



Institut Teknologi Nasional Malang

**SKRIPSI – TEKNIK ENERGI LISTRIK
DESAIN DAN ANALISIS *POWER SHARING* PADA
ALTERNATING CURRENT MICROGRID DENGAN
METODE *DROOP CONTROL***

Lauretti Yovita Lumban Gaol
NIM 2212904

Dosen pembimbing
Awan Uji Krismanto, ST., MT., Ph.D.
Dr. Irrine Budi Sulistiawati, ST., MT.

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S-1
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Nasional Malang
Februari 2024



Institut Teknologi Nasional Malang

**SKRIPSI – TEKNIK ENERGI LISTRIK
DESAIN DAN ANALISIS *POWER SHARING* PADA
ALTERNATING CURRENT MICROGRID DENGAN
METODE *DROOP CONTROL***

Lauretti Yovita Lumban Gaol
NIM 2212904

Dosen pembimbing
Awan Uji Krismanto, ST., MT., Ph.D.
Dr. Irrine Budi Sulistiawati, ST., MT.

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S-1
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Nasional Malang
Februari 2024

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

SKRIPSI

**LAURETTI YOVITA LUMBAN GAOL
2212904**

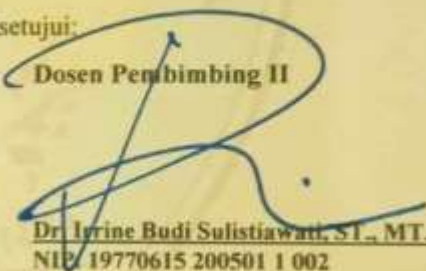
Diajukan Guna Memenuhi Sebagai Persyaratan Untuk Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik
Pada
Program Studi Teknik Energi Listrik
Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Nasional Malang

Diperiksa Dan Disetujui:

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II


Awan Uji Krisyanto, ST., MT., Ph.D.
NIP. 19800301 200501 1 002


Dr. Iyrene Budi Sulistiawati, ST., MT.
NIP. 19770615 200501 1 002

Mengetahui:
Ketua Program Studi Teknik Elektro S-1


Dr. Irmalia Saryani Faradisa, ST., MT.
NIP. P. 1030000365

MALANG
Februari, 2024



PT INP PERSEKUTUAN
SAKTI NAGARA MALANG

PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

Kampus I : J. Bembunge Sigur-gure No. 2 Telp. (0341) 551431 Jember; Fax (0341) 553215 Malang 65145
Kampus II : J. Raya Karangas 40x 2 Telp. (0341) 411936 Fax (0341) 411934 Malang

**BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**

Nama : Lauretti Yovita Lumban Gaol
NIM : 2212904
Program Studi : Teknik Elektro S-I
Peminatan : Teknik Energi Listrik
Masa Bimbingan : Semester Ganjil 2023/2024
Judul Skripsi : Desai dan Analisis Power Sharing Pada Alternating
Current Microgrid Dengan Metode Droop Control
Diperlihatkan dihadapan Majelis Penguji Skripsi Jenjang Strata Satu
(S-1) pada:
Hari : Rabu
Tanggal : 7 Februari 2024
Nilai : **87,50**

Panitia Ujian Skripsi

Majelis Ketua Penguji

Dr. Irmalia Suryani Faradisa, ST., MT.

NIP. P. 1030000365

Sekretaris Majelis Penguji

Sotvohadi, ST., MT.

NIP. Y. 1039700309

Anggota Penguji

Dosen Penguji I

Dr. Ir. Widodo Pudi Muljanto, MT.

NIP. Y. 1028700171

Dosen Penguji II

Ir. Ni Putu Agustini, M.T

NIP. Y.1030100371

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Lauretti Yovita Lumban Gaol
NIM : 2212904
Jurusan / Peminatan : Teknik Elektro S-1/ Teknik Energi Listrik
ID KTP / Paspor : 1272035104010003
Alamat : Jl. Kain Sutera, Kota Pematangsiantar,
Sumatera Utara
Judul Skripsi : Desain dan Analisis Power Sharing Pada
Alternating Current Microgrid dengan
Metode Droop Control

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang saya buat merupakan hasil karya sendiri bukan hasil plagiarisme dari orang lain. Dalam skripsi ini tidak memuat karya orang lain kecuali dicantumkan sumber yang digunakan sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Apabila ternyata di dalam skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur plagiarisme, maka saya bersedia skripsi ini di gugurkan dan gelar akademik yang telah saya peroleh (S-1) di batalkan, serta di proses sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Malang, Februari 2024

Yang membuat pernyataan



(Lauretti Yovita Lumban Gaol)
NIM.2212904

ABSTRAK

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

Lauretti Yovita Lumban Gaol,
Awan Uji Krismanto, ST., MT., Ph.D.
Dr. Irrine Budi Sulistiawati, ST.
laurettiyovita@gmail.com

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 terputus dari grid utama (PLN) dan *Distributed Generation* (DG) sepenuhnya mensuplai beban dalam sistem sepenuhnya. *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*

ABSTRACT

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

Lauretti Yovita Lumban Gaol,
Awan Uji Krismanto, ST., MT., Ph.D.
Dr. Irrine Budi Sulistiawati, ST.
laurettiyovita@gmail.com

In modern era, the need for electrical energy is increasing along with population growth and rapid technological developments. Renewable Energy is a solution that can be implemented because it is safe, reliable and environmentally friendly. The use of renewable energy sources in electricity is called Distributed Generation (DG). In this paper an analytical approach is taken to evaluate the droop control method in islanding mode. Islanding condition is a condition when the microgrid is disconnected from the main grid (PLN) and the load in the system is completely supplied by Distributed Generation. Droop control is the main solution for power sharing between DGs in a micro grid, where in this mode there is no support from the electricity distribution network. This paper proposes a power sharing simulation mode with Simulink. The microgrid consists of three parallel inverter subsystems, with each power capacity regulated according to the case to be run and connected to the PCC (Point-of-Common-Coupling) bus. Based on the simulation results, inverter with a smallest droop value of 1% will contribute more power when the load increases.

Keyword : *Distributed Generation, Droop Control, Power sharing, Microgrid*

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis sampaikan kepada Tuhan Yang Maha Esa, yang telah memberikan berkat dan rahmatNya kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi sesuai arahan Dosen Pembimbing dengan baik dan tepat pada waktunya. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik Industri, ITN Malang. Penyusunan Skripsi memiliki banyak kendala, namun berkat bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak maka tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Awan Uji Krismanto, S.T.,M.T.,Ph.D. selaku Rektor ITN sekaligus dosen Pembimbing I yang senantiasa selalu membimbing dengan sepenuh penuh hati.
2. Ibu Dr.Irrine Budi Sulistiawati, S.T.,M.T. selaku Dosen Pembimbing II yang senantiasa selalu membimbing dengan sepenuh penuh hati.
3. Ibu Dr. Irmalia Suryani Faradisa, ST., MT. selaku Ketua Jurusan Elektro ITN Malang
4. Kedua orang tua atas cinta dan dukungan yang telah diberikan kepada penulis.
5. Teman-teman Alih Jenjang 2022 yang turut serta memberikan dukungan dan kontribusi selama menempuh perkuliahan

Dan semua pihak yang telah membantu dalam penulisan skripsi ini, namun tidak dapat disebutkan satu persatu. Penulis membutuhkan kritik dan saran yang bersifat membangun demi penyempurnaan skripsi ini. Akhir kata, penulis berharap skripsi ini dapat memberikan manfaat yang seluas-luasnya bagi perkembangan ilmu pengetahuan

Malang, Februari 2024

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR.....	v
DAFTAR TABEL	v
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II	5
TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Microgrid	5
2.1.1 Grid Connected.....	6
2.1.2 Islanding	7
2.2 Klasifikasi Microgrid	9
2.2.1 Alternating Circuit Microgrid	9
2.2.2 Direct Current Microgrid	11
2.2.3 Hybrid Microgrid.....	13
2.3 Distributed Generation	15
2.4 Inverter	16
2.5 Power Sharing	18
2.6 Daya	19
2.7 Jenis- Jenis Daya	19

2.7.1	Daya Aktif	20
2.7.2	Daya Reaktif	20
2.7.3	Daya Semu.....	20
2.8	Droop Control	21
2.8.1	P-F Droop	23
2.8.2	Q-V Droop	24
2.9	Hierarchical Control.....	25
2.10	<i>Simulink</i>	27
BAB III.....		29
METODOLOGI PENELITIAN		29
3.1	Tahap Penelitian.....	29
3.2	Flowchart Sistem.....	30
3.3	Desain <i>Alternating Current Microgrid</i>	31
3.4	Desain Inverter	33
3.5	Data Sistem	34
BAB IV.....		35
HASIL DAN PEMBAHASAN		35
4.1	Penginputan Data Kapasitas Nominal Values dan Droop Values	35
4.1.1	Kapasitas Inverter dan Droop Values Sama.....	35
4.1.2	Kapasitas Inverter Berbeda Droop Values Sama	37
4.1.3	Kapasitas Inverter Dan Droop Values Berbeda	38
4.2	Hasil Simulasi	41
4.2.1	Hasil Simulasi <i>Case I</i>	41
4.2.2	Hasil Simulasi <i>Case II</i>	43

4.2.3 Hasil Simulasi <i>Case</i> III	45
BAB V	47
PENUTUP	49
5.1 Kesimpulan	49
5.2 Saran	49
DAFTAR PUSTAKA.....	50

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Sistem Microgrid	5
Gambar 2. 2 Mode Grid-Connection	7
Gambar 2. 3 Mode Islanding	8
Gambar 2. 4 <i>Alternating Current Microgrid</i>	10
Gambar 2. 5 <i>Direct Current Microgrid</i>	12
Gambar 2. 6 <i>Hybrid Microgrid</i>	14
Gambar 2. 7 Komponen Inverter Dua Tingkat	17
Gambar 2. 8 Karakteristik P-F Droop.....	23
Gambar 2. 9 Karakteristik Q-V Droop	25
Gambar 2.10 Hasil Pengukuran Inverter.....	26
Gambar 3. 1 Flowchart Penelitian	29
Gambar 3. 2 Flowchart Sistem	30
Gambar 3. 3 Diagram Rangkaian Operasi Paralel Sistem Microgrid	32
Gambar 3. 4 Rangkaian subsistem pada inverter.....	33
Gambar 4. 1 Block Parameter Kapasitas dan Droop: a) Inverter 1 b) Inverter 2 c) Inverter 3	36
Gambar 4. 2 Block Parameter Kapasitas dan Droop : a) Inverter 1 b) Inverter 2 c) Inverter 3.....	38
Gambar 4. 3 Block Parameter Kapasitas dan Droop : a) Inverter 1 b) Inverter 2 c) Inverter 3.....	39
Gambar 4. 4 Hasil Simulasi <i>Case I</i>	41
Gambar 4.5 Hasil Pengukuran PCC.....	42
Gambar 4.6 Hasil Pengukuran Inverter.....	43
Gambar 4.7 Hasil Simulasi <i>Case II</i>	43
Gambar 4.8 Hasil Pengukuran PCC.....	44
Gambar 4.9 Hasil Pengukuran Inverter.....	45
Gambar 4.10 Hasil Simulasi <i>Case III</i>	45
Gambar 4.11 Hasil Pengukuran PCC.....	46
Gambar 4.12 Hasil Pengukuran Inverter.....	47

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Tabel Pengklasifikasian Distributed Generation	15
Tabel 3. 1 Parameter Sistem	30

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 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 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) diartikan sebagai pembangkit listrik skala kecil yang dekat dengan beban. Penggunaan *Distributed Generation* mampu meningkatkan efisiensi keseluruhan sistem, mengurangi rugi transmisi, mengurangi polusi dan menjamin kontinuitas penyaluran energi listrik. Namun ketika penggunaan DG meningkat secara signifikan akan menimbulkan permasalahan kestabilan tegangan dan frekuensi akan terganggu oleh perubahan yang cepat pada tingkat pembangkitan dan pembebanan [2]. Apabila hal ini dibiarkan akan berdampak negatif pada keamanan dan keandalan sistem. Strategi

kontrol yang tepat akan mengembalikan kestabilan sistem jika terjadi kondisi tidak seimbang.

