utama akan memasok daya yang belum terpenuhi oleh pembangkit. Kondisi dimana *microgrid* terhubung ke jaringan listrik utama disebut sebagai mode *grid connected*. Pada mode ini, *microgrid* dapat mengirim atau menerima daya listrik ke atau dari jaringan listrik utama, tergantung pada kebutuhan

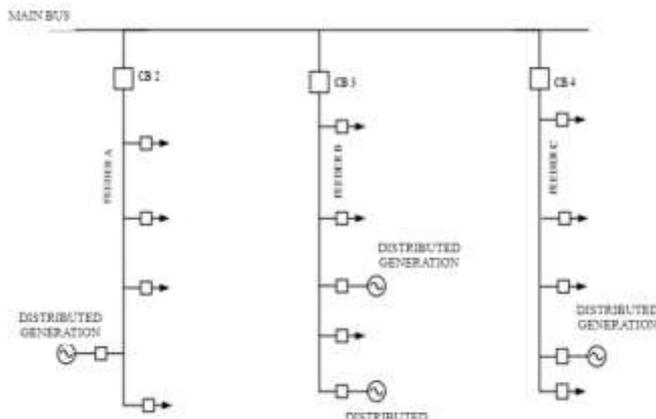


Gambar 1. Mode Grid Connected

Selain itu, mode *grid connected* juga memungkinkan *microgrid* untuk mempertahankan keseimbangan daya dan frekuensi dengan jaringan listrik utama, serta mematuhi regulasi dan standar yang berlaku [5]

C. Islanding

Kondisi *islanding* terjadi ketika *microgrid* tidak terhubung dari grid utama (PLN) dan *distributed generation* (DG) mensuplai penuh beban yang terhubung ke sistem. Ketika terjadi gangguan agar dapat mensuplai beban, sistem *microgrid* akan berubah menjadi mode *islanding*. Dalam kondisi ini, *microgrid* beroperasi tanpa bantuan jaringan utilitas utama yakni PLN dan *Distributed Generation* (DG) memasok penuh beban. Deviasi repon frekuensi selama *islanding* disebabkan oleh perubahan pembangkitan yang cepat mengikuti beban. [6]. Dalam mode ini, *microgrid* menggunakan sumber energi yang ada, seperti tenaga surya, tenaga angin, atau baterai, untuk menghasilkan daya listrik yang dikonsumsi oleh pengguna. Mode *islanding* memungkinkan *microgrid* untuk beroperasi secara mandiri dan mengurangi ketergantungan pada jaringan listrik utama.



Gambar 2. Mode Islanding

Perbedaan utama antara mode *grid connected* dan mode *islanding* adalah ketergantungan pada sumber daya yang digunakan dan cara microgrid berinteraksi dengan jaringan tenaga listrik utama. Mode *grid connected microgrid* menjaga keseimbangan antara daya impor dan daya ekspor dengan jaringan listrik utama, sementara mode *islanding microgrid* menghasilkan daya listrik menggunakan sumber energi yang ada dan mengurangi ketergantungan pada jaringan tenaga listrik utama [7] [5]

D. Distributed Generation

Distributed generation biasanya menggunakan sumber energi baru terbarukan seperti surya, angin, air, dan biomass atau sumber energi tidak terbarukan seperti diesel, uap, dan sel bahan bakar. Pada sistem distribusi tenaga listrik, pembangkit listrik yang berkapasitas kecil biasanya terletak dekat dengan beban. Karena penempatan DG yang tersebar, *distributed generation* dapat dipadukan kedalam sistem distribusi untuk menyuplai kebutuhan beban. Hasil dari beberapa penelitian menunjukkan bahwa DG:

1. Tidak terpusat dan dekat dengan beban
2. Kapasitas kurang dari 50 MW
3. Terhubung dengan sistem distribusi tegangan mencapai 145 kV.

Tabel berikut menunjukkan pengklasifikasian unit DG berdasarkan kapasitasnya. [8]:

Tabel 1. Tabel Pengklasifikasian Distributed Generation

Klasifikasi	Kapasitas	Tipe Instalasi
Micro	< 2 kW	Rooftop solar PV
Mini	2 kW – 10 kW	Fuel Cell
Kecil	10 Kw – 1 MW	Biomass, Small Hydro
Sedang	1 MW – 5 MW	Biomass, hydro, local wind, diesel
Besar	>5MW	Hydro, solar thermal, wind farm, diesel

E. Inverter

Salah satu komponen penting dari sistem microgrid adalah inverter, yang memiliki kemampuan untuk menghasilkan daya akan disuplai ke beban. [9]. Inverter berfungsi mengubah energi listrik searah, yang dihasilkan oleh sumber daya terbarukan seperti turbin angin atau surya, menjadi listrik bolak balik, yang kemudian dapat disuplai ke beban.

Inverter juga memungkinkan sistem *microgrid* untuk lebih efisien dalam menggunakan sumber daya terbarukan, karena sistem ini bisa disesuaikan dengan permintaan daya secara langsung. Selain itu inverter juga memungkinkan *microgrid* untuk beroperasi secara mandiri dan terpisah dari jaringan listrik utama. Oleh karena itu, untuk menghasilkan listrik bolak balik yang diinginkan, sistem kendali dan inverter sangat penting untuk sistem *microgrid*.

