

**PENENTUAN KAPASITAS MAKSIMUM PLTS PADA *MICROGRID*  
DENGAN MEMPERTIMBANGKAN *RAMPING RATE* GENERATOR  
KONVENSIONAL**

**(SKRIPSI)**

**Oleh**

**NATASYA ALMIRA**

**1955031006**



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2024**

## ABSTRAK

### **PENENTUAN KAPASITAS MAKSIMUM PLTS PADA *MICROGRID* DENGAN MEMPERTIMBANGKAN *RAMPING RATE* GENERATOR KONVENSIONAL**

Oleh

**Natasya Almira**

**1955031006**

*Microgrid* adalah sumber energi alternatif untuk daerah dengan sumber energi terbarukan yang terbatas. *Microgrid* mengintegrasikan berbagai *Distributed Energy Resource* (DER) salah satunya *photovoltaic* (PV). Sistem PV telah menjadi pilihan yang paling penting karena efisien dan kemampuan untuk menghasilkan energi dari sumber terbarukan. Namun, mengintegrasikan sistem PV ke dalam *microgrid* dapat menimbulkan resiko, terutama ketika menyesuaikan kinerja dan keandalan sistem. Maka dari itu *ramp rate* pada generator adalah faktor penting lainnya yang harus ditangani untuk memastikan operasi *microgrid* yang stabil. Jika kapasitas PV tidak meningkat dapat menyebabkan gangguan daya yang lebih lama selama periode tegangan tinggi, menyebabkan pemanasan berlebih. Studi ini bertujuan untuk menentukan kapasitas maksimum PV di *microgrid* menggunakan simulasi *Load Frequency Control* (LFC). Model simulasi mencakup komponen seperti *PID Controller*, *ramp rate*, area 1 PLTD, area 2 PLTU, dan PV. Dua skenario digunakan dalam simulasi: tanpa menggunakan *ramp rate* dan dengan menggunakan *ramp rate*. Pada hasil simulasi, sistem dapat mencapai respons frekuensi  $50\text{Hz} \pm 5\%$  sesuai dengan batas toleransi dan sistem mampu menjaga frekuensi operasional dalam 48Hz hingga 52Hz. Ada dua perbedaan dalam hasil simulasi antara kedua skenario, LFC tanpa *ramp rate* kapasitas maksimum PV yang dihasilkan adalah 101.5MW sedangkan LFC menggunakan *ramp rate* kapasitas maksimum PV yang dihasilkan adalah 94.25MW. Perbedaan tersebut dikarenakan jika generator tidak memiliki *ramp rate* maka kemampuan generator lambat untuk merespon adanya fluktuasi beban sehingga membutuhkan kapasitas PV yang lebih besar dibandingkan dengan generator yang terdapat *ramp rate*.

Kata kunci: *Microgrid*, PV, *Ramp Rate*, *Load Frequency Control*, Frekuensi

## **ABSTRACT**

### **DETERMINATION MAXIMUM CAPACITY OF PLTS ON MICROGRID WITH INCLUDING CONVENTIONAL RATE RAMPING GENERATORS**

**By**

**Natasya Almira**

**1955031006**

Microgrid is an alternative source of energy for regions with limited renewable energy sources. The microgrid integrates a variety of Distributed Energy Resources (DER), one of which is photovoltaic (PV). PV systems have become the most important choice due to their efficiency and ability to generate energy from renewables. However, integrating PV systems into microgrids can pose risks, especially when adjusting system performance and reliability. Then from that ramp rate on the generator is another important factor that needs to be addressed to ensure stable microgrid operation. If the PV capacity does not increase it can cause longer power disruptions during high voltage periods, causing overheating. The study aims to determine the maximum PV capacity in the microgrid using the Load Frequency Control (LFC) simulation. The simulation model includes components such as PID Controller, ramp rate, area 1 PLTD, area 2 PLTU, and PV. Two scenarios are used in the simulation: without using ramp rate and using the ramp rate. On simulation results, the system can reach a response frequency of  $50\text{Hz} \pm 5\%$  according to the tolerance limit and the system is able to keep operating frequencies within 48Hz to 52Hz. There are two differences in the results of the simulations between the two scenarios, LFC without ramp rate the maximum capacity PV generated is 101.5MW whereas LFC using the maximum PV yielding ramp rate is 94.25MW. The difference is because if the generator does not have ramp rate then the slow generator ability to respond to load fluctuations requires a larger PV capability compared to generators with which ramp rate exists

**Keywords:** Microgrid, PV, Ramp Rate, Load Frequency Control, Frequency

**PENENTUAN KAPASITAS MAKSIMUM PLTS PADA *MICROGRID*  
DENGAN MEMPERTIMBANGKAN *RAMPING RATE* GENERATOR  
KONVENSIONAL**

Oleh  
**NATASYA ALMIRA**  
**1955031006**

**Skripsi**

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar  
SARJANA TEKNIK**

**Pada**  
**Jurusan Teknik Elektro**  
**Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS LAMPUNG**  
**BANDAR LAMPUNG**

**2024**

Judul Skripsi : **PENENTUAN KAPASITAS MAKSIMUM  
PLTS PADA MICROGRID DENGAN  
MEMPERTIMBANGKAN RAMPING RATE  
GENERATOR KONVENSIONAL**

Nama Mahasiswa : **Natasya Almira**

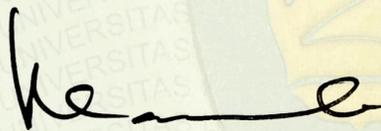
Nomor Pokok Mahasiswa : 1955031006

Jurusan : Teknik Elektro

Fakultas : Teknik

**MENYETUJUI**

**1. Komisi Pembimbing**



**Ir. Khairudin, S.T., M.Sc., Ph.D.Eng.**

NIP. 197007192000121001

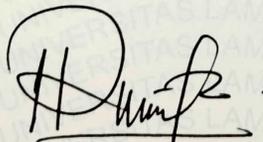


**Dr. Eng. Lukmanul Hakim, S.T.,  
M.Sc.**

NIP. 197209232000121002

**2. Mengetahui**

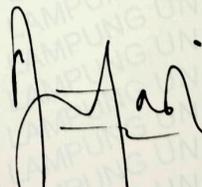
**Ketua Jurusan Teknik Elektro**



**Herlinawati, S.T., M.T.**

NIP. 197103141999032001

**Ketua Program Studi Teknik Elektro**



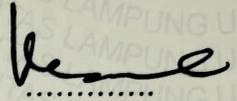
**Sumadi, S.T., M.T.**

NIP. 197311042000031001

**MENGESAHKAN**

1. Tim Penguji

Ketua : **Ir. Khairudin, S.T., M.Sc., Ph.D.Eng.**



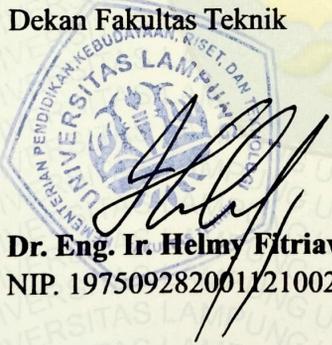
Sekretaris : **Dr. Eng. Lukmanul Hakim, S.T., M.Sc.**