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 dengan jaringan distribusi melalui *microgrid*. *Microgrid* adalah unit kontrol yang terdiri dari beberapa DG dan beban yang saling terhubung. *Microgrid* dapat beroperasi melalui dua mode operasi yaitu terhubung dengan grid utama (*grid-connected*) dan terputus dari grid utama (*islanding*). 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*.

1.2 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?

1.3 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*.

1.4 Batasan Masalah

Sesuai dengan judul diatas, maka penulis akan membahas tentang bagaimana merancang sebuah simulasi menggunakan Matlab/Simulink sebagai upaya pertama untuk menganalisis konsep ini.

1.5 Sistematika Penulisan

Penulisan laporan skripsi ini disusun secara sistematis agar mempermudah dalam memahami pembahasan laporan skripsi ini, dengan susunan sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini menjelaskan penyusunan skripsi, berupa Latar Belakang, Rumusan Masalah, dan Batasan Masalah, Manfaat Penulisan, Metodologi Penelitian serta Sistematika Penulisan

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan menjelaskan teori tentang konsep dasar mengenai *microgrid*, *distributed generation*, *power sharing*, dan teori teori pendukungnya

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bagian metodologi penelitian ini menjelaskan tentang perencanaan dan pembuatan desain dan memuat data pada sistem

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas data yang diolah, hasil simulasi menggunakan *simulink*, serta pembahasan, dan analisa dari simulasi

BAB V PENUTUP

Pada bab ini memuat kesimpulan dari penelitian yang dilakukan dan saran yang dapat digunakan sebagai tindak lanjut dari penelitian yang telah dilakukan.

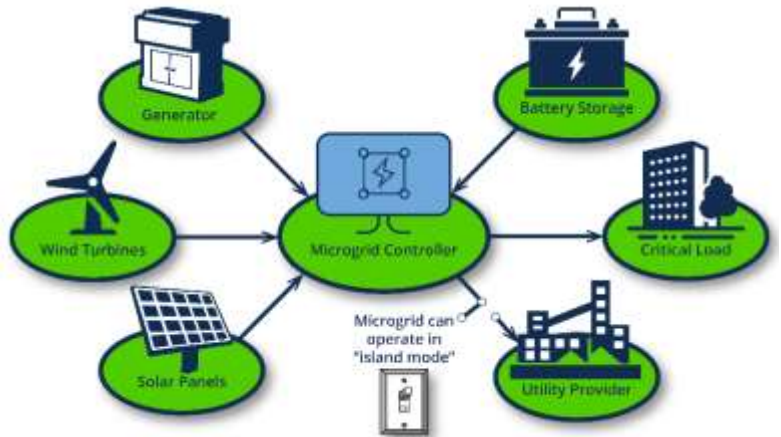
[Halaman Ini Sengaja Dikosongkan]

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Microgrid

Microgrid adalah model pembangkitan terdistribusi yang dapat mencakup berbagai jenis sumber energi seperti sumber fosil, serta sumber energi baru terbarukan seperti, angin, matahari, biogas, *microhydro* dan sebagainya [3]. Secara definisi, microgrid adalah sistem interkoneksi beban dengan berbagai macam sumber energi yang terdistribusi, sebagai satu sistem. *Microgrid* dapat beroperasi paralel dengan sistem interkoneksi yang lebih besar atau beroperasi mandiri.



Gambar 2. 1 Sistem Microgrid

Microgrid juga dapat diartikan sebagai bagian dari jaringan distribusi yang terintegrasi dengan DG dan beban lokal. *Microgrid* didesain untuk mensuplai tenaga listrik pada suatu regional dengan level tegangan distribusi. Pada operasinya *microgrid* memiliki pembangkit sendiri yaitu DG yang letaknya dekat dengan pusat beban. Generator yang digunakan pada *microgrid* umumnya berupa *renewable* atau *non-conventional* [4]

Komponen microgrid terdiri dari :

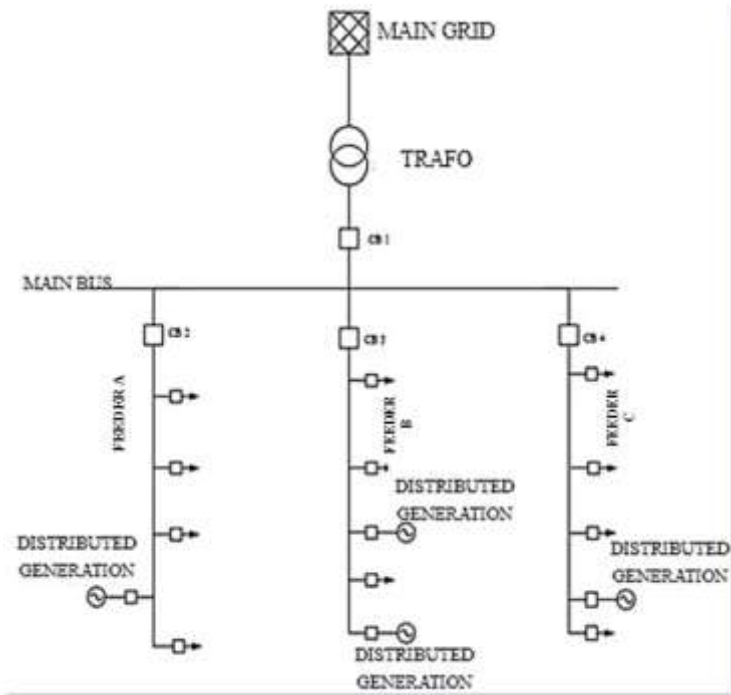
1. Distributed Generation (*micro source*) Pembangkit (sumber kecil), didefinisikan sebagai pembangkitan listrik pada jaringan distribusi atau jaringan sisi pelanggan.
2. Load (Beban), didefinisikan sebagai konsumsi listrik harian, bulanan, atau tahunan.
3. Intermediate Storage (Penyimpanan)
4. Titik penyambungan pembangkit (*Point of common coupling*)

Perbedaan antara *microgrid* dan pembangkit konvensional terletak pada beberapa faktor :

1. *Microgrid* memiliki kapasitas yang jauh lebih kecil daripada pembangkit konvensional.
2. Daya output yang dihasilkan *microgrid* dapat langsung diintegrasikan dengan utilitas jaringan distribusi.
3. Letak yang dekat dengan beban akan lebih efisien dengan profil tegangan dan frekuensi yang baik. *Microgrid* dapat beroperasi dengan dua mode yaitu mode terhubung ke grid utama (PLN) dan mode terputus dari grid utama. Kedua mode ini juga disebut *grid-connected* dan *islanding*.

2.1.1 Grid Connected

Dalam mode grid-connected, microgrid terhubung ke grid utama, yang memberi *Distributed Generation* kemampuan untuk mensuplai daya ke beban dengan bantuan grid utama. Dalam mode swing, grid utama PLN berfungsi sebagai sumber yang tak terbatas, dan sumber PLN akan mensuplai daya sisa yang tidak terpenuhi oleh pembangkit yaitu *distributed generation*. 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.



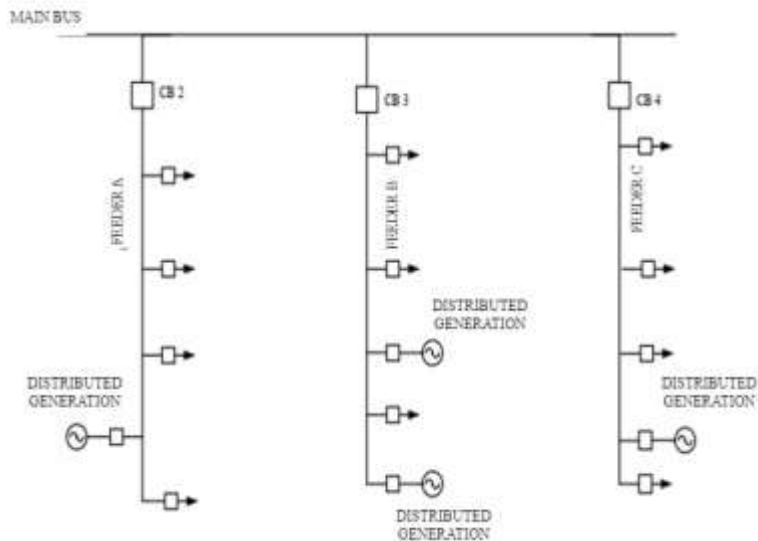
Gambar 2. 2 Mode Grid-Connection [4]

Mode *grid connected* memungkinkan *microgrid* untuk beroperasi secara terhubung dengan jaringan listrik utama, sehingga dapat memanfaatkan sumber daya listrik eksternal saat diperlukan, dan juga menyediakan daya listrik ke jaringan listrik utama jika memungkinkan. 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]

2.1.2 *Islanding*

Kondisi *islanding* terjadi ketika *microgrid* terputus dari grid utama (PLN) dan Distributed Generation (DG) mensuplai beban dalam sistem sepenuhnya. Jika terjadi gangguan, *microgrid* berubah menjadi mode *islanding* agar tetap dapat

mensuplai beban. Dalam kondisi ini, *microgrid* beroperasi tanpa bantuan PLN dan Distributed Generation (DG) mensuplai beban secara mandiri untuk memenuhi kebutuhan sistem. Deviasi repon frekuensi selama islanding disebabkan oleh perubahan pembangkitan yang cepat dan tiba-tiba mengikuti beban. [6].



Gambar 2. 3 Mode Islanding [4]

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.

Beberapa keuntungan dari mode islanding pada *microgrid* meliputi:

1. Pengurangan emisi karbon dioksida dan menjaga keseimbangan lingkungan dengan menggunakan sumber energi yang berkelanjutan dan ramah lingkungan, seperti tenaga surya, tenaga angin, atau biogas

2. Meningkatkan keandalan sistem dengan menghasilkan daya listrik menggunakan sumber energi yang ada dan mengurangi risiko kehabisan daya pada sistem
3. Mengembalikan tenaga surya, tenaga angin, atau biogas, selama kondisi cuaca baik dan menyediakan daya listrik dengan tenaga tersebut saat terjadi fluktuasi daya