F. Power Sharing

Power Sharing pada *microgrid* adalah teknik yang digunakan untuk membagi daya listrik antara sumber daya dan beban listrik yang terhubung pada sistem microgrid. *Power sharing microgrid* merujuk pada pembagian beban dan pengaturan sistem untuk menjaga stabilitas dan efisiensi penggunaan energi di microgrid. Dalam *power sharing microgrid*, beban akan dibagi secara merata dan bersamaan ke berbagai sumber energi yang terhubung, seperti generator, energi terbarukan. *Power sharing microgrid* memastikan pembagian beban yang merata dan efisien diantara berbagai sumber energi, sehingga setiap sumber energi dapat menyediakan daya yang diperlukan dengan optimal [10] *Power sharing microgrid* menggunakan kontrol sistem, seperti *droop control* (P-F dan Q-V), untuk mengatur daya aktif dan reaktif, serta frekuensi. Dengan cara ini, sistem dapat menjaga stabilitas dan ketidakpastian selama transisi antar kondisi operasi [11]

G. Droop Control

Dalam *microgrid* DC, strategi droop daya/tegangan (P/V) digunakan untuk mengontrol pembagian daya dan kontrol tegangan. Metode ini terutama terdiri dari pengaturan frekuensi dan amplitudo tegangan untuk kestabilan dari daya nyata dan daya reaktif yang dimasukkan oleh inverter [2]

Dasar penggunaan kontrol droop dalam operasi paralel inverter adalah bahwa frekuensi berubah seiring bertambahnya atau berkurangnya beban. Teknik *droop control* memiliki karakteristik yaitu mengikuti perubahan beban pada inverter. Metode Droop terdiri dari dua yaitu P-F dan Q-V Droop.

Karakteristik droop mempengaruhi pembagian daya beban pada saat unit DG terhubung ke inverter paralel. Dengan kata lain, frekuensi akan mengikuti nilai referensi seiring bertambahnya beban [16]

H. P/F Droop Control

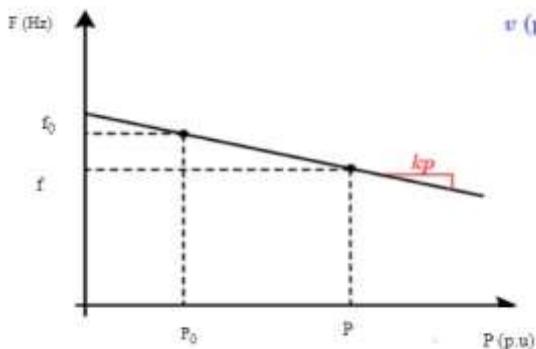
Ketika terjadi perubahan beban, P-F *droop control* memungkinkan pembagian daya yang akurat antara berbagai generator atau inverter, sehingga meminimalkan gangguan pada frekuensi sistem. Hal ini memungkinkan *microgrid* untuk tetap stabil selama transisi antar kondisi operasi, seperti saat terjadi perubahan beban. Dengan demikian, P-F *droop control* berperan penting dalam menjaga stabilitas transien pada *microgrid*, sehingga sistem dapat beroperasi secara mandiri dan responsif terhadap perubahan beban [12].

Persamaan berikut menunjukkan hubungan antara daya aktif dan frekuensi :

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

Dimana:

- f_0 = nilai frekuensi pada DG unit (Hz)
- P_0 = daya reaktif pada inverter (KW)
- Q_0 = daya reaktif pada inverter. (KVAR)
- KPV, KQV = koefisien droop



Gambar 3. Karakteristik P-F Droop Control

P-F *droop control* berperan penting dalam menjaga stabilitas transien pada *microgrid*, sehingga sistem dapat beroperasi secara mandiri dan responsif terhadap perubahan beban [13].

I. Q-V Droop Control

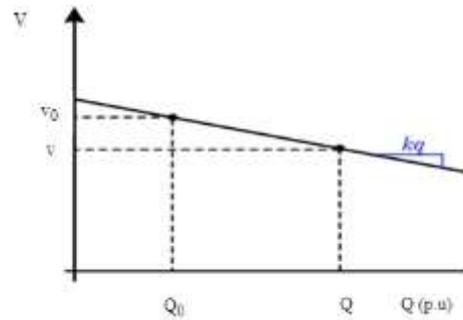
Q-V *droop control* pada *microgrid* mengatur daya reaktif dan tegangan. Teknik ini digunakan untuk menjaga agar tegangan sistem stabil saat terjadi power sharing. Pada Q-V *droop control*, setiap inverter akan mengukur tegangan dan membandingkannya dengan tegangan referensi. Jika tegangan turun di bawah referensi, maka inverter akan meningkatkan daya reaktifnya. Sebaliknya, jika tegangan naik di atas referensi, maka inverter akan menurunkan daya reaktifnya. Dengan cara ini, Q-V *droop control* dapat menjaga tegangan sistem tetap stabil [14]

Persamaan berikut menunjukkan hubungan antara daya reaktif dan tegangan:

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

Dimana:

- V_0 = nilai tegangan pada DG unit (Hz)
- P_0 = daya reaktif pada inverter (KW)
- Q_0 = daya reaktif pada inverter. (KVAR)
- KPV, KQV = koefisien droop



Gambar 4. Karakteristik Q-F Droop Control

J. Hierarchical Control

Untuk meningkatkan stabilitas *microgrid* dan mengefektifkan *power sharing* pada *microgrid* pada mode *grid connected* dan *islanding* diperlukan pengontrol hirarkis. Struktur kontrol biasanya dibagi menjadi tiga tingkatan [15]:

1. Pengendali Tegangan,
2. Pengendali primer,
3. Pengendali sekunder atau tersier

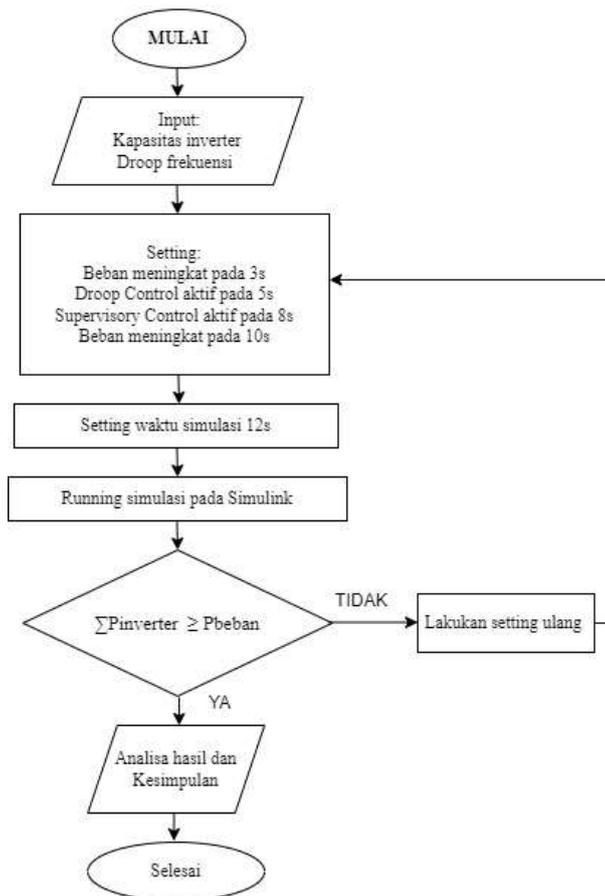
Pada Level pengendali tegangan ini terdiri dari loop tegangan dalam dan/atau loop arus. Loop kontrol ini mengatur tegangan dan arus masuk inverter untuk mengembangkan kualitas daya