Penguji  
Bukan Pembimbing : **Ir. Herri Gusmedi, S.T., M.T.**



2. Dekan Fakultas Teknik



**Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. }**  
NIP. 197509282001121002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **29 Juli 2024**

## SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain dan sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana yang disebutkan dalam daftar pustaka. Selain itu, saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya tidak benar, maka saya bersedia dikenai sanksi akademik sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 7 Agustus 2024



Natasya Almira  
NPM 1955031006

## RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Banjarmasin pada tanggal 13 November 2000, sebagai anak pertama dari tiga bersaudara, dari pasangan Bapak Ahmad Agus Alhasewi, S.T. dan Ibu Irlianti.

Riwayat Pendidikan penulis dimulai dari TK Al-Kautsar Bandar Lampung pada tahun 2006 hingga 2007. SD Al-Kautsar Bandar Lampung pada tahun 2007 hingga 2013, SMP Al-Kautsar Bandar Lampung pada tahun 2013-2016, dan SMA Al-Kautsar Bandar Lampung pada tahun 2016-2019.

Penulis menjadi mahasiswa Jurusan Teknik Elektro, Universitas Lampung pada tahun 2019 melalui jalur SMMPTN Barat. Selama menjadi mahasiswa penulis berkesempatan menjadi asisten Laboratorium Sistem Tenaga Listrik dari tahun 2021. Selain itu, penulis juga tergabung dalam organisasi intra kampus Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro (Himatro) yang pada tahun 2020 diamanahkan sebagai Wakil Bendahara Departemen Kewirausahaan dan Sosial dan pada tahun 2021 diamanahkan sebagai Bendahara Departemen Kewirausahaan dan Sosial. Pada tahun 2022, penulis melaksanakan Magang di PT. Syntek Otomasi Indonesia, Jakarta yang tergabung dalam Divisi Engineering Procurement and Construction (EPC) selama kurang lebih 6 bulan. Pada tahun 2022, penulis juga melaksanakan Magang serta Kerja Praktik di PT. Haleyora Power Region 7 Lampung selama kurang lebih 6 bulan yang tergabung dalam divisi Keteknikan (Engineering) dan melanjutkan membuat laporan yang berjudul “Deteksi Awal Untuk Penurunan Gangguan Yang Terjadi Pada Jaringan Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) 20kV Dengan Analisa Tier 1 Tier 2”.

*“Saya Persembahkan dan saya dedikasikan  
Skripsi ini untuk Kedua Orangtua saya,  
Ayahanda Ahmad Agus Alhasewi, S.T., dan  
Ibunda Irlianti yang memberikan semua hal  
terbaik demi anaknya untuk mencapai  
kesuksesan”*

*Serta*

**Keluarga Besar, Dosen, Teman dan Almamater**

## MOTTO

**“Jika kamu tidak sanggup menahan lelahnya belajar, maka kamu harus menahan perihnya kebodohan.”**

(Imam Syafi'i)

**“Ilmu tanpa agama adalah buta, agama tanpa ilmu adalah lumpuh.”**

(Albert Einstein)

## SANWACANA

Segala puji bagi Allah SWT, atas limpahan rahmat, nikmat, dan karunia-Nya yang diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Shalawat serta salam senantiasa tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW, suri tauladan bagi seluruh umat islam. Tugas Akhir dengan judul “Penentuan Kapasitas Maksimum PLTS pada *Microgrid* dengan Mempertimbangkan *Ramping Rate* Generator Konvensional” sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.

Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A. IPM., ASEAN.Eng., selaku Rektor Universitas Lampung
2. Bapak Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung
3. Ibu Herlinawati, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung
4. Bapak Sumadi, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Universitas Lampung
5. Bapak Ir. Khairudin, S.T., M.Sc., Ph.D.Eng., selaku dosen pembimbing utama yang telah memberikan motivasi dan pandangan hidup, mengarahkan, serta membimbing dengan tulus dan penuh kesabaran

6. Bapak Dr. Eng. Lukmanul Hakim, S.T., M.Sc., selaku dosen pembimbing kedua yang telah memberikan bimbingan, arahan, nasihat dan motivasi dan pandangan hidup dengan tulus dan penuh kesabaran
7. Bapak Ir, Herri Gusmedi, S.T., M.T., selaku dosen penguji yang telah memberikan kritik, masukan, saran, dan motivasi kehidupan
8. Ibu Dr. Ing. Melvi, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing akademik (PA) yang telah memberikan nasihat, arahan, bimbingan dengan baik dan tulus kepada penulis selama perkuliahan
9. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung yang telah memberikan pengajaran dan pandangan hidup selama perkuliahan
10. Staff administrasi Jurusan Teknik Elektro dan Fakultas Teknik Universitas Lampung yang telah membantu penulis dalam hal administrasi
11. Papa dan Mama yang juga selalu memberikan semangat, motivasi dan doa kepada penulis
12. Segenap Keluarga Besar Laboratorium Sistem Tenaga Listrik; Pak Rachman atas kerjasamanya selama menjadi asisten laboratorium; Aqila, Adhi, Mirza, Adrian, Khairan, Dwi, Muchlas, Adam, Alhadi, Fatur sebagai asisten laboratorium semoga segera menyusul dan sukses kedepannya, dan tidak lupa adik-adik 2020, Aymanul, Ipna, Arnes, Syawaluddin, Rizky, Hafizh Jumhur
13. Keluarga Besar ETERNITY 2019, yang telah memberikan banyak motivasi, nilai-nilai sosial, dan bantuan selama perkuliahan
14. Keluarga Besar Himatro Unila, yang telah menjadi wadah dalam mengembangkan nilai-nilai organisasi bagi penulis

