

***LOAD FREQUENCY CONTROL (LFC) PADA MIKROGRID MENGGUNAKAN  
BULK STORAGE BATTERY***

**(SKRIPSI)**

**OLEH:**

**UBAIDAH**



**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS LAMPUNG**

**2017**

## **ABSTRACT**

### **LOAD FREQUENCY CONTROL (LFC) IN MIKROGRID USING BULK STORAGE BATTERY**

**By**

**UBAIDAH**

In electric power systems, the power generation should be balance to the power demand, otherwise the system frequency will deviate from the normal value. The frequency itself is one of the parameters that determines the quality of the supply of power system. In microgrid system, the system frequency is prone to altere due to small damping factor condition. The utilizing of Bulk Storage Battery is proposed to deal with this frequency deviation problem as a part of load frequency control. In this simulation, MATLAB SIMULINK R2014a was used and the simulated microgrid consists of several smaller wind turbines generators, diesel generator, and photovoltaic are elaborated.

In the simulation, same cases are introduced. The first cases is a network with the load disconnected from the system when it without and with battery, second cases is with the network connected to microgrid and the last is network connected to the microgrid, but the photovoltaic is disconnected from the system.

Based on the simulation results, it showed that the microgrid frequency with battery was more stable than without battery after changing load and release of the generators. Network frequency without microgrid was better than network frequency with microgrid when there is a change of amount of the load and generators release compared to the grid connected network. Therefore, renewable power generations in microgrid also contributes to the frequency instability in system.

**Keywords:** Frequency, microgrid, bulk storage battery, load frequency control

## ABSTRAK

### LOAD FREQUENCY CONTROL (LFC) PADA MIKROGRID MENGUNAKAN BULK STORAGE BATTERY

Oleh

UBAIDAH

Pada sistem tenaga, daya yang dibangkitkan harus setimbang dengan daya yang dibutuhkan, apabila tidak setimbang maka akan terjadi penyimpangan frekuensi yang bisa diatasi dengan. Frekuensi sendiri merupakan salah satu parameter yang menentukan kualitas suplai dari sistem tenaga. Pada sistem mikrogrid frekuensi sistem mudah berubah seiring perubahan daya pada beban ataupun pada pembangkit yang disebabkan faktor redaman yang kecil. Sehingga untuk mengatasi hal tersebut digunakan *Bulk Storage Battery* sebagai *load frequency control*. Dalam simulasi ini digunakan SIMULINK MATLAB R2014a dan mikrogrid yang terdiri dari beberapa pembangkit kecil yaitu turbin angin, diesel genset, dan PLTS, serta sistem terhubung ke jaringan.

Kasus yang disimulasikan yaitu jaringan dan beban dengan percobaan beban dilepas dari sistem pada kondisi tanpa dan dengan baterai, jaringan terhubung dengan mikrogrid dan beban dengan percobaan beban dilepas dari sistem pada kondisi tanpa dan dengan baterai, jaringan yang terhubung dengan mikrogrid dan beban dengan percobaan PLTS dilepas dari sistem pada kondisi tanpa baterai dan dengan baterai.

Dari beberapa simulasi yang dilakukan, didapat frekuensi pada mikrogrid dengan baterai lebih stabil dibandingkan tanpa baterai setelah terjadi perubahan beban dan pelepasan pembangkit, frekuensi jaringan tanpa mikrogrid saat terjadi perubahan jumlah beban dan pelepasan pembangkit lebih baik dibandingkan jaringan yang terhubung ke mikrogrid, serta pembangkit terbarukan pada mikrogrid juga ikut serta dalam menyumbang masalah ketidakstabilan frekuensi sistem.

Kata Kunci : Frekuensi, mikrogrid, *bulk storage battery*, *Load Frequency Control*

**LOAD FREQUENCY CONTROL (LFC) PADA MIKROGRID  
MENGUNAKAN BULK STORAGE BATTERY**

Oleh

***UBAIDAH***

**Skripsi**

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

Pada

Jurusan Teknik Elektro  
Fakultas Teknik Universitas Lampung



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2017**

Judul Skripsi : **LOAD FREQUENCY CONTROL (LFC)  
PADA MIKROGRID DENGAN BULK  
STORAGE BATTERY**

Nama Mahasiswa : **Ubaidah**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1315031093**