Level kedua yaitu pengontrol primer ini memiliki fungsi untuk meningkatkan kualitas dan stabilitas serta keefektifan pembagian daya antara DG baik dalam beban linier dan non linier.

Level ketiga yaitu pengontrol tersier (adalah tingkat ketiga dari struktur kontrol hierarki dan berfokus pada pengendalian tegangan dan frekuensi pada titik *Point of Common Coupling* (PCC) yang merujuk kepada titik di mana *microgrid* tersebut terhubung dengan jaringan listrik utama

III. METODE PENELITIAN

A. Flowchart Sistem



Gambar 5. Flowchart Sistem

Gambar 5 diatas merupakan diagram alir pada simulasi *alternating current microgrid*. Pada tahap simulasi program ini, dimulai dengan menetapkan kapasitas masing inverter dan droop. Tahap ini dibagi menjadi 3 permodelan. Yang pertama *case I* dimana nilai masing masing inverter dan juga droop control sama, lalu *case II* nilai masing berbeda namun nilai droop controlnya sama. Untuk *case II* nilai masing masing inverter dan droop controlnya berbeda. Setelah dilakukan penginputan dilakukan setting pada pengontrol yaitu meliputi waktu pengaktifan beban pada detik ke 3 dan 10, pengaktifan *droop* pada detik ke 5, pengaktifan *supervisory control* pada detik ke 8. Lalu setting waktu simulasinya selama 12 detik.

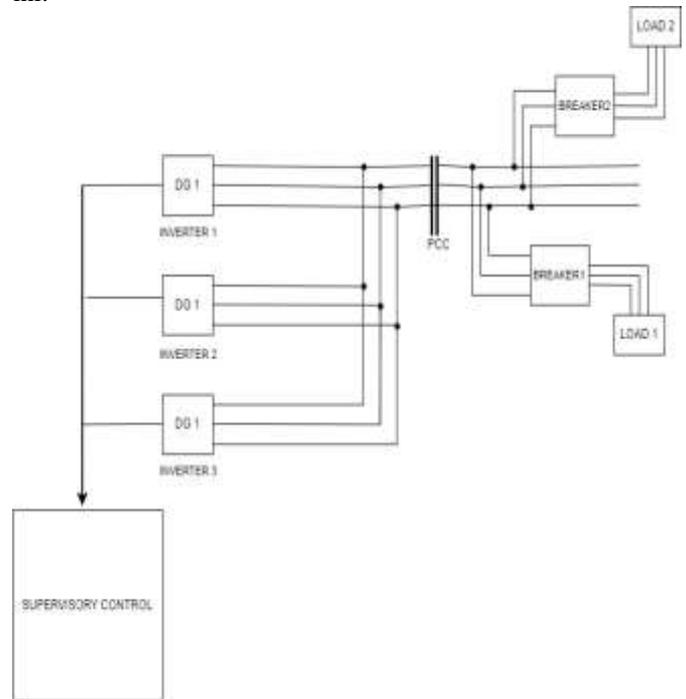
Pada tahap simulasi, sistem yang telah selesai didesain akan disimulasi untuk melihat tingkat kesesuaiannya. Apabila program masih belum berjalan sesuai yang diharapkan maka akan kembali pada tahap melakukan setting ulang untuk memperbaiki program.

Setelah semua tahapan proses diatas telah terselesaikan, maka selanjutnya dilanjutkan ke tahap pembuatan analisa dan pembahasan agar sistem yang telah

didesain dapat dianalisa dan dibahas kekurangan dan kelebihanannya

B. Desain Alternating Current Microgrid

Karena sumber tegangan EBT menghasilkan energi langsung dalam bentuk tegangan DC dan tidak memiliki komponen mekanik yang berhubungan dengan inersia maka sumber tegangan dianggap ideal untuk permodelan simulasi ini.



Gambar 6. Desain AC Microgrid

Microgrid terdiri dari tiga subsistem inverter paralel, dengan daya masing-masing diatur kapasitasnya sesuai dengan *case* yang akan dijalankan dan terhubung ke bus PCC (Point-of-Common-Coupling). Beban digunakan untuk mengubah total beban mikrogrid secara dinamis. Supervisory control pada microgrid adalah sistem kontrol terpusat yang mengawasi dan mengkoordinasikan operasi berbagai komponen microgrid, seperti *distributed generation*, dan beban. Jika sistem *supervisory control* diaktifkan akan memodifikasi titik setel droop inverter P/F dan Q/V untuk mengembalikan frekuensi dan tegangan microgrid ke nilai nominalnya.

C. Desain Inverter

Setiap subsistem inverter berisi konverter daya tiga fase dua tingkat, filter LC, transformator 480/600V serta sumber DC yang ideal untuk mewakili DC bus dari sistem pembangkit energi (seperti susunan PV, turbin angin, sistem penyimpanan energi baterai). Setiap subsistem juga mencakup sistem kontrol dan generator PWM yang menyuplai ke inverter.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada sub bab ini, akan di *running* simulasi *power sharing* dengan permodelan beberapa *case*.