15. Sahabat dari zaman sekolah sampai sekarang, Julia, Ayin, Caca, Pebi, Nada, Paan, terimakasih selalu menjadi *support system* dan telah banyak memberikan dorongan, bantuan, dan doa
16. Teman-teman KKN “Wowo’s Tongkrongan”, terimakasih selalu menjadi *support system* dan telah banyak memberikan dorongan, bantuan, dan doa
17. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan skripsi ini yang akan datang. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Bandar Lampung, 7 Agustus 2024



**Natasya Almira**

## DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK.....	ii
SANWACANA.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
DAFTAR TABEL.....	xvii
<b>I. PENDAHULUAN.....</b>	<b>18</b>
1.1 Latar Belakang .....	18
1.2 Tujuan Penelitian .....	19
1.3 Rumusan Masalah .....	19
1.4 Batasan Masalah.....	20
1.5 Manfaat Penelitian .....	20
1.6 Hipotesis.....	20
1.7 Sistematika Penulisan .....	21
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>22</b>
2.1 Penelitian Terdahulu .....	22
2.2 Microgrid .....	24
2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).....	25
2.3.1 PLTS On-Grid.....	26
2.3.2 PLTS Off-Grid.....	26
2.3.3 PLTS Hybrid.....	27
2.4 Generator Diesel.....	28
2.5 Ramp Rate.....	29
2.6 Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU).....	30
<b>III. METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>31</b>
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian .....	31
3.2 Alat dan Bahan.....	31
3.3 Metode Penelitian.....	32

3.4	Pemodelan dan Simulasi .....	33
3.5	Diagram Alir Penelitian .....	35
<b>IV.</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>36</b>
4.1	Pemodelan Blok Diagram <i>Load Frequency Control</i> (LFC) .....	36
4.2	Pemodelan Simulasi .....	37
4.2.1	Pemodelan Blok Diagram <i>Load Frequency Control</i> (LFC) tanpa menggunakan <i>Ramp Rate</i> .....	38
4.2.2	Pemodelan Blok Diagram <i>Load Frequency Control</i> (LFC) dengan menggunakan <i>Ramp Rate</i> .....	39
4.3	Hasil Simulasi .....	40
4.3.1	Hasil Pengujian Sistem <i>Load Frequency Control</i> (LFC) tanpa menggunakan <i>Ramp Rate</i> .....	41
4.3.2	Hasil Pengujian Sistem <i>Load Frequency Control</i> (LFC) dengan menggunakan <i>Ramp Rate</i> .....	48
<b>V.</b>	<b>PENUTUP .....</b>	<b>55</b>
5.1	Kesimpulan .....	55
5.2	Saran.....	56
	<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>57</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Microgrid.....	25
Gambar 2. 2 Skema PLTS On-Grid .....	26
Gambar 2. 3 Skema PLTS Off-Grid .....	27
Gambar 2. 4 Skema PLTS Hybrid .....	28
Gambar 3. 1 Blok diagram load frequency control multi area power system.....	33
Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian .....	35
Gambar 4. 1 Blok Diagram Load Frequency Control (LFC).....	36
Gambar 4. 2 Simulasi load frequency control tanpa menggunakan ramp rate .....	38
Gambar 4. 3 Simulasi Load Frequency Control menggunakan Ramp Rate .....	39
Gambar 4. 4 Hasil simulasi tanpa menggunakan ramp rate nilai PV 0.1p.u.....	41
Gambar 4. 5 Hasil simulasi tanpa menggunakan ramp rate nilai PV 0.2p.u.....	42
Gambar 4. 6 Hasil simulasi tanpa menggunakan ramp rate nilai PV 0.3p.u.....	43
Gambar 4. 7 Hasil simulasi tanpa menggunakan ramp rate nilai PV 0.4p.u.....	44
Gambar 4. 8 Hasil simulasi tanpa menggunakan ramp rate nilai PV 0.5p.u.....	45
Gambar 4. 9 Hasil simulasi tanpa menggunakan ramp rate nilai PV 0.6p.u.....	46
Gambar 4. 10 Hasil simulasi tanpa menggunakan ramp rate nilai PV 0.7p.u.....	47
Gambar 4. 11 Hasil simulasi menggunakan ramp rate dengan nilai PV 0.1p.u....	48
Gambar 4. 12 Hasil simulasi menggunakan ramp rate dengan nilai PV 0.2p.u....	49
Gambar 4. 13 Hasil simulasi menggunakan ramp rate dengan nilai PV 0.3p.u....	50
Gambar 4. 14 Hasil simulasi menggunakan ramp rate dengan nilai PV 0.4p.u....	51
Gambar 4. 15 Hasil simulasi menggunakan ramp rate dengan nilai PV 0.5p.u....	52
Gambar 4. 16 Hasil simulasi menggunakan ramp rate dengan nilai PV 0.6p.u....	53
Gambar 4. 17 Hasil simulasi menggunakan ramp rate dengan nilai PV 0.65p.u..	54

## **DAFTAR TABEL**

Tabel 3. 1 Jadwal Penelitian.....	31
Tabel 4. 1 Parameter Variabel Nilai Input Multi Area Power System.....	37
Tabel 4. 2 Nilai PID Controller.....	38
Tabel 4. 3 Nilai PID Controller.....	39
Tabel 4. 4 Nilai Ramp Rate.....	40

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Dengan meningkatnya permintaan akan energi terbarukan dan kebutuhan pasokan listrik yang andal dan efisien, *microgrid* menjanjikan alternatif solusi untuk daerah terpencil atau di luar jaringan listrik utama. *Microgrid* mengintegrasikan berbagai jenis *Distributed Energy Resources* (DER) seperti sistem *photovoltaic* (PV), turbin angin, dan sistem penyimpanan energi untuk membentuk sistem daya mandiri. Di antara DER ini, sistem PV telah menjadi salah satu opsi yang paling menjanjikan karena kesederhanaannya, persyaratan pemeliharaan yang rendah, dan kemampuan untuk menghasilkan daya dari sumber terbarukan.

Akan tetapi, mengintegrasikan sistem PV dalam *microgrid* dapat menimbulkan tantangan tersendiri, terutama ketika mempertimbangkan kualitas daya dan keandalan *microgrid*. Lebih jauh lagi, *ramping rate* generator merupakan faktor penting yang harus diperhitungkan untuk memastikan pengoperasian *microgrid* yang stabil. Jika kapasitas PV tidak mencukupi, dapat mengakibatkan pembangkitan listrik berlebih selama periode iradiasi tinggi, yang dapat melebihi *ramping-down* generator dan menyebabkan *over* pembangkitan sehingga dapat menyebabkan ketidakstabilan sistem. Sebaliknya, bila iradiasi turun dengan drastis

sistem akan memaksa generator lain untuk mengakselerasi pembangkitan melebihi kemampuan generator.