Program Studi : **Teknik Elektro**

Fakultas : **Teknik**

**MENYETUJUI**

**1. Komisi Pembimbing**

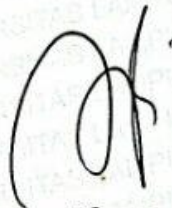


**Herri Gusmedi, S.T., M.T.**  
NIP : 19710810 199903 1 003



**Khairudin, S.T., M.Sc., Ph. D. Eng**  
NIP : 19700719200021001

**2. Ketua Jurusan Teknik Elektro**

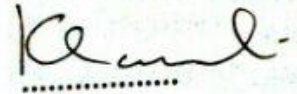


**Dr. Ing. Ardian Ulvan, S.T., M.Sc.**  
NIP : 197311281999031005

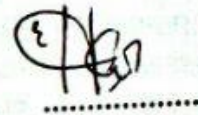
**MENGESAHKAN**

**1. Tim Penguji**

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



**Sekretaris : Herri Gusmedi, S.T., M.T.**



**Penguji  
Bukan Pembimbing : Dr. Eng. Lukmanul Hakim, S.T., M.Sc.....**



**Dekan Fakultas Teknik**

**Prof. Dr. Suharno, M.Sc., Ph.D.**  
NIP 19620717 198703 1 002


**Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 24 Juli 2017**

## SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain dan sepanjang sepengetahuan 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 sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 03 Agustus 2017



*Ubaidah*  
Ubaidah  
NPM 1315031093

## RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Desa Mataram, Kec. Gadingrejo, Kab. Pringsewu, Lampung pada tanggal 22 November 1995. Penulis merupakan anak ketiga dari empat bersaudara dari pasangan Bapak Sahono dan Ibu Sumiyati.

Riwayat pendidikan penulis yaitu SDN 2 Mataram, pada tahun 2001 hingga tahun 2007, SMPN 3 Gadingrejo pada tahun 2007 hingga tahun 2010, dan SMAN 1 Gadingrejo pada tahun 2010 hingga tahun 2013.

Penulis menjadi mahasiswa Jurusan Teknik Elektro, Universitas Lampung, pada tahun 2013 melalui Ujian Tertulis SBMPTN. Selama menjadi mahasiswa, penulis berkesempatan menjadi asisten dosen mata kuliah Matematika Diskrit dan Algoritma dan Pemrograman, serta menjadi asisten praktikum Fisika Dasar, Instrumentasi dan Pengukuran, Rangkaian Listrik, dan Analisa Sistem Tenaga. Penulis juga terdaftar menjadi Anggota Dept. Pengembangan Keteknikan Himatro Unila Periode 2015 – 2016. Penulis melaksanakan kerja praktik di PT. *Pertamina Geothermal Energy Area Ulubelu* pada bulan Maret – Mei 2016 dan mengambil judul “Pengaruh Arus dan Tegangan Transien Akibat Lepasnya *Vacuum Pump A* dan *Vacuum Pump B* Terhadap *Unit 3 Aulixiary Transformer* Pada PT. *Pertamina Geothermal Energy Area Ulubelu*.”





بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

*Karya ini kupersembahkan untuk*

*Ayah Tercinta dan Ibu Tercinta*

*Sahono dan Sumiyati*

*Kakak dan Adikku Tersayang*

*Untari dan Yusup, S.Pd.i*

*Agus Suryanto dan Yosi Maisyaroh, S.Pd*

*Ahmad Mulyadi*

*Firman Mufida*

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



## MOTTO

*“Apabila manusia telah meninggal dunia maka terputuslah semua amalannya kecuali tiga amalan : shadaqah jariyah, ilmu yang bermanfaat, dan anak sholih yang mendoakan dia.” (HR. Muslim)*

*“Suro Diyo Joyo Jayaningrat, Lebur Dening Pangastuti : Segala sifat keras hati, picik, angkara murka, hanya bisa dikalahkan dengan sikap bijak, lembut hati dan sabar” (Filosofi Jawa)*

*“Ojo Kuminter Mundak Keblinger, Ojo Cidro Mundak Ciloko : Jangan merasa paling pandai agar tidak salah arah, jangan suka berbuat curang agar tidak celaka” (Filosofi Jawa)*

*“Belajar tidak berarti apa-apa sampai terjadi perubahan perilaku”  
(Anonim)*

*“Jika anda belum matang untuk dikritik, berarti anda terlalu muda untuk dipuji” (Anonim)*



## SANWACANA

Segala puji bagi Allah SWT atas nikmat kesehatan dan kesempatan yang diberikan kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian Tugas Akhir ini. Sholawat serta salam selalu penulis haturkan kepada Nabi Muhammad SAW sebagai suri teladan bagi umat manusia.