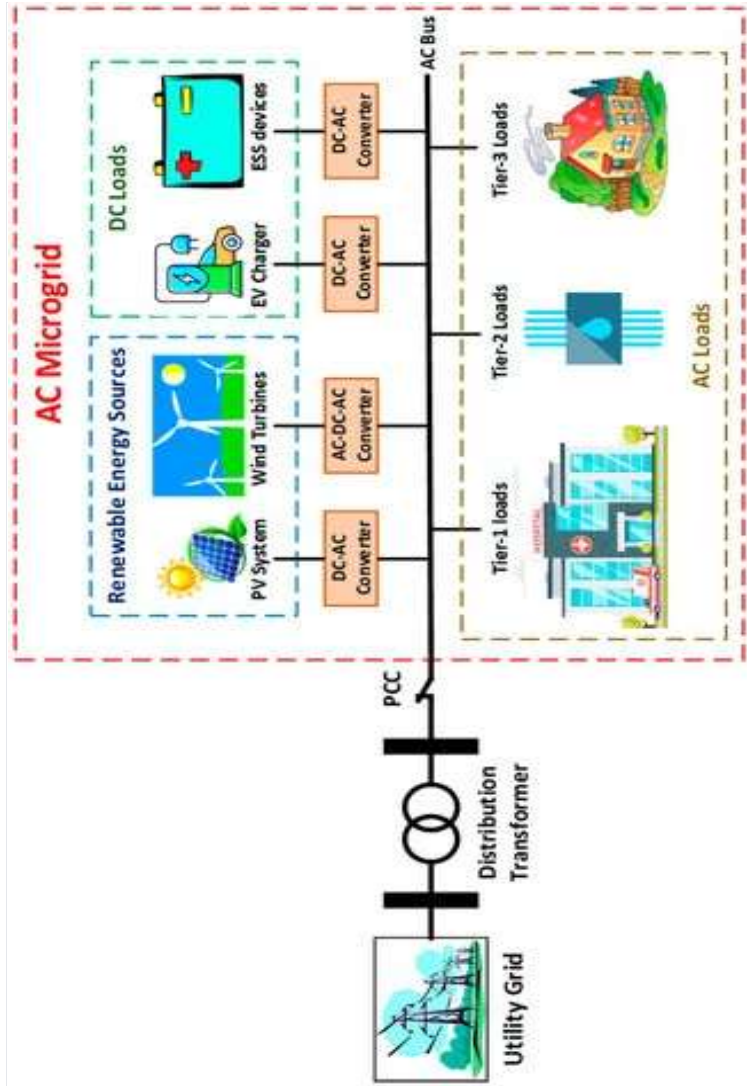
Perbedaan utama antara mode grid connected dan mode islanding adalah ketergantungan pada sumber daya yang digunakan dan cara *microgrid* berinteraksi dengan jaringan tenaga listrik utama. Mode grid connected *microgrid* menjaga keseimbangan antara daya impor dan daya ekspor dengan jaringan listrik utama,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

2.2 **Klasifikasi *Microgrid***

Microgrid diklasifikasikan dalam tiga kategori berdasarkan karakteristik daya yang diinjeksikan ke dalam jaringan distribusi

2.2.1 ***Alternating Circuit Microgrid***

Alternating Circuit microgrid adalah jaringan listrik terdistribusi yang terdiri dari beberapa sumber daya energi terbarukan dan non terbarukan yang terhubung melalui jaringan listrik bolak balik. *Alternating Circuit microgrid* dapat beroperasi dalam mode terhubung ke jaringan utama tanpa persyaratan khusus seperti konverter dan pengontrolnya[8]. *Alternating Circuit microgrid* atau mode terisolasi dari jaringan utama.



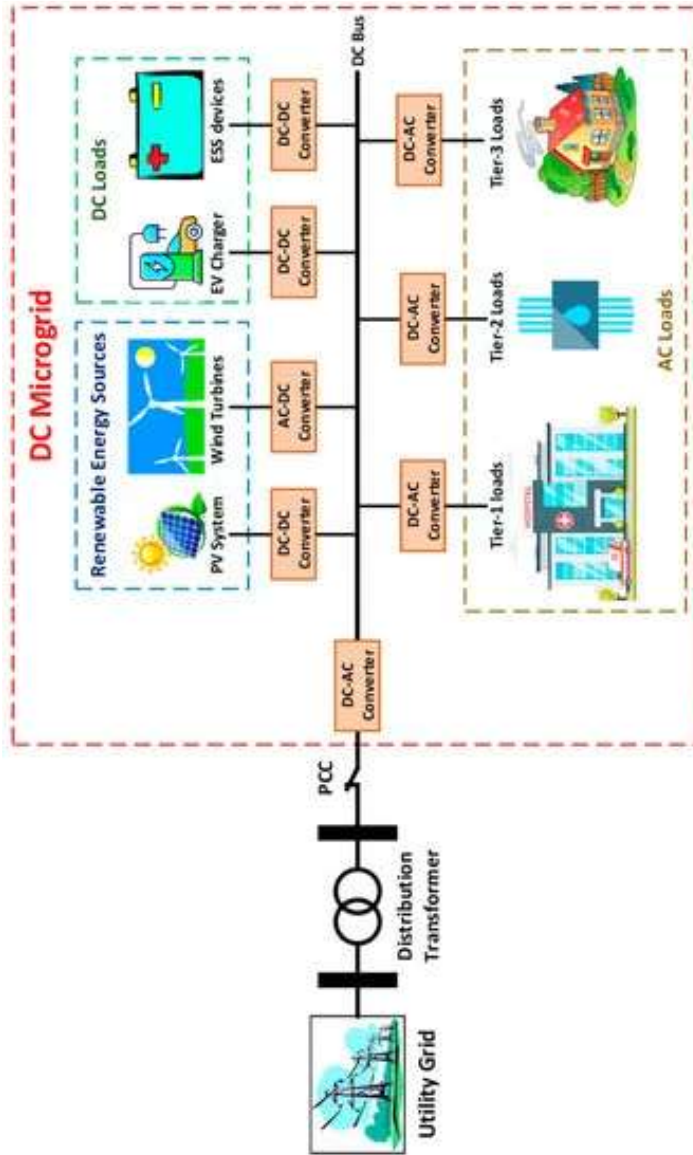
Gambar 2. 4 Alternating Current Microgrid [9]

Karena sistem tenaga konvensional didasarkan pada listrik bolak-balik, maka *Microgrid* dapat langsung digunakan dalam listrik bolak-balik pada tahap awal. Pada sistem *microgrid*, PCC (Point of Common Coupling) digunakan sebagai titik koneksi antara *microgrid* dan jaringan listrik utama [9]. PCC merupakan satu-satunya titik di mana sumber daya terdistribusi terhubung ke jaringan listrik utama. PCC sangat penting karena di sinilah transfer daya listrik antara pemilik sumber daya terdistribusi dan pemilik jaringan listrik terjadi. Karena sistem tenaga konvensional didasarkan pada listrik bolak-balik, maka PCC biasanya menggunakan bus AC tiga fasa sebagai titik koneksi. Pengukuran daya pada PCC memungkinkan pengaturan daya yang seimbang antara sumber daya terdistribusi dalam *microgrid* dan jaringan listrik utama. Hal ini sangat penting dalam menjaga keseimbangan daya aktif dan reaktif dalam sistem *microgrid* dan memastikan penggunaan daya yang efisien dan seimbang. Dengan demikian, PCC merupakan titik penting dalam sistem *microgrid* untuk menjaga stabilitas dan kinerja sistem.

Alternating Circuit microgrid memiliki keuntungan dalam hal kemampuan untuk mentransmisikan daya listrik dalam jarak yang lebih jauh dan lebih efisien daripada DC *microgrid*. Selain itu, *Alternating Circuit microgrid* juga lebih mudah untuk diintegrasikan dengan jaringan listrik yang sudah ada.

2.2.2 **Direct Current Microgrid**

Konsep *Direct microgrid* lebih unggul dalam perlindungan hubung singkat dan masalah efisiensi karena telah muncul pengaplikasian dari komponen-komponen elektronika dan tersedianya sumber DC yang ramah lingkungan. DC *microgrid* dapat mengurangi adanya kehilangan daya dengan menyimpan daya yang berlebih dalam baterai atau konverter. DC *microgrid* menawarkan efisiensi yang lebih tinggi daripada sistem AC, karena tidak perlu menggunakan komponen seperti inverter dan transformator yang menjadi penyebab adanya *losses*.

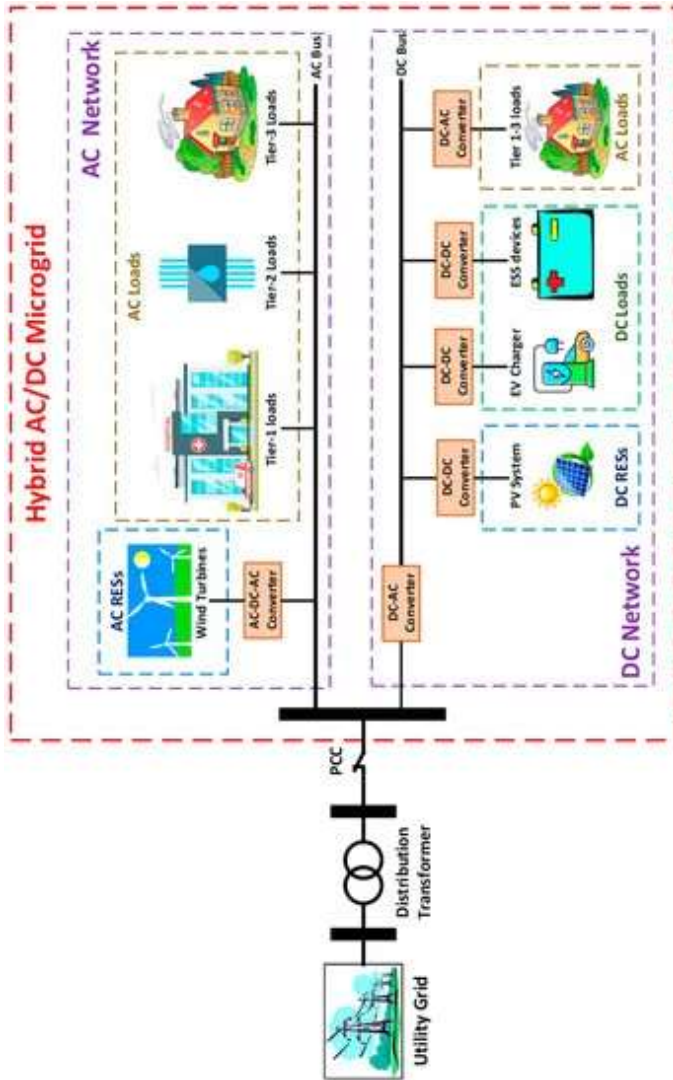


Gambar 2. 5 Direct Current Microgrid [9]

Direct Current microgrid adalah sebuah sistem kelistrikan terdistribusi yang menggunakan jaringan listrik arus searah sebagai basis untuk menyediakan daya. DC *microgrid* dapat terdiri dari berbagai sumber energi, seperti panel surya, turbin angin, dan baterai, yang terhubung ke bus. Dengan konfigurasi yang tepat, *microgrid* mampu menyediakan daya listrik secara terus menerus. Selain itu, DC *microgrid* juga dapat bekerja bersama dengan jaringan distribusi utama melalui konverter dua arah, yang memungkinkan akses daya listrik dari jaringan utama saat diperlukan[4].

2.2.3 Hybrid Microgrid

Microgrid hibrid terdiri dari AC dan DC jaringan distribusi listrik dengan pengendali pusat *microgrid*. Tujuan pembangunan *microgrid* hibrid adalah untuk meminimalkan tahapan konversi, mengurangi perangkat antarmuka, meningkatkan keandalan dan mengurangi biaya energi, sehingga meningkatkan efisiensi jaringan secara keseluruhan. Struktur seperti itu memungkinkan ac dan daya DC untuk disuplai ke jaringan distribusi sehingga dapat menggunakannya listrik sesuai kebutuhannya (ac atau dc).



Gambar 2. 6 Hybrid Microgrid [9]

Hybrid microgrid sering kali menggabungkan berbagai sumber daya, termasuk sistem energi terbarukan seperti panel surya dan turbin angin, serta sumber daya konvensional seperti generator diesel. Biasanya, PEC bertanggung jawab untuk memisahkan bagian ac dan dc dari sebuah *microgrid* [8]. PEC (*Power Electronic Converter*) adalah konverter daya elektronik yang digunakan untuk mengubah arus listrik dari satu bentuk ke bentuk lain. PEC digunakan untuk menghubungkan sumber daya energi terbarukan dan non-terbarukan ke dalam *microgrid*, serta untuk mengatur aliran daya listrik antara sumber daya dan beban. PEC juga digunakan untuk mengatur tegangan dan frekuensi dalam *microgrid*, serta untuk mengatur transfer daya antara *microgrid* dan jaringan listrik utama. PEC pada *hybrid microgrid* dapat berupa konverter DC-DC atau DC-AC, tergantung pada jenis sumber daya energi yang digunakan dalam *microgrid*.