Untuk mengatasi masalah ini, penelitian ini mengusulkan sebuah metode untuk menentukan kapasitas maksimum pada PV dalam *microgrid* dengan mempertimbangkan *ramp rate* masing-masing generator. Efektivitas metode yang diusulkan ditunjukkan melalui simulasi pada sistem *microgrid*, dan hasil yang diharapkan dapat menunjukkan bahwa metode yang diusulkan dapat meningkatkan stabilitas dan efisiensi sistem *microgrid* secara signifikan.

Secara keseluruhan, studi ini berkontribusi untuk menentukan berapa kapasitas maksimum pada PV yang dibutuhkan dengan pertimbangan *ramp rate* masing-masing generator. Studi ini diharapkan dapat membantu laju serapan teknologi pemanfaatan energi terbarukan serta memberikan solusi suplai energi listrik yang andal dan efisien untuk area terpencil atau di luar jangkauan jaringan listrik utama.

## **1.2 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan kapasitas maksimum PV yang dibutuhkan dengan pertimbangan *ramp rate* dan total daya pembangkit pada pembangkit listrik tenaga diesel (PLTD) dan pembangkit listrik tenaga uap (PLTU).

## **1.3 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang di atas, maka permasalahannya dapat dirumuskan, yaitu: Bagaimana cara untuk menentukan kapasitas maksimum *photovoltaic* (PV)

dalam *microgrid* dengan mempertimbangkan *ramping rate* masing-masing generator.

#### **1.4 Batasan Masalah**

Adapun batasan masalah yang diterapkan oleh penulis dalam melaksanakan penelitian ini, yaitu menentukan kapasitas maksimum *photovoltaic* (PV) dalam system *microgrid* dengan mempertimbangkan *ramp rate* pada diesel generator (PLTD) dan pembangkit listrik tenaga uap (PLTU).

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah dapat membantu laju serapan teknologi pemanfaatan energi terbarukan serta memberikan solusi suplai energi listrik yang andal dan efisien untuk area terpencil atau di luar jangkauan jaringan listrik utama.

#### **1.6 Hipotesis**

Penentuan kapasitas maksimal *photovoltaic* (PV) pada *microgrid* dengan mempertimbangkan *ramping rate* pada generator konvensional dengan menggunakan simulasi *load frequency control* (LFC) akan menghasilkan respons frekuensi yang signifikan ketika terjadi perubahan/lonjakan beban sehingga dapat menentukan berapa besaran kapasitas yang akan diperlukan oleh PV dengan pertimbangan *ramp rate* masing-masing generator.

## **1.7 Sistematika Penulisan**

Adapun sistematika penulisan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

### **BAB I. PENDAHULUAN**

Pada bab ini berisikan latar belakang, tujuan penelitian, rumusan masalah, batasan masalah, manfaat penelitian, hipotesis, dan sistematika penulisan.

### **BAB II. TINJAUAN PUSTAKA**

Pada bab ini berisikan tentang teori-teori pendukung materi tugas akhir yang dikutip dari berbagai sumber ilmiah, seperti jurnal, buku, dll yang digunakan sebagai panduan dalam penulisan tugas akhir ini.

### **BAB III. METODE PENELITIAN**

Pada bab ini berisikan tentang waktu dan tempat penelitian tugas akhir, alat dan bahan yang akan digunakan, metode yang digunakan, dan pelaksanaan serta pengamatan dalam pengerjaan tugas akhir.

### **BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pada bab ini berisikan tentang hasil dan pembahasan data dari hasil simulasi dan memaparkan data yang didapat dari tugas akhir ini.

### **BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini berisikan tentang kesimpulan yang diperoleh dari seluruh pembahasan pada laporan tugas akhir dan saran yang berhubungan dengan pokok-pokok pembahasan pada tugas akhir ini.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Penelitian Terdahulu

Integrasi sumber daya energi terbarukan dalam microgrid telah menjadi bidang penelitian aktif dalam beberapa tahun terakhir. Di antara sumber daya energi terbarukan ini, sistem photovoltaic (PV) mendapat perhatian yang signifikan karena kesederhanaannya, persyaratan perawatan yang rendah, dan potensi untuk menyediakan sumber energi yang andal dan berkelanjutan untuk jaringan mikro.

Abba Lawan Bukar *et al.*[1], dalam penelitian "*Optimal sizing of an autonomous photovoltaic/wind/battery/diesel generator microgrid using grasshopper optimization algorithm*", pada studi ini membahas penerapan *grasshopper algorithm* untuk menentukan ukuran optimal dari sistem energi terbarukan hibrida yang terintegrasi ke dalam microgrid *autonomous*. Studi ini bertujuan untuk memaksimalkan produksi energi sistem sambil meminimalkan biaya dan memastikan keandalan. Jurnal ini memberikan wawasan tentang optimalisasi komponen photovoltaic (PV), angin, baterai, dan generator diesel di microgrid. Pada penelitian lain yang berjudul "*Application of Different Optimization Algorithms for Optimal Sizing of PV/Wind/Diesel/Battery Storage Stand Alone Hybrid Microgrid*", oleh Ahmed A. Zaki Diab *et al.*[2], jurnal ini mengusulkan

model simulasi yang menggambarkan pengoperasian sistem *microgrid* hibrida PV/angin/diesel dengan penyimpanan bank baterai. Ini mengusulkan ukuran optimal komponen sistem untuk meminimalkan biaya energi yang dipasok oleh sistem sambil meningkatkan keandalan dan efisiensinya. Studi ini menerapkan algoritma optimasi baru seperti *Whale Optimization Algorithm* (WOA), *Water Cycle Algorithm* (WCA), *Moth-Flame Optimizer* (MFO), dan *Hybrid particle swarm-gravitational search algorithm* (PSOGSA) untuk merancang *microgrid* yang dioptimalkan. Penelitian ini juga mencakup perbandingan komprehensif antara teknik optimasi yang diusulkan. Ukuran optimal komponen sistem telah dilakukan dengan menggunakan data meteorologi real-time desa Abu-Monqar yang terletak di Gurun Barat Mesir.