Case pertama, sistem akan disimulasikan dengan nilai kapasitas masing masing inverter dan nilai droop sama. *Case* kedua, sistem akan disimulasikan dengan nilai kapasitas masing masing inverter berbeda dan nilai droop sama. *Case* ketiga, sistem akan disimulasikan dengan nilai kapasitas masing masing inverter dan nilai droop yang berbeda.

A. Kapasitas Inverter dan Droop Values Sama

Pada *case I*, masing masing inverter nilai daya 1000kW dan nilai frequency droop sebesar 1% dan voltage droop 4%.

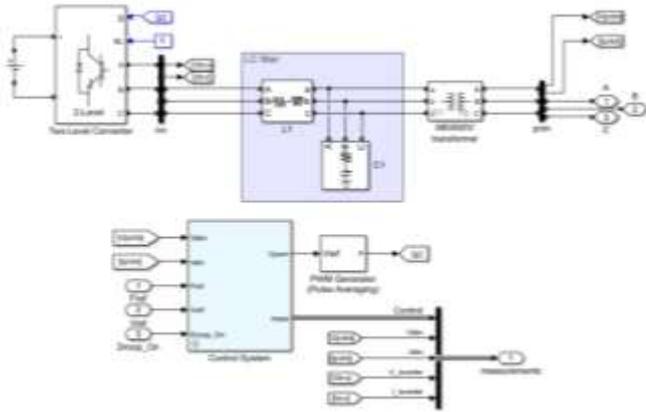
Tabel 3. Parameter masing masing inverter Case I

Inverter 1			
Droop		Nominal Values	
Frequency	Voltage	Power (W)	Frequency (Hz)
1%	4%	1000	60
Inverter 2			
Droop		Nominal Values	
Frequency	Voltage	Power (W)	Frequency (Hz)
1%	4%	1000	60
Inverter 3			
Droop		Nominal Values	
Frequency	Voltage	Power (W)	Frequency (Hz)
1%	4%	1000	60

Frequency droop 1% adalah suatu bilangan presentase yang menyatakan kepekaan sebuah unit pembangkit dalam merespon perubahan frekuensi. Nilai *droop control* ini menunjukkan bahwa unit pembangkit diizinkan untuk beroperasi dengan toleransi 1% pada nilai frekuensinya. Dalam sistem microgrid, nilai *frequency droop* digunakan sebagai salah satu parameter dalam mengatur pembagian beban antara unit-unit pembangkit yang terhubung dalam jaringan. Semakin kecil nilai *frequency droop*, semakin sensitif unit pembangkit dalam merespon perubahan frekuensi, sehingga pembagian beban antara unit-unit pembangkit dapat dilakukan secara lebih merata. Namun, pengaturan nilai *frequency droop* yang terlalu kecil dapat menyebabkan ketidakstabilan pada sistem *microgrid*. Sedangkan *Voltage droop* 4% artinya saat beban meningkat, tegangan pada sumber daya akan menurun sebanyak 4% dari tegangan nominal. Hal ini membantu dalam mempertahankan stabilitas sistem dan memastikan bahwa daya yang dihasilkan dan dikonsumsi tetap seimbang.

B. Kapasitas Inverter Berbeda Droop Values Sama

Pada kondisi *case II* masing masing inverter bernilai 1000kW, 700kW, dan 500kW dan nilai frequency droop sebesar 1% dan voltage droop 4%



Gambar 7. Desain Inverter

Pada pendesainan inverter, beberapa komponen yang memungkinkan inverter untuk melakukan *power sharing* meliputi:

1. Fungsi inverter adalah mengubah energi listrik arus searah menjadi arus bolak-balik untuk disuplai ke masing masing beban. Bergantung pada kebutuhan sistem *microgrid*, inverter juga dapat mengatur daya yang disuplai ke beban.
2. Sistem Kontrol, Inverter memiliki sistem kontrol yang memungkinkan mengatur daya yang disuplai ke beban, tergantung pada kebutuhan sistem *microgrid*. Sistem kontrol ini juga mengatur pengaturan daya pada inverter sesuai dengan kebutuhan sistem *microgrid*.
3. Filter, Inverter mungkin menggunakan filter untuk mengurangi harmonika yang mungkin terjadi pada saluran AC yang disuplai ke beban

Dengan komponen-komponen ini, inverter dapat melakukan *power sharing* yang efisien dan seimbang, serta memastikan penggunaan daya yang optimal dan ramah lingkungan dalam sistem *microgrid*.

D. Data Sistem

Tabel 2. Parameter Sistem

	Parameter	Nilai
Power Parameters	Inverter Switching Frequency	2700 Hz
	DC bus Voltage	1000 v
	Nominal bus frequency	60 Hz
	RMS Line Voltage	380 V
Beban	Beban 1	1000W
	Beban 2	1000W

Tabel 4. Parameter masing masing inverter Case II

Inverter 1			
Droop		Nominal Values	
Frequency	Voltage	Power (W)	Frequency (Hz)
1%	4%	1000	60
Inverter 2			
Droop		Nominal Values	
Frequency	Voltage	Power (W)	Frequency (Hz)
1%	4%	700	60
Inverter 3			
Droop		Nominal Values	
Frequency	Voltage	Power (W)	Frequency (Hz)
1%	4%	500	60

Frequency droop 1% adalah suatu bilangan presentase yang menyatakan kepekaan sebuah unit pembangkit dalam merespon perubahan frekuensi. Nilai droop control ini menunjukkan bahwa unit pembangkit diizinkan untuk beroperasi dengan toleransi 1% pada nilai frekuensinya. Voltage droop 4%, saat beban meningkat, tegangan pada sumber daya akan menurun sebanyak 4% dari tegangan nominal. Hal ini membantu dalam mempertahankan stabilitas sistem dan memastikan bahwa daya yang dihasilkan dan dikonsumsi tetap seimbang.