2.3 Distributed Generation

Distributed generation biasanya menggunakan sumber energi terbarukan seperti angin, surya, air, dan biomass atau sumber energi tidak terbarukan seperti diesel, uap, dan sel bahan bakar. Pembangkit listrik dengan kapasitas kecil biasanya terletak dekat dengan beban pada sistem distribusi tenaga listrik. DG dapat diintegrasikan dengan sistem distribusi untuk memenuhi kebutuhan beban karena peletakan DG tersebar. Hasil dari beberapa penelitian menunjukkan bahwa DG:

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

Tabel berikut menunjukkan pengklasifikasian unit DG berdasarkan kapasitasnya [10]

Tabel 2. 1 Tabel Pengklasifikasian Distributed Generation

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

Large	>5MW	Hydro, solar thermal, wind farm, diesel
--------------	------	---

Unit *distributed generation* dengan skala micro dan mini memiliki kapasitas yang kecil mulai dari <2kW-10kW dan dapat menyediakan daya listrik untuk beberapa kebutuhan rumah. Unit *distributed generation* dengan skala *small* memiliki kapasitas yang 10KW-1MW dan dapat menyediakan daya listrik untuk berbagai kebutuhan, termasuk sistem *microgrid* atau sistem distribusi yang lebih besar. Unit *distributed generation* dengan skala lebih dari 1MW memiliki kapasitas yang lebih besar dan dapat menyediakan daya listrik untuk berbagai kebutuhan atau sistem distribusi yang lebih besar lagi

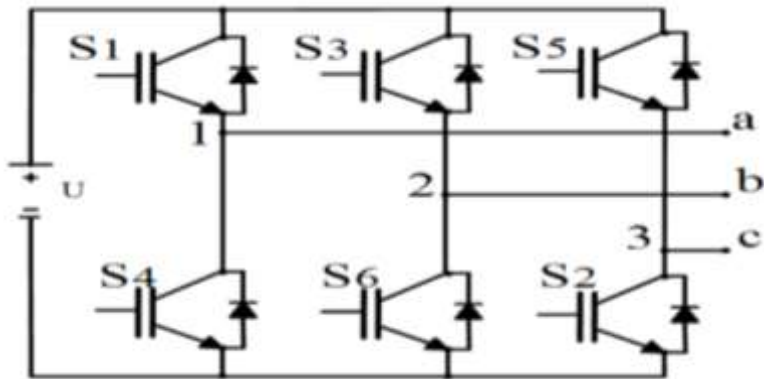
Unit *distributed generation* dengan skala lebih dari 1MW dapat menyediakan daya listrik untuk berbagai kebutuhan, termasuk mengurangi rugi daya dengan menyediakan lebih banyak suplai daya dengan menghasilkan daya listrik yang diperlukan oleh pengguna dari sumber energi yang lebih terbarukan dan ramah lingkungan, seperti tenaga angin, air, tenaga surya, atau biogas. Unit *distributed generation* dengan skala dengan kapasitas lebih dari 1 MW memungkinkan untuk menyediakan daya listrik yang lebih stabil karena dapat membantu mengatasi gangguan dalam jaringan sistem distribusi. Namun, perlu diperhatikan bahwa unit *distributed generation* dengan kapasitas lebih dari 1 MW memerlukan infrastruktur dan teknologi yang lebih kompleks dan mungkin memiliki dampak lingkungan yang lebih signifikan daripada unit *distributed generation* dengan skala yang lebih kecil [11]

2.4 Inverter

Inverter adalah bagian penting dari sistem *microgrid*, berfungsi untuk menghasilkan daya yang dapat dikonsumsi oleh beban yang ada [12]. Inverter 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 berperan untuk mengubah energi listrik searah menjadi listrik bolak balik untuk disuplai ke arah beban.

Inverter dapat mengatur dan menstabilkan tegangan listrik searah yang dihasilkan oleh sumber daya terbarukan sehingga tetap stabil. 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*.



Gambar 2. 7 Komponen Inverter Dua Tingkat

Pada sistem *microgrid* untuk mengintegrasikan sumber daya terbarukan dan menjaga keseimbangan antara produksi dan konsumsi daya listrik, serta meningkatkan kemandirian dan ketahanan energi digunakan inverter dua tingkat. Inverter dua tingkat adalah jenis inverter yang menggunakan komponen dua tingkat seperti IGBT (*Integrated Gate Bipolar Transistor*) atau MOSFET (*Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor*), untuk mengubah daya listrik menjadi daya yang dapat disuplai ke beban. Berikut adalah beberapa komponen utama pada inverter dua tingkat [13]:

1. Mosfet atau IGBT

Mosfet atau IGBT merupakan komponen penting dalam inverter dua tingkat. MOSFET adalah jenis transistor yang digunakan untuk mengontrol aliran arus listrik, sementara IGBT bekerja sebagai untuk mengontrol listrik.

2. Kapasitor

Kapasitor digunakan dalam inverter untuk menyimpan energi dan mengurangi harmonisa yang mungkin pada sinyal listrik yang masuk.

3. Induktif
Induktif adalah komponen yang bekerja sama dengan kapasitor untuk menjaga ketidakpastian sistem dan menghasilkan daya pulsa sinus dalam sinyal listrik.
4. Pengendali
Pengendali digunakan untuk mengatur perubahan tingkat dan frekuensi sinyal listrik yang dihasilkan oleh inverter, sehingga menjaga keseimbangan antara produksi dan konsumsi daya listrik. Pengendali ini juga mengatur transfer daya antara bus DC dan jaringan AC untuk menjaga keseimbangan sistem dan menghasilkan daya yang stabil dan aman. Pengendali pada inverter juga berfungsi untuk mengontrol arus pada inverter juga membantu menghasilkan daya yang stabil dan aman untuk menjaga keseimbangan antara produksi dan konsumsi daya listrik
5. Saklar Elektronik
Saklar elektronik digunakan untuk menyuntikkan daya dari sumber daya ke inverter dan mengatur aliran arus listrik yang masuk ke sumber daya. Saklar elektronik juga berfungsi untuk menjaga daya yang diperlukan untuk menjalankan sistem *microgrid* dan menghasilkan daya yang dapat dikonsumsi oleh beban yang ada. Saklar ini juga mengatur aliran arus listrik yang masuk ke inverter, sehingga menjaga keseimbangan antara produksi dan konsumsi daya listrik.

2.5 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. Pada sistem *microgrid*, *power sharing* dapat dilakukan dengan berbagai teknik seperti *droop control*, *virtual impedance*, dan model *predictive control*. *Droop control* adalah teknik dengan mengubah daya yang dihasilkan oleh sumber daya terbarukan. *Virtual Impedance* adalah teknik yang digunakan untuk mengatur impedansi pada sistem *microgrid* dengan

mengubah daya yang dihasilkan oleh sumber daya terbarukan. Model *predictive control* adalah teknik yang digunakan untuk mengoptimalkan penggunaan sumber daya terbarukan pada sistem *microgrid*.

Berikut adalah beberapa poin penting mengenai *power sharing microgrid*:

1. Pembagian Beban
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 [14]
2. Pengaturan Sistem
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 [15]
3. Penggunaan Energi Terbarukan
Power sharing microgrid memungkinkan penggunaan energi terbarukan, seperti solusi terbarukan untuk berkontribusi dalam menyediakan daya ke pengguna. Hal ini dapat membantu mengurangi ketergantungan pada sumber energi konvensional dan mengurangi emisi karbon dioksida [16]
4. Kelincahan
Power sharing microgrid dapat beroperasi secara mandiri atau terhubung dengan jaringan utama, tergantung pada kebutuhan dan kondisi operasi yang ada. Hal ini memungkinkan *microgrid* untuk menjaga stabilitas dan ketidakpastian.

2.6 Daya

Dalam sistem tenaga listrik, daya adalah jumlah energi yang digunakan untuk melakukan kerja atau usaha. Daya listrik biasanya dinyatakan dalam satuan Watt atau Horsepower (HP). 1 HP setara dengan 746 Watt atau 1 bft/second.

2.7 Jenis- Jenis Daya

Terdapat tiga macam daya listrik yang digunakan untuk menggambarkan penggunaan energi listrik yaitu :

2.7.1 Daya Aktif

Daya aktif adalah daya yang terpakai untuk melakukan energi sebenarnya. Satuan daya aktif adalah Watt. Persamaan untuk mendapatkan nilai daya aktif dalam sistem satu fasa adalah sebagai berikut :

$$P = V.I.\cos \varphi \dots\dots\dots(1)$$

Dimana :

P = Daya Aktif (W)

V = Tegangan (V)

I = Arus (A)

$\cos \varphi$ = Faktor Daya

Persamaan untuk mendapatkan nilai daya aktif dalam sistem tiga fasa adalah sebagai berikut:

$$P = \sqrt{3}.V.I.\cos \varphi \dots\dots\dots(2)$$

Dimana :

P = Daya Aktif (W)

V = Tegangan (V)

I = Arus (A)

$\cos \varphi$ = Faktor Daya

2.7.2 Daya Reaktif

Daya reaktif adalah jumlah daya yang diperlukan untuk membentuk medan magnet dan menghasilkan fluks medan magnet. Contoh daya yang menghasilkan daya reaktif adalah motor, transformator, lampu pijar, dll. Volt ampere reaktif (VAR) adalah satuan daya reaktif. Dalam sistem Tiga Fasa, persamaan untuk menghitung nilai daya reaktif yaitu:

$$Q = V.I.\sin \varphi \dots\dots\dots(3)$$

Dimana :

Q = Daya reaktif (VAR)

V = Tegangan (V)

I = Arus (A)

$\sin \varphi$ = Sudut fasa antara tegangan dan arus

2.7.3 Daya Semu

Daya semu adalah daya yang dihasilkan oleh perkalian antara tegangan root mean square (rms) dan arus rms dalam suatu jaringan atau

daya yang merupakan hasil penjumlahan trigonometri daya aktif (P) dan daya reaktif (Q). Satuan daya semu adalah volt ampere (VA) .

$$S = V \cdot I \dots\dots\dots (4)$$

Dimana :

S = Daya Semu (VA)

V = Tegangan (V)

I = Arus (A)

2.8 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]

Metode droop didasarkan pada konsep terkenal di sistem tenaga yang didasarkan pada generator berputar, frekuensi dan daya aktif. Konsep ini banyak digunakan dalam pengontrol pada *power sharing* secara paralel dengan koneksi DG. Saat penggabungan sistem DG dengan struktur paralel, daya nyata dan daya reaktif yang disuplai ke bus ac ditetapkan, dan sinyal yang dihasilkan diterapkan untuk menyesuaikan dan menyetel frekuensi dan amplitudo tegangan sistem.

Droop control adalah teknik pengendalian generator sinkron dan sumber daya berbasis inverter pada jaringan listrik. Hal ini memungkinkan beberapa unit pembangkit dihubungkan secara paralel, berbagi beban sebanding dengan peringkat dayanya. Dalam kontrol droop, nilai “droop” frekuensi dan tegangan ditetapkan ke setiap unit pembangkit di jaringan. Nilai droop ini menunjukkan seberapa besar frekuensi dan voltase dibiarkan menyimpang dari nilai nominalnya untuk memperhitungkan perubahan kebutuhan daya.

Jenis kontrol droop yang paling umum adalah kontrol droop konvensional. Dalam kontrol droop konvensional, frekuensi dan tegangan masing-masing bervariasi secara linier terhadap daya aktif dan reaktif. Misalnya, menetapkan penurunan frekuensi 1% ke konverter berarti frekuensinya menyimpang 0,01 per unit (pu) sebagai respons terhadap perubahan daya aktif sebesar 1,0 pu. Kontrol droop terbalik adalah teknik alternatif yang berguna pada *microgrid* bertegangan rendah.