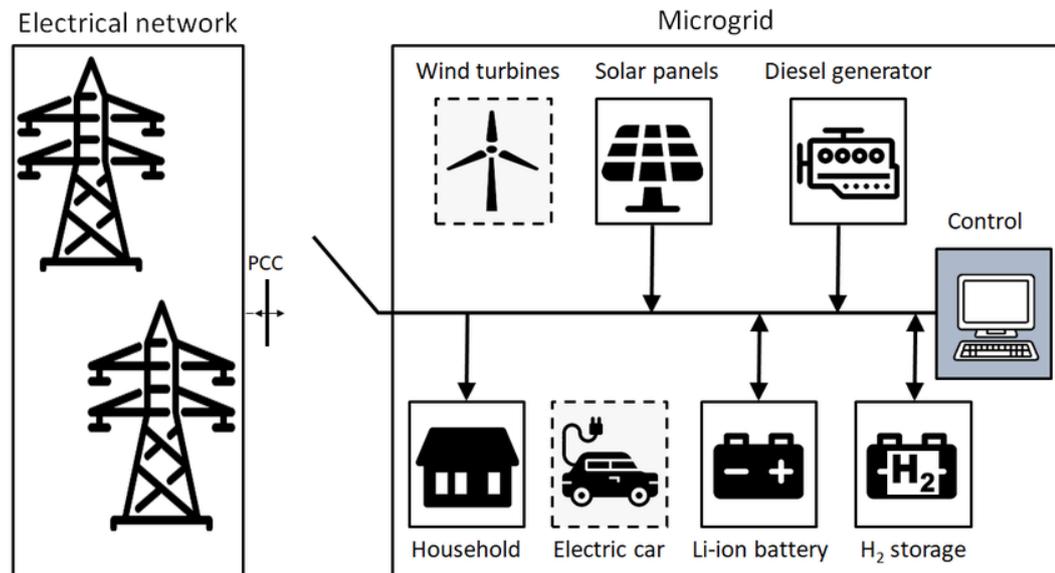
Namun, beberapa penelitian telah mempertimbangkan ramping generator saat menentukan ukuran optimal sistem PV di *microgrid*. Ramping generator merupakan faktor penting yang harus dipertimbangkan untuk memastikan operasi *microgrid* yang stabil, terutama ketika *microgrid* terdiri dari beberapa DER. Pada penelitian, "*Optimal sizing of a wind/solar/battery hybrid grid-connected microgrid system*", oleh Umer Akram *et al.*[3], studi ini mengusulkan metode ukuran optimal untuk sistem angin-surya-baterai hibrida dalam *microgrid*, yang mempertimbangkan tingkat ramping generator. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan ukuran turbin angin, panel surya, dan sistem penyimpanan baterai dalam *microgrid* yang terhubung ke jaringan. Metode yang diusulkan memperhitungkan tingkat ramping generator, yang merupakan tingkat di mana generator dapat mengubah daya keluarannya. Dengan mempertimbangkan tingkat

ramping generator, ukuran optimal sistem hibrida dapat ditentukan untuk memastikan operasi yang andal dan efisien.

## 2.2 Microgrid

*Microgrid* adalah jaringan listrik lokal dengan batas-batas listrik yang ditentukan, bertindak sebagai entitas tunggal dan dapat dikontrol. *Microgrid* dapat beroperasi dalam jaringan yang terhubung dan dalam mode pulau (*island mode*).[4] *Microgrid* yang berdiri sendiri atau *microgrid* terisolasi hanya beroperasi di luar jaringan dan tidak dapat dihubungkan ke sistem tenaga listrik yang lebih luas *Microgrid*, jaringan produksi dan distribusi energi lokal yang dapat berfungsi secara independen ketika terputus dari jaringan listrik utama jika terjadi krisis seperti pemadaman listrik atau badai, atau hanya untuk menambah puncak permintaan dari pengguna *microgrid* dan dengan demikian menghindari biaya energi yang lebih tinggi.[5] *Microgrid* memiliki kemampuan mengendalikan sendiri, yang berarti dapat memutuskan sambungan dari jaringan dan beroperasi secara mandiri jika terjadi krisis atau untuk menghindari biaya energi yang lebih tinggi. *Microgrid* dapat terhubung dan terputus dari jaringan secara dinamis karena memiliki titik

kopling umum dengan jaringan listrik yang lebih besar, tetapi dapat secara otomatis mengisolasi dan memelihara cadu daya ke beban local.



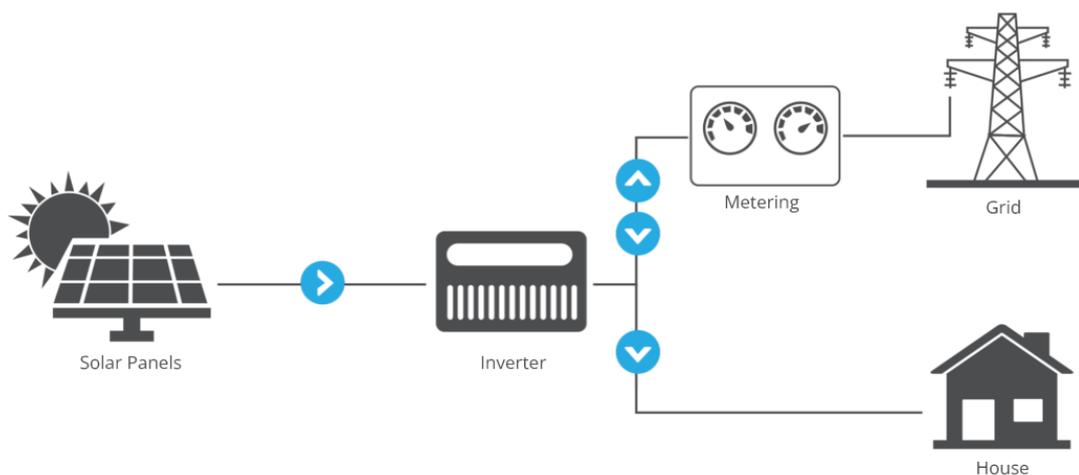
Gambar 2. 1 *Microgrid*  
(Sumber : Cheateau.com)

### 2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

PLTS adalah suatu system untuk menyerap dan mengubah radiasi matahari menjadi energi listrik. Pada PLTS terdapat beberapa komponen utama, yaitu Panel Surya atau *Photovoltaic (PV)*, *Solar Charge Controller*, Inverter, Baterai, Panel Listrik. Terdapat beberapa jenis PLTS, yaitu PLTS On-Grid, PLTS Off-Grid, dan PLTS Hybrid.