C. Kapasitas Inverter Dan Droop Values Berbeda

Pada kondisi case III masing masing inverter bernilai 1000kW, 700kW, dan 500kW dan nilai frequency droop inverter 1 sebesar 1% dan voltage droop 4%, nilai frequency droop inverter 2 sebesar 2% dan voltage droop 4%, dan nilai frequency droop inverter 3 sebesar 4% dan voltage droop sebesar 4%.

Tabel 5. Parameter masing masing inverter Case III

Inverter 1			
Droop		Nominal Values	
Frequency	Voltage	Power (W)	Frequency (Hz)
1%	4%	1000	60
Inverter 2			
Droop		Nominal Values	
Frequency	Voltage	Power (W)	Frequency (Hz)
2%	4%	700	60
Inverter 3			
Droop		Nominal Values	
Frequency	Voltage	Power (W)	Frequency (Hz)
3%	4%	500	60

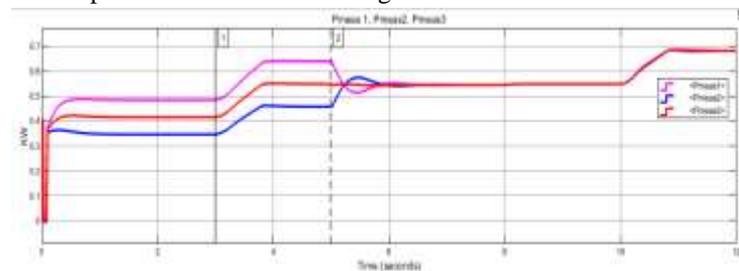
Nilai frekuensi droop 1%, 2%, atau 3% pada microgrid memiliki perbedaan dalam pengaruh dan efek pada sistem.

Berikut adalah perbandingan antara ketiga nilai frekuensi droop:

1. Nilai frekuensi droop 1% pengaruh ini sangat kecil dan efek pada sistem microgrid. Dengan frekuensi droop 1%, sistem microgrid dapat menjaga stabilitas dengan mudah, meskipun frekuensi mungkin berubah sedikit dengan perubahan beban
2. Nilai frekuensi droop 2%, lebih besar daripada nilai frekuensi droop 1%, tetapi masih agak kecil. Dengan frekuensi droop 2%, sistem microgrid masih dapat menjaga stabilitas dengan cukup, tetapi frekuensi mungkin berubah lebih tinggi dengan perubahan beban
3. Nilai frekuensi droop 3% ,nilai frekuensi droop 3% sangat besar dan mungkin mengancam stabilitas sistem microgrid. Dengan frekuensi droop 3%, sistem microgrid mungkin berada dalam keadaan pengurangan frekuensi, yang berarti frekuensi akan berkurang seiring dengan perubahan beban. Hal ini dapat menyebabkan fluktuasi yang berlebihan dan mengancam stabilitas sistem

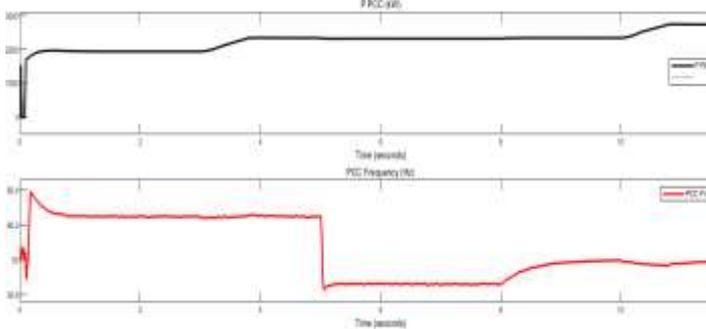
D. Hasil Simulasi Case I

Dengan menginput data berdasarkan tabel 3 diatas, diperoleh hasil simulasi sebagai berikut



Gambar 8. Hasil Simulasi Case I

Pada detik ketiga, total beban microgrid meningkat lalu setelah droop control masing masing diaktifkan, droop control masing masing diaktifkan. Setelah diaktifkan, droop control akan memastikan bahwa pembagian beban antara unit-unit pembangkit dapat dilakukan secara merata dan efisien. Selang beberapa ms dapat dilihat terjadi power sharing pada microgrid. Beban jaringan micro ini terbagi rata diantara ketiga inverternya



Gambar 9. Hasil Pengukuran PCC

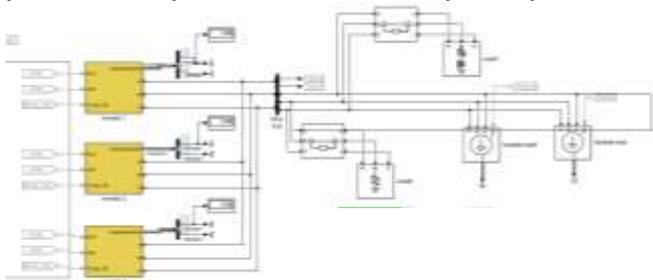
Pada simulasi ini, nilai frekuensi inverter awalnya adalah 60 Hz. Pada detik pertama hingga kedua belum terjadi kenaikan beban. Jika beban turun sebesar 1%, maka frekuensi keluaran inverter akan meningkat sebesar 1% dari 60 Hz.

$$\begin{aligned} \text{Frekuensi (no load)} &= 60 \text{ Hz} + (1\% \text{ dari } 60 \text{ Hz}) \\ &= 60 \text{ Hz} + 0.6 \text{ Hz} \\ &= 60.6 \text{ Hz.} \end{aligned}$$

Lalu pada detik ketiga, beban pada saat itu adalah 100%. Jika beban naik maka frekuensi juga akan berubah menjadi

$$\begin{aligned} \text{Frekuensi baru} &= 60 \text{ Hz} - (1\% \text{ dari } 60 \text{ Hz}) \\ &= 60 \text{ Hz} - 0.6 \text{ Hz} \\ &= 59.4 \text{ Hz.} \end{aligned}$$