Tugas Akhir dengan judul “*Load Frequency Control (LFC) Pada Mikrogrid Dengan Bulk Storage Battery*” ini merupakan 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. Bapak Prof. Dr. Ir. Hasriadi Mat Akin, M.P. selaku Rektor Universitas Lampung.
2. Bapak Prof. Suharno, M.Sc., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
3. Bapak Dr. Ing Ardian Ulvan, S.T., M.Sc. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro, Universitas Lampung.
4. Bapak Dr. Herman Halomoan Sinaga, S.T., M.T selaku Pembimbing Akademik Penulis yang senantiasa mengarahkan dan menasehati.

5. Bapak Khairudin, S.T., M.Sc., Ph. D. Eng. selaku Pembimbing Utama penulis, yang selalu memberikan bimbingan, arahan, dan pandangan hidup kepada penulis di setiap kesempatan dengan baik dan ramah.
6. Bapak Herri Gusmedi, S.T., M.T. selaku Pembimbing Pendamping yang telah memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis dengan baik dan ramah.
7. Bapak Dr. Eng. Lukmanul Hakim, S.T., Msc. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan kritik yang membangun serta saran yang sangat baik kepada penulis dalam mengerjakan skripsi ini.
8. Ibu Dr. Eng Dikpride Despa, S.T., M.T. selaku kepala Lab. LTPBE yang selalu memberikan saran dan kritik yang membangun kepada penulis.
9. Segenap Dosen di Jurusan Teknik Elektro yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat, wawasan, dan pengalaman yang sangat berarti bagi penulis.
10. Segenap Staff di Jurusan Teknik Elektro dan Fakultas Teknik yang telah membantu penulis baik dalam hal administrasi dan hal – hal lainnya terutama Mbak Dian Rustiningsih.
11. Ayah dan Ibu tercinta, Bapak Sahono dan Ibu Sumiyati, serta Kakak dan adikku tersayang, Untari, Yusup, Agus Suryanto, Yosi maisyaroh, Ahmad Mulyadi dan Firman Mufida, atas kasih sayang, dukungan, serta doa yang selalu diberikan kepada penulis.
12. PBE Crews Agus, Ikrom, Rasyid, Chiko, Ade, Rahma, Erik, Manda, Ruri, Ega, Tuloh, Muhlisin, Boy, Bayu.
13. Segenap Penghuni Laboratorium Sistem Tenaga Elektrik, Pak Abdurrahman, Kak Surya, Wira, Fandi, Fitra, Bayu, Kak Windu, Ferdian, Yogi.

14. Srikandi 13 Citra, Gita, Shanny, Yona, Niken, Dyah, Dian, Pitia, Sitro, Annisa, Nurul, Bila, Renta terimakasih kalian telah membuat saya bertahan walau badai menerpa hingga sampai saat ini.
15. Sulton selaku teman seperjuangan se-pembimbing maaf karena sering marah-marah gak jelas.
16. Teman – Teman Transformer 13 : Riski, Agung DS, ntin, rendi, paian, hekson, wahyu, gusti, andre, manda, cem, yahya, agum, marwan, deri, dimas, pipit, fikri, yasin, venus, nanang, iqbal, emo, nando, rafi, kurniawan eko, eko damar, ketut, ade, zul, adit, yoseph, fasyin, faif, hanif, feri, bayu, roy, fandry, jimmy, andi aulia, andi irawan, tama, satria, billy.
13. Rekan – rekan Bidikmisi angkatan IV Universitas Lampung
14. Teman – teman KKN Desa Wiratama, Kec. Bogatama, Kab. Tulang Bawang : Kak Komang, Kak Adi, Kak Dodi, Fajri, Dian, Kevin.
15. Semua Pihak yang membantu penulis menyelesaikan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penulisan skripsi ini. Penulis mengharapkan kritik dan saran konstruktif dari semua pihak demi kemajuan bersama. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Bandar Lampung, 31 Juli 2017