### 2.3.1 PLTS On-Grid

PLTS On-Grid (terinterkoneksi) adalah sistem PLTS yang terinterkoneksi ke utilitas atau jaringan yang sudah ada di wilayah tersebut. Pada umumnya sistem PLTS ini terhubung ke jaringan dan tidak dibangun menggunakan baterai sebagai komponen penyimpanan cadangan energi. Dalam sistem terhubung ke jaringan, aspek teknis dalam sinkronisasi PLTS ke sistem eksisting menjadi salah satu faktor penting yang perlu diperhatikan. Hal itu disebabkan karena suplai daya listrik dari sistem PLTS sangat dipengaruhi oleh energi matahari yang bergantung pada kondisi alam seperti cuaca, musim, awan, dsb. Adanya fluktuasi input radiasi matahari yang sampai ke modul PV akan berpengaruh terhadap daya keluaran dari sistem PLTS sehingga dapat memengaruhi kestabilan sistem seperti tegangan dan frekuensi.[6]



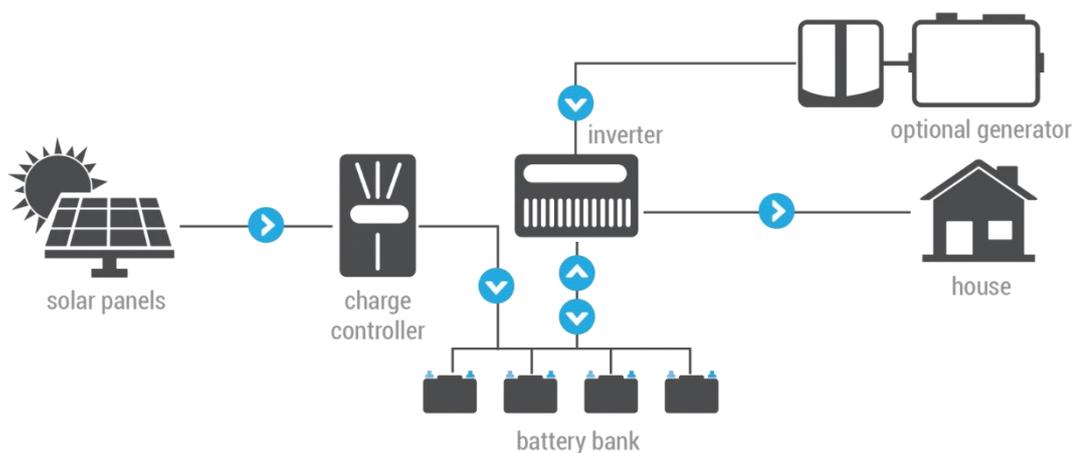
Gambar 2. 2 Skema PLTS On-Grid  
(Sumber : renergynusantara.com)

### 2.3.2 PLTS Off-Grid

PLTS Off-Grid atau yang disebut *standalone PV* adalah sistem PLTS yang memproduksi energi listrik secara mandiri serta direncanakan dan dibangun untuk

tidak dihubungkan ke utilitas atau jaringan listrik yang ada. Pada umumnya sistem ini digunakan bila dalam suatu kawasan tidak terdapat jaringan listrik atau jauh dari pusat pembangkit listrik. Sistem PLTS off-grid ini merupakan salah satu alternative penyediaan tenaga listrik khususnya untuk daerah-daerah dengan kategori 3T (Terdepan, Terluar, Tertinggal).

Dengan konfigurasi *standalone* maka sistem ini akan menanggung beban listrik sehingga komponen sistem mulai dari modul PV, inverter, dan baterai atau *back-up generator* digunakan semaksimal mungkin untuk memenuhi kebutuhan beban puncak.[6]

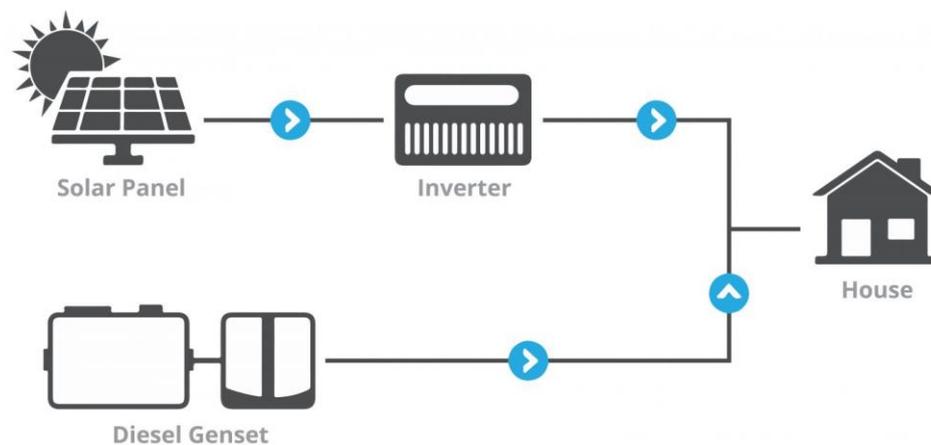


Gambar 2. 3 Skema PLTS Off-Grid  
(Sumber: renergynusantara.com)

### 2.3.3 PLTS Hybrid

PLTS Hybrid adalah sistem yang terhubung ke jaringan yang sudah ada yang kemudian dioperasikan bersamaan dengan pembangkit lainnya seperti PLTD, PLTMH, PLTB, dan berbagai jenis pembangkit lainnya. Operasi sistem harus menggunakan pengaturan dan pembagian waktu operasi dari masing-masing pembangkit secara optimal. Dengan adanya aturan operasi maka pada sistem PLTS hybrid umumnya dilengkapi dengan baterai. Terdapat dua istilah yang sering

digunakan pada konfigurasi hybrid yaitu *smartgrid* dan *microgrid*. Untuk sistem yang sudah memiliki jaringan interkoneksi yang besar serta dilengkapi dengan sistem cerdas disebut sebagai *smartgrid*. Untuk sistem yang terintegrasi pada wilayah kecil dengan sumber-sumber pembangkit terdistribusi biasanya disebut *microgrid*. [6]



Gambar 2. 4 Skema PLTS Hybrid  
(Sumber: renergynusantara.com)

## 2.4 Generator Diesel

Secara umum generator adalah sebuah mesin yang dapat mengubah energi gerak (mekanik) menjadi energi listrik (elektrik). Biasanya generator disebut juga “genset” yang berarti *generator set*. *Generator set* merupakan satu set peralatan gabungan dari dua perangkat berbeda yaitu engine dan generator atau alternator engine sebagai perangkat pemutar, sedangkan generator atau alternator sebagai perangkat pembangkit listrik. Generator sendiri sumbernya bermacam macam. Pada generator listrik memproduksi energi listrik dari sumber energi mekanik, Biasanya menggunakan induksi elektromagnetik. Proses ini dikenal sebagai

pembangkit listrik. Pada pembangkit listrik gerak dari generator didapatkan dari proses pembakaran bahan bakar. Jika disimpulkan dari beberapa di atas diesel generator berarti sebuah mesin diesel yang berfungsi untuk menggerakkan generator/alternator sebagai pembangkit listrik dengan menggunakan bahan bakar diesel atau yang biasa disebut solar.