Dengan cara ini, inverter menyesuaikan frekuensinya sesuai dengan perubahan beban dan *power sharing* antara inverter-inverter terjadi secara otomatis. Semakin besar persentase droop, semakin besar perubahan yang terjadi dalam frekuensi atau tegangan untuk setiap persentase perubahan beban, dan ini memengaruhi distribusi daya antara inverter-inverter. Dalam kasus droop kontrol 1%, respon terhadap perubahan beban akan lebih kecil dibandingkan dengan droop kontrol dengan nilai persentase yang lebih tinggi. Lalu sesuai dengan algoritma yang ditentukan yaitu pada detik ke 5 setelah pengaktifan *droop control*, nilai frekuensi akan berkurang seiring dengan peningkatan beban. Setelah detik kedelapan dilakukan pengaktifan *supervisory control* nilai frekuensi akan stabil karena *supervisory control* dirancang untuk mempertahankan stabilitas frekuensi dalam *microgrid* dan dapat mengatur produksi dan konsumsi daya untuk mencegah frekuensi yang signifikan. Terlihat juga pada simulasi saat beban dinaikkan pada detik kesepuluh, nilai frekuensi tetap stabil pada 60 Hz.

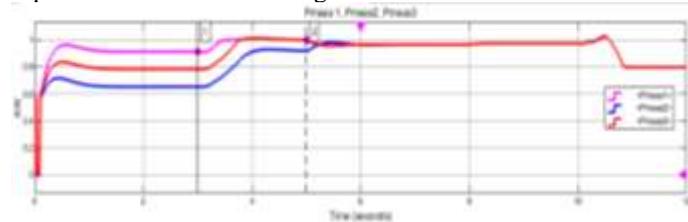


Gambar 10 Hasil Pengukuran Inverter

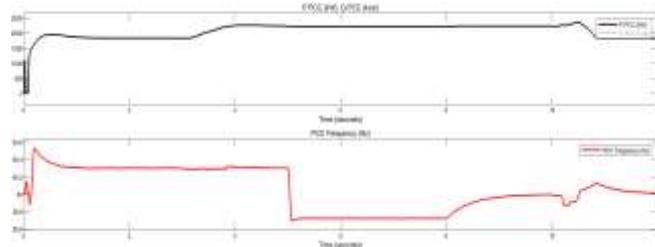
Pada gambar terlihat kontribusi dari masing-masing inverter yang akan menyuplai ke beban masing-masing bernilai 0.68 kW

E. Hasil Simulasi Case II

Dengan menginput data berdasarkan tabel 4 diatas, diperoleh hasil simulasi sebagai berikut



Gambar 11. Hasil Simulasi Case II



Gambar 12. Hasil Pengukuran PCC

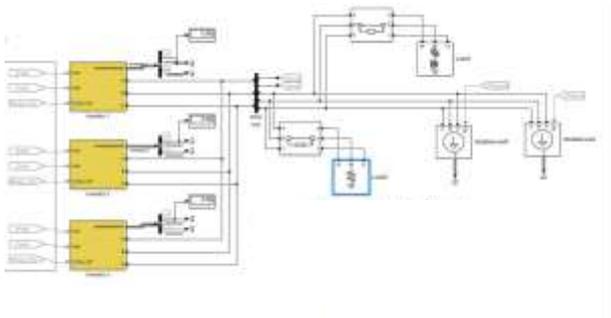
Pada simulasi ini, nilai frekuensi inverter awalnya adalah 60 Hz. Pada detik pertama hingga kedua belum terjadi kenaikan beban maka, maka frekuensi keluaran inverter akan meningkat sebesar 1% dari 60 Hz.

$$\begin{aligned} \text{Frekuensi (no load)} &= 60 \text{ Hz} + (1\% \text{ dari } 60 \text{ Hz}) \\ &= 60 \text{ Hz} + 0.6 \text{ Hz} \\ &= 60.6 \text{ Hz.} \end{aligned}$$

Lalu pada detik ketiga, beban pada saat itu adalah 100%. Jika beban naik maka frekuensi juga akan berubah menjadi :

$$\begin{aligned} \text{Frekuensi baru} &= 60 \text{ Hz} - (1\% \text{ dari } 60 \text{ Hz}) \\ &= 60 \text{ Hz} - 0.6 \text{ Hz} \\ &= 59.4 \text{ Hz.} \end{aligned}$$

Sesuai dengan algoritma yang ditentukan yaitu pada detik ke 5 setelah pengaktifan *droop control* nilai frekuensi akan berkurang seiring dengan peningkatan beban. Setelah detik kedelapan dilakukan pengaktifan *supervisory control* nilai frekuensi akan stabil karena *supervisory control* dirancang untuk mempertahankan stabilitas frekuensi dalam *microgrid* dan dapat mengatur produksi dan konsumsi daya untuk mencegah frekuensi yang signifikan. Terlihat juga pada simulasi saat beban dinaikkan pada detik kesepuluh, nilai frekuensi tetap stabil pada 60 Hz

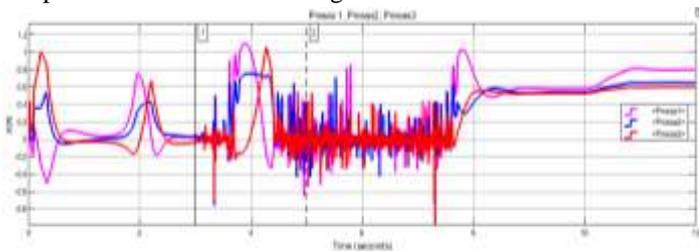


Gambar 13 Hasil Pengukuran Inverter

Pada gambar terlihat kontribusi dari masing masing inverter yang akan menyuplai ke beban masing masing bernilai 0.8 Kw

F. Hasil Simulasi Case III

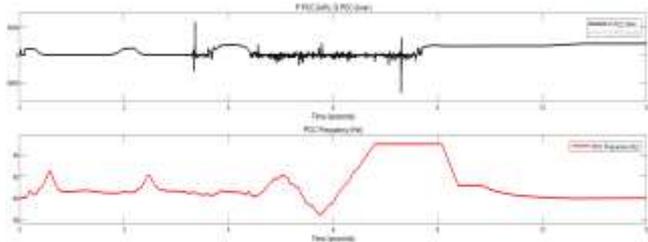
Dengan menginput data berdasarkan tabel 5 diatas, diperoleh hasil simulasi sebagai berikut



Gambar 14. Hasil Simulasi Case III

Secara keseluruhan, Inverter dengan droop yang lebih tinggi akan memberikan kontribusi daya lebih kecil saat terjadi peningkatan beban, dan sebaliknya. Hal ini karena nilai droop yang lebih rendah menyebabkan inverter atau sumber daya tersebut merespons lebih kuat terhadap perubahan frekuensi akibat kenaikan beban.