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. Hubungan antara daya aktif dan frekuensi dapat dinyatakan dengan rumus berikut:

$$f = f_0 + Kpf(P_0 - P) \dots\dots\dots (4)$$

Sedangkan untuk daya reaktif dan tegangan ditulis dalam persamaan sebagai berikut:

$$V = V_0 + KQV(Q_0 - Q) \dots\dots\dots(5)$$

Dimana:

f_0 = nilai frekuensi pada DG unit (Hz)

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

Koefisien droop pada inverter dapat dinyatakan:

$$KP = \frac{\Delta f}{P_{max}} \dots\dots\dots(6)$$

$$KQ = \frac{\Delta V}{Q_{max}} \dots\dots\dots(7)$$

Dimana:

P_{max} = nilai maximum daya aktif (KW)

Q_{max} = nilai maximum daya reaktif (KVAR)

Δf = maksimum frekuensi (HZ)

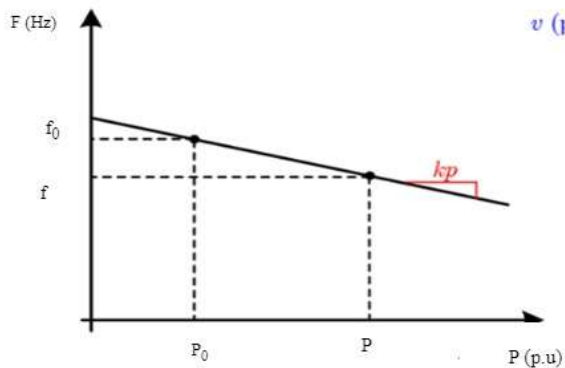
ΔV = maksimum perubahan tegangan (V)

dimana P_{max} dan Q_{max} masing-masing adalah daya aktif dan reaktif maksimum yang dihasilkan oleh inverter, dan Δf dan ΔV masing-masing adalah frekuensi maksimum yang diijinkan dan deviasi besaran tegangan. Menurut EN 50160, Δf harus berada dalam $\pm 2\%$ dari frekuensi nominal, sedangkan ΔV tidak boleh melebihi $\pm 10\%$ dari besaran tegangan nominal [17]

Karakteristik droop mempengaruhi pembagian daya beban ketika lebih banyak unit DG terhubung ke inverter paralel. Dengan kata lain, ketika beban meningkat maka frekuensi akan mengikuti nilai referensi [18]

2.8.1 P-F Droop

P-f droop pada sistem *microgrid* mengacu pada kontrol droop daya aktif-frekuensi yang digunakan untuk mengatur pembagian daya aktif antara sumber daya terdistribusi dalam *microgrid*. Teknik ini memungkinkan beberapa sumber daya terdistribusi, seperti generator atau inverter, untuk terhubung secara paralel dan berbagi beban daya aktif secara proporsional tergantung pada frekuensi jaringan. Dengan demikian, P-f droop control memainkan peran penting dalam menjaga stabilitas dan kinerja sistem *microgrid* dengan memastikan pembagian beban daya aktif yang seimbang antara sumber daya terdistribusi. P/F droop control pada *microgrid* mempengaruhi stabilitas transien dengan mengatur daya aktif dan frekuensi. 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 [19].

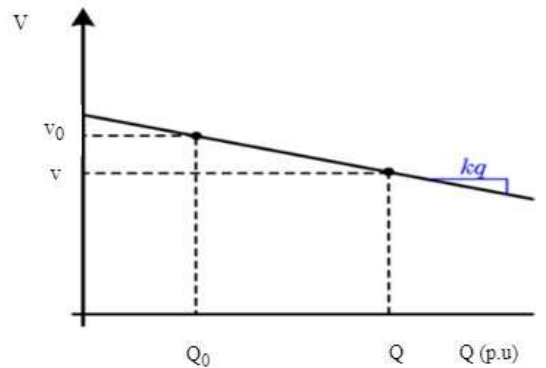


Gambar 2. 8 Karakteristik P-F Droop

P-f droop control memiliki karakteristik linier, yang berarti bahwa daya aktif yang dihasilkan oleh sumber daya terdistribusi akan berubah secara proporsional dengan perubahan frekuensi dan P-f droop control memungkinkan sumber daya terdistribusi untuk sinkronisasi dengan jaringan dan berbagi beban daya aktif secara proporsional

2.8.2 Q-V Droop

Q-V droop control pada sistem *microgrid* adalah teknik yang digunakan untuk mengatur produksi tenaga reaktif (Q) dan tingkat voltase (V) dari sumber daya terdistribusi, seperti generator atau inverter, berdasarkan tingkat voltase jaringan. Strategi kontrol ini mengirimkan karakteristik droop tradisional dari sistem listrik dengan menyesuaikan produksi daya reaktif berdasarkan perubahan tingkat voltase. Ketika tingkat voltase jaringan menyimpang dari nilai standar, sumber daya terdistribusi akan menyesuaikan produksi daya reaktif secara proporsional, sehingga mempertahankan keseimbangan antara generasi dan beban. Teknik ini sangat penting untuk pembagian tenaga dan stabilitas dalam *microgrid*, karena memungkinkan sumber daya terdistribusi untuk merespon perubahan voltase dan berkontribusi pada keseimbangan dan kinerja sistem jaringan secara keseluruhan. Q-V droop control merupakan teknik yang dirancang untuk linier, memungkinkan respons yang proporsional terhadap perubahan voltase, dan merupakan elemen penting dalam efektif operasi *microgrid*



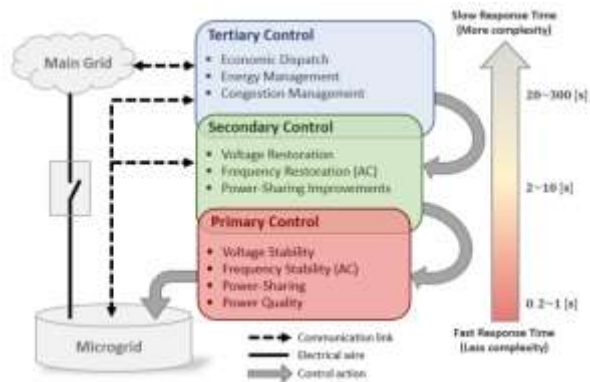
Gambar 2. 9 Karakteristik Q-V Droop

Q-V droop control memiliki karakteristik linier, yang berarti bahwa produksi tenaga reaktif yang dihasilkan oleh sumber daya terdistribusi akan berubah secara proporsional dengan perubahan voltase jaringan. Q-V droop control memungkinkan sumber daya terdistribusi untuk sinkronisasi dengan jaringan dan berbagi beban daya reaktif secara proporsional

2.9 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 [20]:

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



Gambar 2. 10 Hierarchical Control [21]

Pada Level pengendali tegangan ini terdiri dari loop tegangan dalam dan/atau loop arus. Tingkat ini memastikan stabilitas frekuensi dan voltase jaringan. Tugasnya meliputi mengatur produksi dan konsumsi tenaga aktif dan reaktif serta menjaga kualitas daya (PQ). Loop kontrol ini mengatur tegangan dan arus masuk inverter untuk mengembangkan kualitas daya. Selain itu, ini level kontrol memiliki bandwidth yang lebih tinggi dibandingkan dengan level lainnya untuk merespons dengan cukup cepat terhadap gangguan apa pun di DG pada sistem *microgrid*.

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 serta mengatur produksi dan konsumsi tenaga yang sekitar dengan memantau daya aktif dan reaktif yang dihasilkan oleh sumber daya terdistribusi

Level ketiga yaitu pengontrol tersier (kadang-kadang disebut sebagai kontrol sekunder) 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. Pengontrol ini menggunakan nilai referensi untuk menyesuaikan tegangan dan frekuensi yang diukur pada PCC agar dapat disesuaikan tegangan referensi dan fasa pada level primer.

Kontrol hierarkis ini memungkinkan sistem *microgrid* untuk menjaga keseimbangan dan efisiensi dengan menghubungkan pembagian tugas dan pengendalian antara berbagai tingkat kontrol. Dengan

demikian, metode ini sangat efektif untuk mengelola sistem *microgrid* yang kompleks dan berdimensi, seperti *microgrid* yang terhubung dengan jaringan listrik lebih besar atau sistem *microgrid* yang berbasis pembangkitan terdistribusi.

2.10 *Simulink*

Simulink adalah kumpulan aplikasi dalam Matlab yang memungkinkan modeling, simulasi, dan analisis dinamik sistem. Untuk memudahkan pengguna, terdapat blok diagram yang dapat dengan mudah diatur sesuai dengan model matematis sistem atau plant yang akan dikendalikan.

Didalam simulink ini terdapat blok pustaka yang isinya meliputi antara lain :

- a. *Sources* mempunyai pustaka antara lain : *clock, digital clock, signal generator, constant, sine wave, step input, pulse generator random number, from file, from workkspace*
- b. *Sinks* mempunyai pustaka antara lain : *scope, graph, stop simulation, XY graph, hit crossing, to workspace, to file, auto-scale garph*
- c. *Discrete* mempunyai pustaka antara lain : *unit delay, filter, discrete state-space, zeroorder hold, first order hold, discrete time integrator, discrete time limeted integrator, transfer function, discrete zero-pole*
- d. *Linear* mempunyai pustaka antara lain : *sum, integrator, gain, matrix gain, slider gain, transfer function, zero-pole, state space, inner product, derivative.*
- e. *Nonlinear* mempunyai pustaka anatarain lain : *sign, relay, backlash, saturation, quantizer, memory, transport delay, variable transport delay, matlab function, function, s-function, reset integrator, switch, combinatorial logic, logical operator, relational operator, product, abs, look up table, 2-D look up table, dead zone, dan rate limiter*
- f. *Connections* mempunyai pustaka antara lain : *inport, outport, mux, demux.*
- g. *Extras* mempunyai pustaka antara lain : *simulink demos, most commonly used blocks, conversion, flip-flops, PID Controllers*

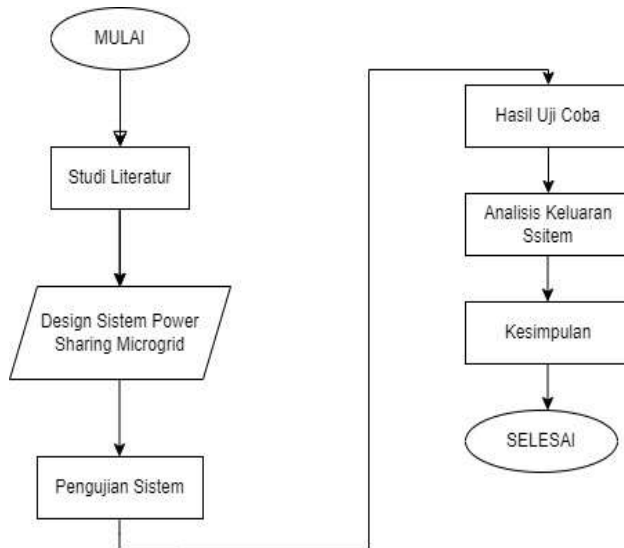
[Halaman Ini Sengaja Dikosongkan]

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tahap Penelitian

Proses pembuatan simulasi desain sistem pembagian daya dari tahap awal sampai akhir akan dijelaskan pada diagram flowchart Gambar 3.1