## 2.5 Ramp Rate

*Ramp rate* dapat diartikan sebagai kemampuan suatu pembangkit untuk menanggung fluktuasi beban secara cepat. Nilai *ramp rate* pada umumnya diukur berdasarkan persentase kapasitas pembangkit dalam kurun waktu tertentu (biasanya dalam menit). Dalam perencanaan sistem, nilai akumulasi *ramp rate* harus disesuaikan dengan karakteristik beban ataupun kombinasi pembangkit dalam sistem tersebut. Jika tidak direncanakan dengan baik maka pembangkit yang dibangun dalam jangka waktu yang lama tidak mampu mengikuti fluktuasi beban.

Secara umum, pembangkit dengan turbin uap berbahan bakar batu bara mempunyai nilai *ramp rate* yang rendah. Hal tersebut disebabkan usaha membangkitkan daya gerak untuk memutar generator membutuhkan proses yang panjang mulai dari proses pembakaran batu bara, memanaskan air, *steam generating*, hingga dialirkan untuk memutar turbin. Panjangnya proses pembangkitan tersebut menyebabkan *response time* pembangkit batu bara menjadi lama dan hanya menghasilkan *ramp rate* yang kecil. Berbeda hal-nya dengan pembangkit seperti PLTD dikarenakan proses pembakaran bahan bakarnya begitu cepat maka proses pembangkitan tenaga listrik dapat dengan cepat juga dihasilkan.[6]

## 2.6 Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)

Pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) merupakan pembangkit yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik menggunakan bahan bakar batu bara dan air yang diproses menjadi uap panas sehingga menghasilkan energi listrik. Yang dimana pengoperasiannya digerakan oleh penggerak turbin uap yang memanfaatkan uap panas (*steam*) dari hasil pemanasan air di dalam *boiler*. Aliran uap panas tersebut digunakan untuk menggerakkan sudu-sudu turbin sehingga menghasilkan energi mekanis, dimana energi mekanis tersebut digunakan untuk menggerakkan generator yang terhubung langsung dengan turbin sehingga menghasilkan energi listrik.[7]

Suatu pembangkit tenaga uap terdiri atas beberapa komponen utama yaitu *boiler*, turbin uap, kondensor, dan pompa. Generator yang dihubungkan ke turbin dimana untuk memutar turbin diperlukan energi kinetik dari uap panas. Konversi energi tingkat pertama yang berlangsung dalam PLTU adalah konversi energi primer menjadi energi panas (kalor). Hal ini dilakukan dalam ruang bakar dari ketel uap PLTU. Energi panas ini kemudian dipindahkan ke dalam air yang ada dalam pipa ketel untuk menghasilkan uap yang dikumpulkan dalam drum dari ketel. Uap dari drum ketel dialirkan ke turbin uap. Dalam turbin uap, energi uap dikonversikan menjadi energi mekanis penggerak generator, dan akhirnya energi mekanik dari turbin uap ini dikonversikan menjadi energi listrik oleh generator.[7]

### III. METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian tugas akhir ini dimulai sejak bulan Februari 2023, bertempat di Perpustakaan Universitas Lampung dan Laboratorium Sistem Tenaga Listrik Universitas Lampung.

Tabel 3. 1 Jadwal Penelitian

No	Kegiatan	Waktu									
		Februari	Maret	April	Mei	September	Januari	Februari	Maret	Mei	Juli
1	Studi Literatur dan Bimbingan										
2	Pembuatan Proposal										
3	Seminar Proposal										
4	Pengolahan Data dan Pembuatan Simulasi										
5	Evaluasi Hasil Simulasi										
6	Penyusunan Laporan										
7	Seminar Hasil										
8	Ujian Komprehensif										

#### 3.2 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Satu unit laptop Asus Vivobook dengan spesifikasi *Processor Intel(R) Core i7*
2. Perangkat lunak Matlab Simulink

### 3.3 Metode Penelitian

Penelitian tugas akhir ini dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

#### 1. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan mengumpulkan, mempelajari, dan mengkaji literatur yang berkaitan dengan penelitian tugas akhir, yaitu mengenai penentuan kapasitas maksimum *photovoltaic* (PV) pada *microgrid* dengan pertimbangan *ramping rate* pada masing-masing generator.

#### 2. Studi Bimbingan

Pada tahap studi bimbingan, penulis melakukan diskusi tanya jawab dengan dosen pembimbing guna menambah ilmu dan wawasan dan mengenai permasalahan-permasalahan yang dihadapi selama proses pengerjaan penelitian.

#### 3. Metodologi

Pada penelitian ini metodologi yang diusulkan menggabungkan pemodelan *microgrid*, pemodelan laju rambat generator, fungsi tujuan, kendala dan simulasi untuk menentukan kapasitas maksimum pada PV dalam *microgrid* dengan mempertimbangkan *ramp rate* generator.