Nilai frekuensi droop yang paling kecil (1%) memiliki efek pada sistem microgrid yang positif, sementara nilai frekuensi droop yang besar (3%) mungkin mengancam stabilitas sistem. Oleh karena itu, pemilihan nilai frekuensi droop harus disesuaikan dengan kapasitas dan kondisi sistem microgrid untuk mencapai keseimbangan antara stabilitas dan efisiensi.



Gambar 15. Hasil Pengukuran PCC

Dalam sistem mikrogrid dengan inverter yang memiliki karakteristik droop kontrol yang berbeda, respon terhadap perubahan beban akan bervariasi sesuai dengan nilai droop masing-masing inverter.

Pada simulasi ini, semua inverter memiliki frekuensi yang sama yaitu 60 Hz.

Lalu pada detik ketiga, beban pada saat itu adalah 100%. Jika beban naik maka frekuensi juga akan berubah menjadi :

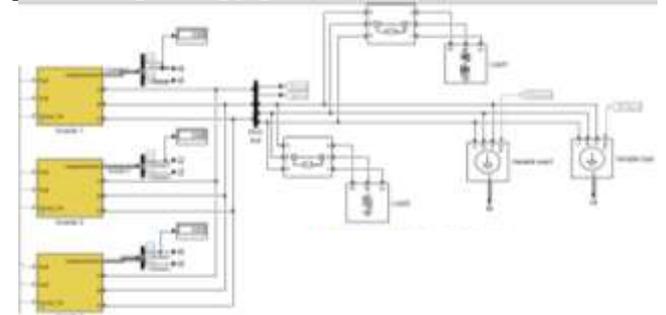
Inverter 1 (1% droop): Frekuensi turun sebesar 1% dari 60 Hz, menjadi 59.4 Hz.

Inverter 2 (2% droop): Frekuensi turun sebesar 2% dari 60 Hz, menjadi 58.8 Hz.

Inverter 3 (3% droop): Frekuensi turun sebesar 3% dari 60 Hz, menjadi 58.2 Hz.

Dengan cara ini, pembagian daya antara inverter-inverter terjadi secara otomatis dan sesuai dengan karakteristik droop yang telah ditentukan, menciptakan respons yang seimbang terhadap perubahan kondisi sistem. Hal ini membantu mencapai tujuan power sharing yang optimal dalam sistem *microgrid*.

Nilai Frekuensi terlihat sangat berfluktuasi karena nilai frekuensi droop pada masing masing inverter berbeda berubah lebih tinggi dengan perubahan beban. Nilai droop nya berbeda, artinya frekuensi *microgrid* yang diperbolehkan pada masing masing juga bervariasi



Gambar 16 Hasil Pengukuran Inverter

Secara keseluruhan, Inverter dengan droop yang lebih tinggi akan memberikan kontribusi daya lebih kecil saat terjadi peningkatan beban, dan sebaliknya. Hal ini karena nilai droop yang lebih rendah menyebabkan inverter atau sumber daya tersebut merespons lebih kuat terhadap perubahan frekuensi akibat kenaikan beban. Inverter dengan nilai droop 1% memiliki kontribusi daya yang paling besar yaitu bernilai 0.89 kW, inverter 2 yang memiliki nilai droop 2% memiliki kontribusi daya bernilai 0.68 kW, dan inverter 3 yang memiliki nilai droop 3% memiliki kontribusi daya bernilai 0.62 kW

V. PENUTUP

Power sharing dalam AC microgrid dengan metode *droop control* adalah pendekatan yang digunakan untuk mendistribusikan daya dengan seimbang di antara berbagai sumber daya yang terhubung ke dalam jaringan listrik. Berdasarkan simulasi yang dibagi dalam tiga kasus:

1. Pada *case I* dengan nilai droop 1% dengan nilai kapasitas inveter sebesar 1000W terlihat kontribusi dari masing masing inverter yang akan menyuplai ke beban masing masing bernilai 0.68 kW
2. Pada *case II* dengan nilai droop 1% dengan nilai kapasitas masing masing inveter sebesar 1000W,700W,dan 600W terlihat kontribusi dari masing masing inverter yang akan menyuplai ke beban masing masing bernilai 0.8 kW
3. Pada kasus III dengan nilai *droop control* 1%,2%,dan 3% dapat dilihat Inverter dengan droop yang lebih kecil yaitu 1% akan memberikan kontribusi daya lebih banyak saat terjadi peningkatan beban, dan sebaliknya. Inverter dengan nilai droop 1% memiliki kontribusi daya yang paling besar yaitu bernilai 0.89 kW, inverter 2 yang memiliki nilai droop 2% memiliki kontribusi daya bernilai 0.68 kW, dan inverter 3 yang memiliki nilai droop 3% memiliki kontribusi daya bernilai 0.62 kW.
4. Dapat disimpulkan bahwa semakin besar nilai droop dapat mengancam stabilitas sistem. Seperti pada simulasi *case III* dimana diberi kondisi nilai *frequency droop* pada masing masing inverter berbeda yaitu 1%,2%, dan 3%. Semakin tinggi nilai droop, maka akan menghasilkan fluktuasi frekuensi yang tinggi. Nilai frekuensi mencapai 65 Hz sampai setelah *supervisory control* diaktifkan