Gambar 3. 1 Flowchart Penelitian

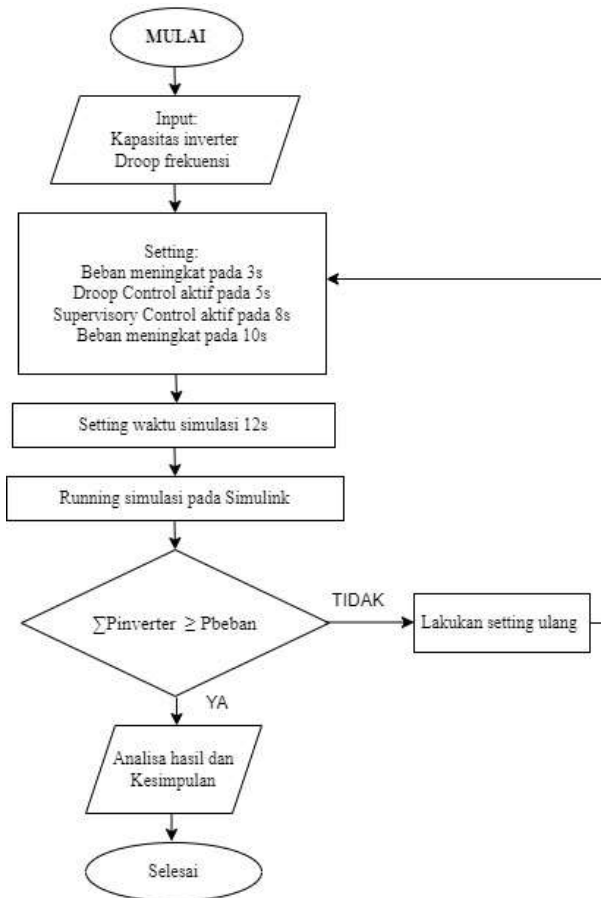
Adapun Tahapan Penelitian:

1. Studi literatur ini dilakukan untuk mengetahui teori-teori yang berhubungan dengan perhitungan yang akan dibuat, sehingga dapat dijadikan sebuah acuan dalam pembuatan alat agar didapatkan hasil yang berkualitas. Pencarian referensi dari berbagai jurnal
2. Mendesain sistem *power sharing microgrid* yang terdiri dari tiga inverter yang dihubungkan secara paralel untuk membentuk sistem cadangan, meningkatkan keandalan, dan dapat beroperasi

dalam mode *islanding* dimana masing masing inverter harus mampu menyuplai listrik

3. Pengujian sistem dilakukan untuk mengetahui apakah sistem dapat berjalan dan berhasil
4. Analisis keluaran sistem
5. Tarik kesimpulan

3.2 Flowchart Sistem



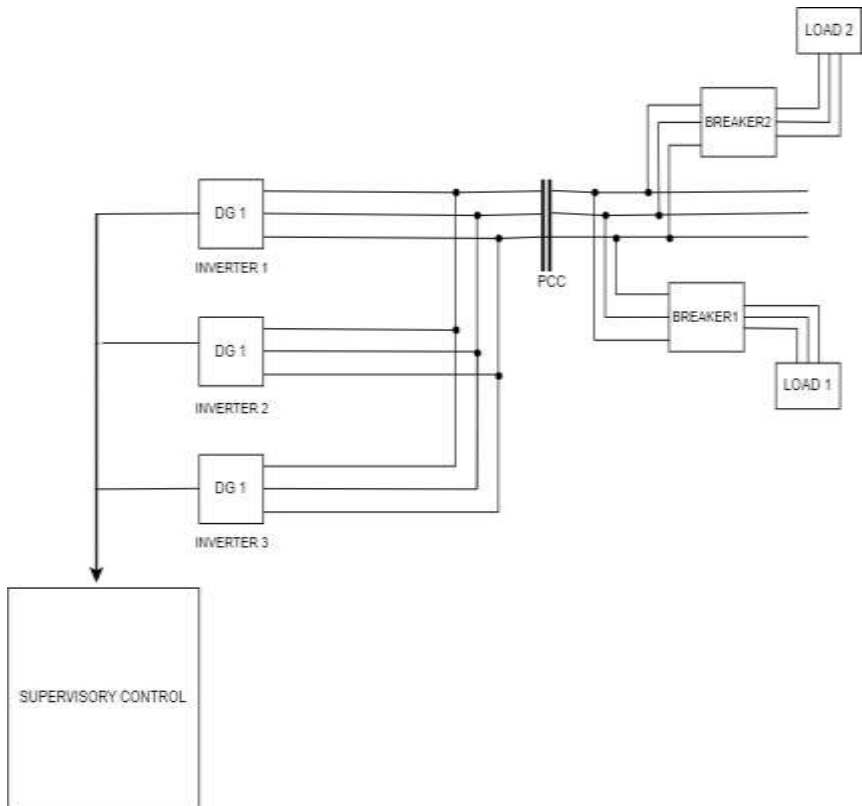
Gambar 3. 2 Flowchart Sistem

Gambar 3.2 merupakan diagram alir pada simulasi *alternating current microgrid*.

1. Pada tahap simulasi program ini, dimulai dengan menetapkan kapasitas masing 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 masing berbeda namun nilai droop controlnya sama. Untuk *case II* nilai masing masing inverter dan droop controlnya berbeda.
2. Melakukan 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.
3. *Running* 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.
4. 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

3.3 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.



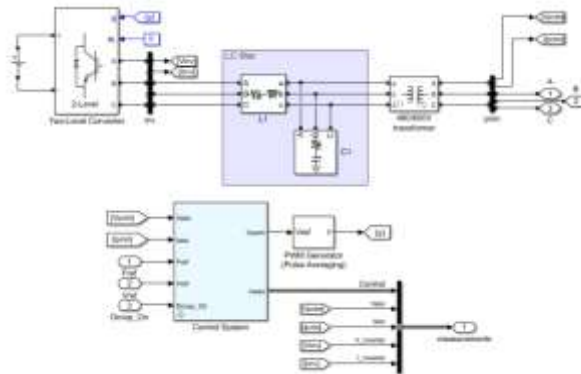
Gambar 3. 3 Diagram Rangkaian Operasi Paralel Sistem *Microgrid*

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 untuk mengembalikan frekuensi mikrogrid ke nilai nominalnya.

Setiap subsistem juga terdapat sistem kontrol dan generator PWM yang menyuplai ke inverter. Analisis didasarkan pada referensi frekuensi yang mampu menghasilkan keluaran tegangan dan arus serta kesetaraan pembagian daya beban ketika terjadi gangguan beban.

3.4 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.



Gambar 3. 4 Rangkaian subsistem pada inverter

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

1. Fungsi inverter adalah mengubah energi listrik DC menjadi AC untuk disuplai ke 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.

3.5 Data Sistem

Tabel 3. 1 Parameter Sistem

	Parameter	Nilai
Power Parameters	Inverter Switching Frequency	2700 Hz
	DC bus Voltage	1000 V
	Nominal bus frequency	60 Hz
	RMS Line Voltage	480 V
Beban	Beban 1	1000W
	Beban 2	1000W

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini menjelaskan hasil simulasi dan analisis dari power sharing ac microgrid berdasarkan desain yang sudah dibuat.

4.1 Penginputan Data Kapasitas Nominal Values dan Droop Values

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.

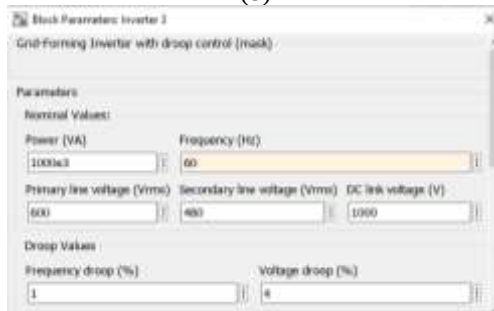
4.1.1 Kapasitas Inverter dan Droop Values Sama

Pada *case* I, masing masing inverter nilai daya 1000kW dan nilai *frequency droop* sebesar 1% dan *voltage droop* 4%. Adapun data kapasitas serta nilai droop akan diinput pada blok parameter sebelum simulasi dijalankan.

(a)



(b)



(c)

Gambar 4. 1 Block Parameter Kapasitas dan Droop: a) Inverter 1 b) Inverter 2
c) Inverter 3

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.

4.1.2 Kapasitas Inverter Berbeda Droop Values Sama

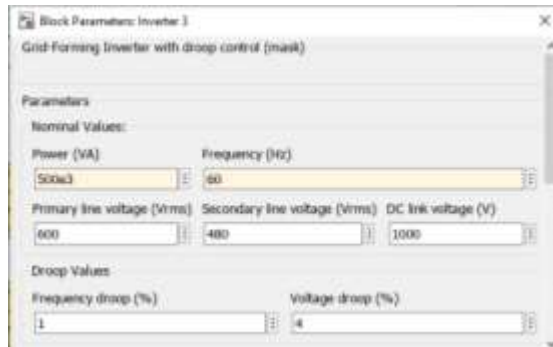
Pada kondisi *case II* masing masing inverter bernilai 1000kW, 700kW, dan 500kW dan nilai *frequency droop* sebesar 1% dan *voltage droop* 4%. Adapun data kapasitas serta nilai droop akan diinput pada blok parameter sebelum simulasi dijalankan. Hasil simulasi akan ditampilkan pada gambar 4.7



(a)



(b)



(c)

Gambar 4. 2 Block Parameter Kapasitas dan Droop : a) Inverter 1 b) Inverter 2
c) Inverter 3

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.

4.1.3 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%. Adapun data kapasitas serta nilai droop akan diinput pada blok parameter sebelum simulasi dijalankan. Hasil simulasi akan ditampilkan pada gambar 4.10

Block Parameters: Inverter 1

Grid-Forming Inverter with droop control (mask)

Parameters

Nominal Values:

Power (VA)	Frequency (Hz)
1000e3	60

Primary line voltage (Vrms)	Secondary line voltage (Vrms)	DC link voltage (V)
600	480	1000

Droop Values

Frequency droop (%)	Voltage droop (%)
1	4

(a)

Block Parameters: Inverter 2

Grid-Forming Inverter with droop control (mask)

Parameters

Nominal Values:

Power (VA)	Frequency (Hz)
700e3	60

Primary line voltage (Vrms)	Secondary line voltage (Vrms)	DC link voltage (V)
600	480	1000

Droop Values

Frequency droop (%)	Voltage droop (%)
2	4

(b)

Block Parameters: Inverter 3

Grid-Forming Inverter with droop control (mask)

Parameters

Nominal Values:

Power (VA)	Frequency (Hz)
500e3	60

Primary line voltage (Vrms)	Secondary line voltage (Vrms)	DC link voltage (V)
600	480	1000

Droop Values

Frequency droop (%)	Voltage droop (%)
3	4

(c)

Gambar 4. 3 Block Parameter Kapasitas dan Droop : a) Inverter 1 b) Inverter 2
c) Inverter 3

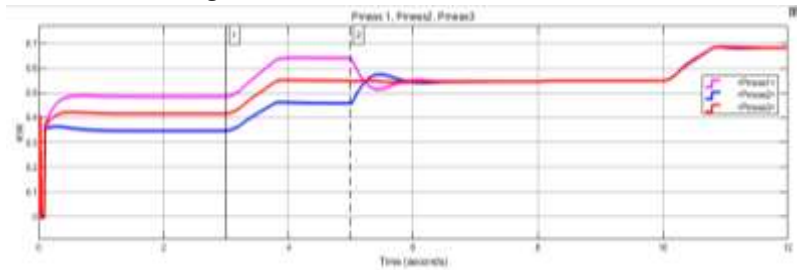
Nilai frekuensi droop 1%, 2%, atau 3% pada microgrid memiliki perbedaan dalam pengaruh dan efek pada sistem. Berikut adalah perbandingan antara ketiga nilai frekuensi droop:

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 mengancamkan 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 mengancamkan stabilitas sistem