#### 4. Penulisan Laporan

Perancangan penelitian ini dituangkan kedalam sebuah laporan proposal penelitian. Lalu, hasil penelitian ini dituangkan kedalam sebuah laporan akhir penelitian/skripsi. Laporan ini merupakan dokumentasi pengerjaan penelitian tugas akhir dan dapat dipertanggung jawabkan sebagaimana mestinya.



b. Pemodelan *ramp rate* generator

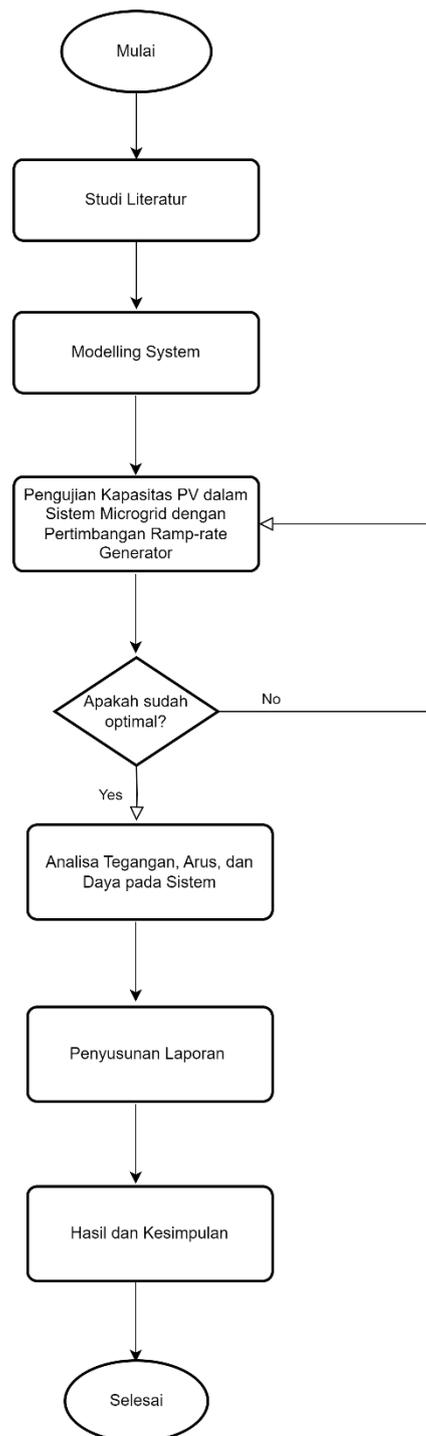
*Ramp Rate* generator dimodelkan menggunakan persamaan *rate of change of power* (ROCOP). Persamaan ROCOP menghitung laju perubahan keluaran daya generator terhadap waktu yang merupakan faktor penting yang harus dipertimbangkan untuk memastikan pengoperasian jaringan yang stabil.

c. Pengujian dan hasil simulasi

Metode yang diusulkan dievaluasi melalui simulasi *load frequency control* (LFC) yang dilakukan pada Matlab/*Simulink*. Hasil simulasi dianalisis untuk menentukan kapasitas maksimum pada PV yang memastikan pengoperasian microgrid yang stabil.

### 3.5 Diagram Alir Penelitian

Penyelesaian penelitian ini terdapat beberapa tahapan, untuk mempermudah dalam melaksanakannya diperlukan diagram alir penelitian yang ditunjukkan pada gambar berikut :



Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian

## V. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Penentuan kapasitas maksimum PV dengan mempertimbangkan *ramp rate* pada generator konvensional menggunakan simulasi *Load Frequency Control* (LFC) dengan menggunakan dua skenario simulasi yaitu tanpa menggunakan *ramp rate* dan dengan menggunakan *ramp rate*. Pada dua skenario ini, sistem mampu menghasilkan respon frekuensi yang sesuai dengan batas toleransi pada Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral, yaitu  $50\pm 5\%$ . Yang dimana sistem mampu menjaga frekuensi operasionalnya dalam kisaran 48Hz hingga 52Hz.

Namun, terdapat dua perbedaan dalam hasil simulasi antara kedua skenario tersebut. Pada simulasi LFC tanpa menggunakan *ramp rate* gelombang respons frekuensi yang dihasilkan tidak stabil (terdapat riak) dikarenakan kemampuan pembangkit lambat untuk merespon jika terjadi perubahan/lonjakan beban dan kapasitas maksimum PV yang dihasilkan yaitu 101.5MW sedangkan pada simulasi LFC menggunakan *ramp rate* gelombang respons frekuensi yang dihasilkan stabil (tidak terdapat riak) dikarenakan kemampuan pembangkit cepat untuk merespon jika terjadi perubahan/lonjakan beban dan kapasitas maksimum PV yang dihasilkan yaitu 94.25MW.

## 5.2 Saran

Karena adanya dampak intermittent dari PV, maka sebaiknya untuk mengurangi dampak intermittent dari PV agar penggunaannya lebih optimal maka untuk penelitian selanjutnya diharapkan untuk menggunakan sistem penyimpanan baterai dan menggunakan metode yang lebih mendetail supaya dapat memprediksi berbagai macam faktor seperti perubahan cuaca, radiasi matahari yang diterima oleh PV, perubahan beban, dll.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. L. Bukar, C. W. Tan, and K. Y. Lau, "Optimal sizing of an autonomous photovoltaic/wind/battery/diesel generator microgrid using grasshopper optimization algorithm," *Sol. Energy*, vol. 188, pp. 685–696, Aug. 2019, doi: 10.1016/j.solener.2019.06.050.
- [2] A. A. Zaki Diab, H. M. Sultan, I. S. Mohamed, N. Kuznetsov Oleg, and T. D. Do, "Application of different optimization algorithms for optimal sizing of pv/wind/diesel/battery storage stand-alone hybrid microgrid," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 119223–119245, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2936656.
- [3] U. Akram, M. Khalid, and S. Shafiq, "Optimal sizing of a wind/solar/battery hybrid grid-connected microgrid system," *IET Renew. Power Gener.*, vol. 12, no. 1, pp. 72–80, Jan. 2018, doi: 10.1049/iet-rpg.2017.0010.
- [4] E. T. Rahardjo, Annual IEEE Computer Conference, International Conference on QiR (Quality in Research) 13 2013.06.25-28 Yogyakarta, and QiR 13 2013.06.25-28 Yogyakarta, *2013 International Conference on QiR (Quality in Research) 25-28 June 2013, Yogyakarta, Indonesia*.
- [5] N. Indriani and I. Garniwa, "Optimasi Battery Energy Storage System Dalam Mengatasi Renewable Energy Intermittency dan Load Leveling," *J. Tek.*

*Elektro dan Komputasi*, vol. 4, no. 1, pp. 11–20, Mar. 2022, doi:  
10.32528/elkom.v4i1.7216.

- [6] C. Febri Nugraha and L. Subekti, “Optimisasi Penjadwalan Pembangkit pada Microgrid dengan Mempertimbangkan Respons Beban,” *JuLIET*), vol. 3, no. 1, 2022.
- [7] O. W. Irawan, L. S. Pratama, C. Insani, and A. L. Belakang, “Analisis Termodinamika Siklus Pembangkit Listrik Tenaga Uap Kapasitas 1500 kW,” vol. 5, no. 3, pp. 109–118, 2021.
- [8] *[Hadi\_Saadat]\_Power\_System\_Analysis(BookZa.org).pdf*.