Saran

Salah satu saran yang dapat diberikan oleh penulis tentang yang dibahas dalam skripsi ini adalah untuk membantu dalam memahami dampak terhadap respon sistem dan stabilitas frekuensi yang lebih jelas, dapat dilakukan pengujian dilapangan dan juga simulasi pada komputer

VI. REFERENSI

- [1] A. Kusmantoro, Ardyono Priyadi, Vita Lystianingrum Budiharto Putri, dan Mauridhi Hery Purnomo, "Kinerja Micro Grid Menggunakan Photovoltaic-Baterai dengan Sistem Off-Grid," *J. Nas. Tek. Elektro Dan Teknol. Inf.*, vol. 9, no. 2, hlm. 211–217, Mei 2020, doi: 10.22146/jnteti.v9i2.155.
- [2] I. Colak, R. Bayindir, M. Al-Nussari, dan E. Hossain, "Voltage and frequency stability analysis of AC microgrid," dalam *2015 IEEE International Telecommunications Energy Conference (INTELEC)*, Osaka, Japan: IEEE, Okt 2015, hlm. 1–7. doi: 10.1109/INTLEEC.2015.7572471.
- [3] Y. Yunando dan S. Sutriyatna, "Studi Microgrid System Menuju Pembangunan Desa Mandiri Energi Di Desa Temajuk Kabupaten Sambas," *ELKHA*, vol. 10, no. 1, hlm. 6, Mar 2019, doi: 10.26418/elkha.v10i1.25277.
- [4] S. Arbi, "Analisis Stabilitas Tegangan dan Frekuensi pada Microgrid AC Terhubung DG pada Mode Grid Connected dan Islanding". Institut Teknologi Sepuluh Nopember., 2017.
- [5] M. E. T. Souza dan L. C. G. Freitas, "Grid-Connected and Seamless Transition Modes for Microgrids: An Overview of Control Methods, Operation Elements, and General Requirements," *IEEE Access*, vol. 10, hlm. 97802–97834, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3206362.
- [6] H. Mohamad, S. Sahdan, N. N. Y. Dahlan, dan N. M. Sapari, "Under-frequency load shedding technique considering response based for islanding distribution network connected with mini hydro," dalam *2014 IEEE 8th International Power Engineering and Optimization Conference (PEOCO2014)*, Langkawi, Malaysia: IEEE, Mar 2014, hlm. 488–493. doi: 10.1109/PEOCO.2014.6814478.
- [7] B. Hartmann, I. Táci, A. Talamon, dan I. Vokony, "Island mode operation in intelligent microgrid—Extensive analysis of a case study," *Int. Trans. Electr. Energy Syst.*, vol. 31, no. 8, Agu 2021, doi: 10.1002/2050-7038.12950.
- [8] Denis, E. W. Sinuraya, J. Windarta, Y. A. A. Soetrisno, dan K. Fernanda, "Analysis of Performance and Control of DC Microgrids as Electricity Providers for Renewable Energy," *E3S Web Conf.*, vol. 317, hlm. 04032, 2021, doi: 10.1051/e3sconf/202131704032.
- [9] P. R. Saputra, T. Agustinah, dan A. Priyadi, "Desain Kontrol Power Sharing Microgrid Pada Beban Non-Linear," *Transm. J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 25, no. 2, hlm. 64–74, Jun 2023, doi: 10.14710/transmisi.25.2.64-74.
- [10] X. Hou, Y. Sun, W. Yuan, H. Han, C. Zhong, dan J. Guerrero, "Conventional P- ω /Q-V Droop Control in Highly Resistive Line of Low-Voltage Converter-Based AC Microgrid," *Energies*, vol. 9, no. 11, hlm. 943, Nov 2016, doi: 10.3390/en9110943.
- [11] X. Wang dan H. Wang, "Improved Droop Control Strategy of Multiple Energy Storage Applications in an AC Microgrid Based on the State of Charge," *Electronics*, vol. 10, no. 14, hlm. 1726, Jul 2021, doi: 10.3390/electronics10141726.
- [12] A. Rashwan, A. Mikhaylov, T. Senjyu, M. Eslami, A. M. Hemeida, dan D. S. M. Osheba, "Modified Droop Control for Microgrid Power-Sharing Stability Improvement," *Sustainability*, vol. 15, no. 14, hlm. 11220, Jul 2023, doi: 10.3390/su151411220.
- [13] W. J. Praiselin dan J. B. Edward, "Integrated renewable energy sources with droop control techniques-based microgrid operation," dalam *Hybrid-Renewable Energy Systems in Microgrids*, Elsevier, 2018, hlm. 39–60. doi: 10.1016/B978-0-08-102493-5.00003-0.
- [14] S. Mansour dan M. I. Marei, "Droop based Control Strategy for a Microgrid," 2016.
- [15] A. Alsafran, "Literature Review of Power Sharing Control Strategies in Islanded AC Microgrids with

Nonlinear Loads,” dalam *2018 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT-Europe)*, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina: IEEE, Okt 2018, hlm. 1–6. doi: 10.1109/ISGTEurope.2018.8571800.

- [16] W. J. Praiselin dan J. B. Edward, “Integrated renewable energy sources with droop control techniques-based microgrid operation,” dalam *Hybrid-Renewable Energy Systems in Microgrids*, Elsevier, 2018, hlm. 39–60. doi: 10.1016/B978-0-08-102493-5.00003-0.

VII. BIODATA PENULIS



Penulis lahir di Kota Pematangsiantar tanggal 11 April 2001 dengan latar belakang pendidikan SLTA di SMAS BUDI MULIA Kota Pematangsiantar pada tahun 2015 dengan memilih Jurusan Ilmu Pengetahuan Alam hingga lulus pada tahun 2018. Selanjutnya melanjutkan Pendidikan Diploma III di Politeknik Negeri Medan dengan program studi Teknik Elektro lulus pada tahun 2021 kemudian melanjutkan Strata-1 di Institut Teknologi Nasional Malang dengan konsentrasi Energi Listrik. Email penulis yaitu laurettiyovita@gmail.com