4.2 Hasil Simulasi

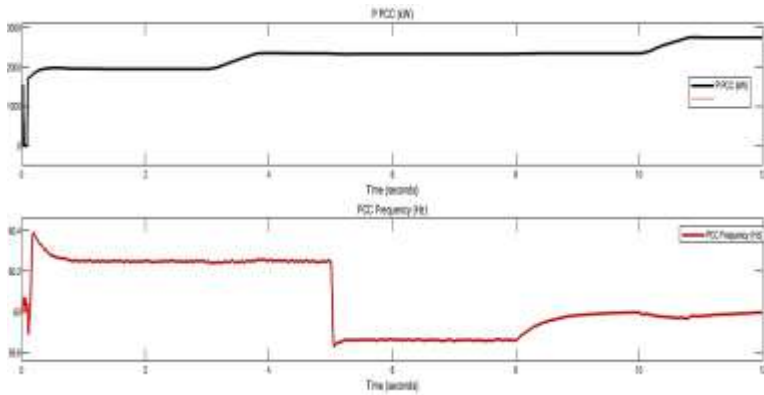
4.2.1 Hasil Simulasi Case I

Dengan menginput data seperti pada gambar 4.1, diperoleh hasil simulasi sebagai berikut



Gambar 4. 4 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 4. 5 Hasil Pengukuran PCC

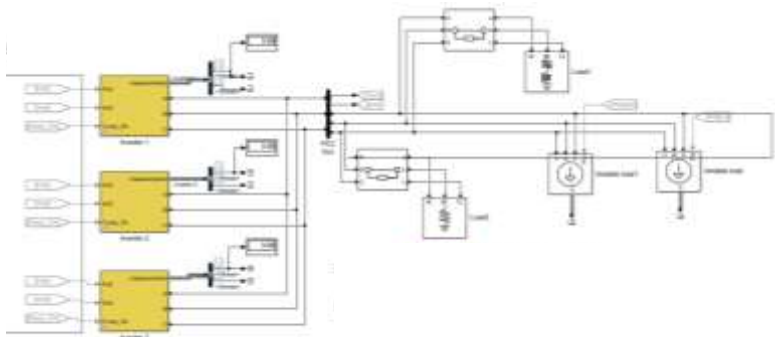
Pada simulasi ini, nilai frekuensi inverter awalnya adalah 60 Hz. Pada detik pertama hingga kedua belum terjadi kenaikan beban. Jika beban turun sebesar 1%, maka frekuensi keluaran inverter akan meningkat sebesar 1% dari 60 Hz.

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

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. 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 pada 60 Hz karena *supervisory control* dirancang untuk mempertahankan stabilitas frekuensi dalam *microgrid*

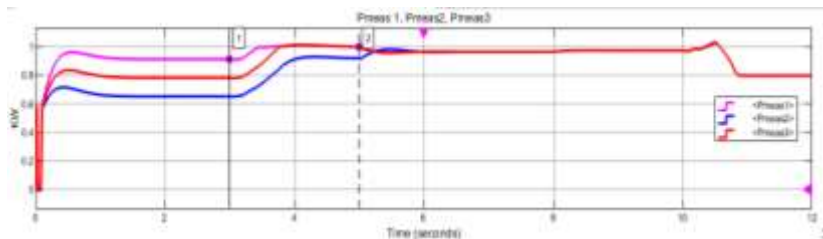


Gambar 4. 6 Hasil Pengukuran Inverter

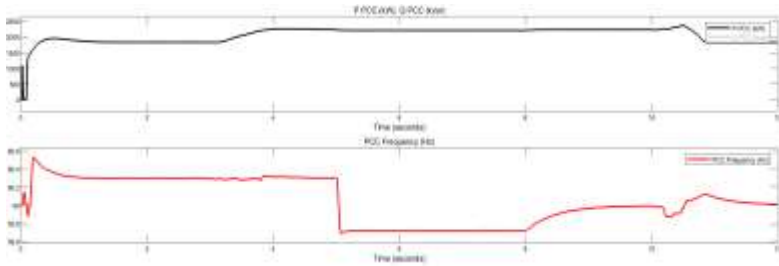
Pada gambar terlihat kontribusi dari masing masing inverter yang akan menyuplai ke beban masing masing bernilai 0.68 kW

4.2.2 Hasil Simulasi Case II

Dengan menginput data berdasarkan tabel 4.2 diatas, diperoleh hasil simulasi sebagai berikut



Gambar 4. 7 Hasil Simulasi Case II



Gambar 4. 8 Hasil Pengukuran PCC

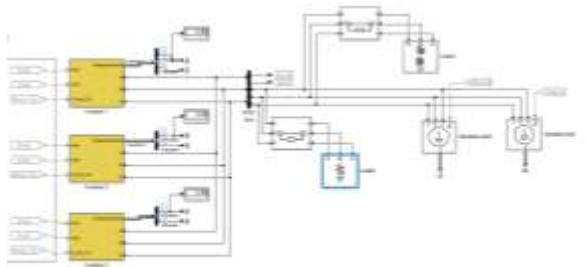
Pada simulasi ini, nilai frekuensi inverter awalnya adalah 60 Hz. Pada detik pertama hingga kedua belum terjadi kenaikan beban, maka frekuensi keluaran inverter akan meningkat sebesar 1% dari 60 Hz.

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

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

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

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. 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

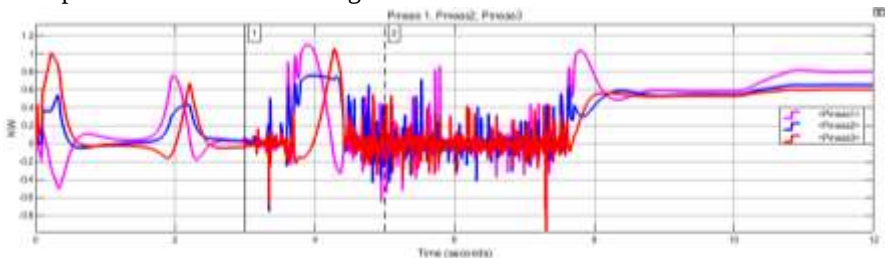


Gambar 4. 9 Hasil Pengukuran Inverter

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

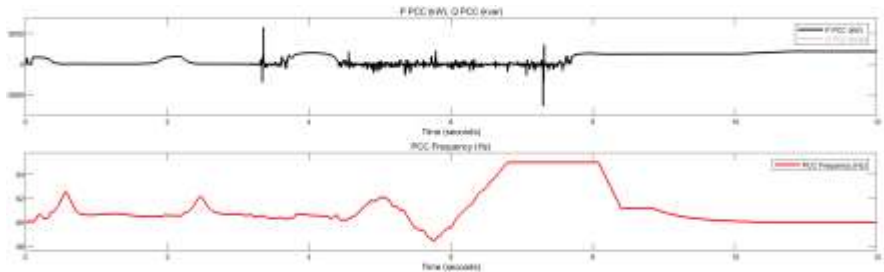
4.2.3 Hasil Simulasi Case III

Dengan menginput data berdasarkan tabel 4.3 diatas, diperoleh hasil simulasi sebagai berikut



Gambar 4. 10 Hasil Simulasi Case III

Nilai frekuensi droop yang paling kecil (1%) memiliki efek pada sistem microgrid yang positif, sementara nilai frekuensi droop yang besar (3%) mungkin mengancamkan 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 4. 11 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. Maka frekuensi pada saat beban belum diaktifkan adalah sebagai berikut :

Inverter 1 (1% droop): Frekuensi naik sebesar 1% dari 60 Hz, menjadi 60.6 Hz.

Inverter 2 (2% droop): Frekuensi naik sebesar 2% dari 60 Hz, menjadi 61.2 Hz.

Inverter 3 (3% droop): Frekuensi naik sebesar 3% dari 60 Hz, menjadi 61.8 Hz.

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

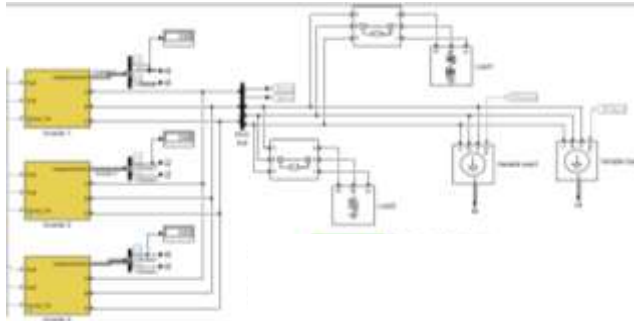
Inverter 1 (1% droop): Frekuensi turun sebesar 1% dari 60 Hz, menjadi 59.4 Hz.

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 4. 12 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.

[Halaman Ini Sengaja Dikosongkan]

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

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 masin 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

5.2 Saran

Saran yang dapat penulis berikan terkait dengan penelitian pada 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

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Kusmantoro, Ardyono Priyadi, Vita Lystianingrum Budiharto Putri, and Mauridhi Hery Purnomo, “Kinerja Micro Grid Menggunakan Photovoltaic-Baterai dengan Sistem Off-Grid,” *J. Nas. Tek. Elektro Dan Teknol. Inf.*, vol. 9, no. 2, pp. 211–217, May 2020, doi: 10.22146/jnteti.v9i2.155.
- [2] I. Colak, R. Bayindir, M. Al-Nussari, and E. Hossain, “Voltage and frequency stability analysis of AC microgrid,” in *2015 IEEE International Telecommunications Energy Conference (INTELEC)*, Osaka, Japan: IEEE, Oct. 2015, pp. 1–7. doi: 10.1109/INTELEC.2015.7572471.
- [3] Y. Yunando and S. Sutriyatna, “Studi Microgrid System Menuju Pembangunan Desa Mandiri Energi Di Desa Temajuk Kabupaten Sambas,” *ELKHA*, vol. 10, no. 1, p. 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 and 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, pp. 97802–97834, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3206362.
- [6] H. Mohamad, S. Sahdan, N. N. Y. Dahlan, and N. M. Sapari, “Under-frequency load shedding technique considering response based for islanding distribution network connected with mini hydro,” in *2014 IEEE 8th International Power Engineering and Optimization Conference (PEOCO2014)*, Langkawi, Malaysia: IEEE, Mar. 2014, pp. 488–493. doi: 10.1109/PEOCO.2014.6814478.
- [7] B. Hartmann, I. Tácsi, A. Talamon, and I. Vokony, “Island mode operation in intelligent microgrid—Extensive analysis of a case study,” *Int. Trans. Electr. Energy Syst.*, vol. 31, no. 8, Aug. 2021, doi: 10.1002/2050-7038.12950.
- [8] M. A. Hossain, H. R. Pota, M. J. Hossain, and F. Blaabjerg, “Evolution of microgrids with converter-interfaced generations: Challenges and opportunities,” *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*,

- vol. 109, pp. 160–186, Jul. 2019, doi: 10.1016/j.ijepes.2019.01.038.
- [9] D. Chen and L. Xu, “AC and DC Microgrid with Distributed Energy Resources,” in *Technologies and Applications for Smart Charging of Electric and Plug-in Hybrid Vehicles*, O. Veneri, Ed., Cham: Springer International Publishing, 2017, pp. 39–64. doi: 10.1007/978-3-319-43651-7_2.
 - [10] Denis, E. W. Sinuraya, J. Windarta, Y. A. A. Soetrisno, and K. Fernanda, “Analysis of Performance and Control of DC Microgrids as Electricity Providers for Renewable Energy,” *E3S Web Conf.*, vol. 317, p. 04032, 2021, doi: 10.1051/e3sconf/202131704032.
 - [11] A. Mundandar, “STUDI OPTIMASI KELUARAN DAYA AKTIF DISTRIBUTED GENERATION (DG) PADA SISTEM DISTRIBUSI RADIAL TIGA FASA DENGAN REKONFIGURASI JARINGAN DAN PENENTUAN LOKASI DG MENGGUNAKAN GENETIC ALGORITHM,” Sepuluh Nopember Institute of Technology: ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTEMENT, 2015. [Online]. Available: <https://core.ac.uk/download/pdf/291469645.pdf>
 - [12] P. R. Saputra, T. Agustinah, and A. Priyadi, “DESAIN KONTROL POWER SHARING MICROGRID PADA BEBAN NON-LINEAR,” *Transm. J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 25, no. 2, pp. 64–74, Jun. 2023, doi: 10.14710/transmisi.25.2.64-74.
 - [13] I. N. W. Satiawan and I. B. F. Citarsa, “REALISASI INVERTER DUA TINGKAT MENGGUNAKAN METODE SVPWM UNTUK PENGATURAN KECEPATAN MOTOR INDUKSI TIGA FASA”.
 - [14] X. Hou, Y. Sun, W. Yuan, H. Han, C. Zhong, and 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, p. 943, Nov. 2016, doi: 10.3390/en9110943.
 - [15] X. Wang and 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, p. 1726, Jul. 2021, doi: 10.3390/electronics10141726.
 - [16] S. Peyghami, H. Mokhtari, and F. Blaabjerg, “Decentralized Load Sharing in a Low-Voltage Direct Current Microgrid With an Adaptive Droop Approach Based on a Superimposed Frequency,” *IEEE J. Emerg. Sel. Top. Power Electron.*, vol. 5, no. 3, pp. 1205–1215, Sep. 2017, doi: 10.1109/JESTPE.2017.2674300.

- [17] S. Mansour and M. I. Marei, “Droop based Control Strategy for a Microgrid,” 2016.
- [18] W. J. Praiselin and J. B. Edward, “Integrated renewable energy sources with droop control techniques-based microgrid operation,” in *Hybrid-Renewable Energy Systems in Microgrids*, Elsevier, 2018, pp. 39–60. doi: 10.1016/B978-0-08-102493-5.00003-0.
- [19] A. Rashwan, A. Mikhaylov, T. Senjyu, M. Eslami, A. M. Hemeida, and D. S. M. Osheba, “Modified Droop Control for Microgrid Power-Sharing Stability Improvement,” *Sustainability*, vol. 15, no. 14, p. 11220, Jul. 2023, doi: 10.3390/su151411220.
- [20] A. Alsafran, “Literature Review of Power Sharing Control Strategies in Islanded AC Microgrids with Nonlinear Loads,” in *2018 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT-Europe)*, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina: IEEE, Oct. 2018, pp. 1–6. doi: 10.1109/ISGTEurope.2018.8571800.
- [21] E. Espina, J. Llanos, C. Burgos-Mellado, R. Cardenas-Dobson, M. Martinez-Gomez, and D. Saez, “Distributed Control Strategies for Microgrids: An Overview,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 193412–193448, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3032378.

LAMPIRAN



PT. IN. PERKOR, MALANG
SARAWANG, MALANG

PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

Kampus I : Jl. Bendungan Sigungu No. 2 Telp. (0341) 354431 (Hunting) Fax. (0341) 352115 Malang 65140
Kampus II : Jl. Raya Klaten No. 2 Telp. (0341) 417618 Fax. (0341) 417634 Malang

Nomor Surat : ITN-293/EL-FTI/2023

22 November 2023

Lampiran : -

Perihal : BIMBINGAN SKRIPSI (4 SKS)

Kepada : Yth. Awan Uji Krismanto, ST., MT., Ph.D.
Dosen Teknik Elektro S-1
ITN MALANG

Dengan Hormat,

Sesuai dengan persetujuan dan koordinasi pelaksanaan Skripsi Capstone Design, maka kami mohon kesediaan Bapak/Ibu Dosen sebagai Dosen Pembimbing 1 untuk mahasiswa:

Nama : Lauretti Yovita Lumban Gaol
NIM : 2212904
Fakultas : Teknologi Industri
Program Studi : Teknik Elektro S-1
Peminatan : T. Energi Listrik SI

Maka dengan ini pembimbingan tersebut kami serahkan sepenuhnya kepada Bapak/Ibu selama masa waktu :

"Semester Ganjil Tahun Akademik 2023/2024"

Demikian atas perhatian serta bantuannya kami sampaikan terima kasih



Ketua Program Studi Teknik Elektro S-1
Dr. Nirmala Suryani Faradisa, ST, MT.
NIP. P. 1030000365



PT. STM (PERSERO) MALANG
BANK MGA (MALANG)

PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

Kampus I : Jl. Bendungan Sigung-gung No. 2 Telp: (0341) 551431 (Surabaya) Fax: (0341) 551415 Malang 65145
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km. 2 Telp: (0341) 471816 Fax: (0341) 471834 Malang

Nomor Surat : ITN-293/EL-FTV/2023

22 November 2023

Lampiran : -

Perihal : BIMBINGAN SKRIPSI (4 SKS)

Kepada : Yth. Dr. Izzine Budi Sulistiawati, ST, MT
Dosen Teknik Elektro S-1
ITN MALANG

Dengan Hormat,

Sesuai dengan persetujuan dan koordinasi pelaksanaan Skripsi Capstone Design, maka kami mohon kesediaan Bapak/Ibu Dosen sebagai Dosen Pembimbing 2 untuk mahasiswa mahasiswa:

Nama : Lauretti Yovita Lumban Gaol
NIM : 2212904
Fakultas : Teknologi Industri
Program Studi : Teknik Elektro S-1
Peminatan : T. Energi Listrik SI

Maka dengan ini pembimbingan tersebut kami serahkan sepenuhnya kepada Bapak/Ibu selama masa waktu :

"Semester Ganjil Tahun Akademik 2023/2024"

Demikian atas perhatian serta bantuannya kami sampaikan terima kasih



Kelvin, Program Studi Teknik Elektro S-1

Dr. Imatia Suryani Faradisa, ST, MT.
NIP. 1030000365



PT SN (PERSERO) MALANG
BANK NAGA MALANG

PENYUSUNAN PENGELDIA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

Kampus I : Jl. Bendaung Sengkaya No. 2 Telp. (0341) 651431 (pusing) Fax. (0341) 653215 Malang 65145
Kampus II : Jl. Raya Karang, Kiri 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

LEMBAR PERSETUJUAN PERBAIKAN SKRIPSI

Nama : Lauretti Yovita Lumban Gaol
NIM : 2212904
Program Studi : S-1 Teknik Elektro
Peminatan : Teknik Energi Listrik
Masa Bimbingan : Semester Ganjil 2023/2024
Judul Skripsi : Desain Dan Analisis *Power Sharing* Pada
Alternating Current Microgrid Dengan
Metode Droop Control

Tanggal	Uraian	Paraf
07 Februari 2024	—	

Disetujui Oleh
Dosen Pengaji I

Dr. Ir. Widodo Pudji M, M.T.
NIP.Y. 1028700171

Mengetahui:

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Awan Uji Krismanto, ST, MT, Ph.D.
NIP. 19800301 200501 1 002

Dr. Iryne Budi Sulistiawati, ST, MT.
NIP. 19770615 200501 1 002



PT BUN PERSEKUTUAN MALANG
BANGSA TANGGA MELANG

PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

Kampus I : Jl. Semanggi Sigungura No. 2 Telp. (0341) 551421 (Pusat); Fax. (0341) 553715 Malang 65143
Kampus II : Jl. Raya Karesono, Km 2 Telp. (0341) 417838 Fax. (0341) 417834 Malang

LEMBAR PERSETUJUAN PERBAIKAN SKRIPSI

Nama : Lauretti Yovita Lumban Gaol
NIM : 2212904
Program Studi : S-1 Teknik Elektro
Peminatan : Teknik Energi Listrik
Masa Bimbingan : Semester Ganjil 2023/2024
Judul Skripsi : Desain Dan Analisis *Power Sharing* Pada
Alternating Current Microgrid Dengan
Metode Droop Control

Tanggal	Uraian	Paraf
07 Februari 2024	Kesimpulan mohon diperjelas sesuai dari rumusan masalah	

Disetujui Oleh
Dosen Penguji II

Ir. Ni Putu Agustini, M.T
NIP.Y. 1030100371

Mengetahui:

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Awan Uji Krismanto, ST, MT, Ph.D.
NIP. 19840301 200501 1 002

Dr. Irmawati Budi Sulistiawati, ST, MT.
NIP. 19770615 200501 1 002



PT SN (PERSERO) MALANG
DAIRY NUSA BILANG

PERKUMPULAN PENGENDALIA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

Kampus 1 : Jl. Bendungan Sepuluh Nopember No. 3 Telp. (0341) 521431 (hunting) Fax. (0341) 52215 Malang 65145
Kampus 2 : Jl. Raya Karangrejo, Km 2 Telp. (0341) 417038 Fax. (0341) 417034 Malang

**MONITORING BIMBINGAN SKRIPSI
SEMESTER GENAP
TAHUN AKADEMIK 2023/2024**

Nama : LAURETTI YOVITA LUMBAN GAOL
NIM : 2212904
Nama Pembimbing : Awan Uji Krismanto, ST., MT., Ph.D.
Judul Skripsi : DESAIN DAN ANALISIS *POWER SHARING* PADA
ALTERNATING CURRENT MICROGRID DENGAN METODE
DROOP CONTROL

No	Hari, Tanggal	Waktu Bimbingan	Materi Bimbingan	Paraf
1	19-10-2023	11.00	Penjelasan materi Droop Control	
2	15-11-2023	09.00	Simulasi Matlab	
3	01-12-2023	14.30	Konsultasi mengenai hasil simulasi pada matlab dan konsultasi judul	
4	21-12-2023	16.00	• Perbaikan penulisan pada buku • Memperbaiki Flowchart • Setting ulang simulasi pada simulink	
5	19-01-2024	11.30	• Pengajuan draft buku skripsi dan	
6	02-02-2024	09.00	• Konsultasi perbaikan dan ACC draft buku untuk ujian Komprehensif	



PT. SUKSES MALANG
BANGKALAYA MALANG

PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

Kampus I : J. Bongsong Sragapura No. 1 Telp. (0341) 551431 (Hunting) Fax. (0341) 553070 Malang 65143
Kampus II : J. Ratu Klateng Km. 2 Telp. (0341) 417028 Fax. (0341) 417034 Malang

MONITORING BIMBINGAN SKRIPSI
SEMESTER GENAP
TAHUN AKADEMIK 2023/2024

Nama : LAURETTI YOVITA LUMBAN GAOL.
NIM : 2212904
Nama Pembimbing : Dr. Irine Budi Sulistiawati, S.T., M.T.
Judul Skripsi : DESAIN DAN ANALISIS *POWER SHARING* PADA
ALTERNATING CURRENT MICROGRID DENGAN
METODE *DROOP CONTROL*

No	Hari, Tanggal	Waktu Bimbingan	Materi Bimbingan	Paraf
1	18-12-2023	08.30	Pengajuan draft Inporan	
2	21-12-2023	12.00	- Revisi penulisan Abstrak - Perbaikan bab I	
3	22-12-2023	15.30	Revisi pendahuluan dan Penambahan teori terkait konsep droop	
4	09-01-2024	09.00	- Penambahan Flowchart dan penjelasannya - Penginputan data kapasitas dan droop pada simulink	
5	10-01-2024	11.30	Pengajuan draft buku skripsi dan ACC seminar hasil	
6	01-02-2024	13.00	Konsultasi perbaikan dan ACC draft buku untuk ujian Komprehensif	

Malang, Februari 2024
Dosen Pembimbing II

Dr. Irine Budi Sulistiawati, S.T., M.T.
NIP. 19770615 200501 1 002