Penulis

## DAFTAR ISI

|                                      |             |
|--------------------------------------|-------------|
| <b>DAFTAR ISI</b> .....              | <b>xiii</b> |
| <b>DAFTAR GAMBAR</b> .....           | <b>xvi</b>  |
| <b>DAFTAR TABEL</b> .....            | <b>xx</b>   |
| <b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....       | <b>1</b>    |
| 1.1. Latar Belakang .....            | 1           |
| 1.2. Tujuan                          | 2           |
| 1.3. Perumusan Masalah.....          | 3           |
| 1.4. Batasan Masalah.....            | 3           |
| 1.5. Manfaat                         | 4           |
| 1.6. Hipotesis.....                  | 4           |
| 1.7. Sistematika Penulisan.....      | 5           |
| <b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> ..... | <b>7</b>    |
| 2.1 Mikrogrid.....                   | 7           |
| 2.2 Kendali Sistem tenaga .....      | 11          |
| 2.2.1 Pengendalian Frekuensi.....    | 13          |
| 2.3 Jenis Pembangkit Tersebar .....  | 16          |
| 2.3.1 Diesel .....                   | 16          |
| 2.3.2 Solar Sel.....                 | 17          |

|   |           |
|---|-----------|
| 2.3.3 Turbin Angin.....   | 20        |
| 2.4 Baterai Penyimpanan.....  | 21        |
| 2.5 Hubungan Daya dan Frekuensi .....   | 23        |
| 2.5.1 <i>Turbine Governor Control (TGC)</i> .....   | 25        |
| <b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>  | <b>28</b> |
| 3.1 Waktu dan Tempat .....  | 28        |
| 3.2 Alat dan Bahan .....  | 29        |
| 3.3. Tahap Penelitian .....   | 29        |
| 3.4 Hubungan frekuensi pada beban terhadap daya pada generator dan baterai<br>pada sistem mikrogrid ..... | 31        |
| 3.5 Skenario Simulasi.....  | 33        |
| 3.6 Diagram Alir Penelitian .....   | 35        |
| 3.7 Hasil Yang Diharapkan .....   | 36        |
| <b>BAB VI. KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>   | <b>77</b> |
| 5.1 Kesimpulan.....   | 77        |
| 5.2 Saran   | 78        |

## DAFTAR GAMBAR

| Gambar  | Halaman |
|---|---------|
| Gambar 1. Struktur inline mikrogrid .....   | 7       |
| Gambar 2 Konfigurasi dasar mikrogrid .....  | 12      |
| Gambar 3. konfigurasi fungsi kendali sistem mikrogrid .....                             | 13      |
| Gambar 4. Kestimbangan pembangkit dan beban.....  | 13      |
| Gambar 5. Struktur Kendali Mikrogrid.....   | 15      |
| Gambar 6. Blok diagram sistem mesin diesel.....   | 17      |
| Gambar 7. Rangkaian ekuivalen solar sel.....  | 18      |
| Gambar 8. Diagram skematik dari Inverter solar sel yang terkoneksi pada sistem<br>..... | 19      |
| Gambar 9. Turbin angin induksi sangkar tupai .....                                      | 20      |
| Gambar 10. Doubly fed (wound rotor) induction generators .....                          | 21      |
| Gambar 11. Direct drive synchronous generators .....                                    | 21      |
| Gambar 12. Skematik struktur BESS (Battery Energy Storage System) .....                 | 22      |
| Gambar 13. Rangkaian ekuivalen dari BESS .....  | 22      |
| Gambar 14. Hubungan frekuensi dan daya steady state untuk turbin generator              | 26      |
| Gambar 15. Diagram alir penelitian.....   | 35      |
| Gambar 16. Single line diagram grid dan beban.....                                      | 37      |
| Gambar 17. Sistem Pembangkit Diesel.....  | 40      |



|   |    |
|---|----|
| Gambar 18. Sistem energi Solar Sel .....                                      | 42 |
| Gambar 19 Sistem generator wind farm .....                                    | 43 |
| Gambar 20. Diagram skematik sistem baterai yang tersambung pada jaringan .    | 44 |
| Gambar 21. DC/AC inverter control system.....                                 | 44 |
| Gambar 22. One Line Diagram Skenario 1a.....                                  | 45 |
| Gambar 23. One Line Diagram Skenario 1b.....                                  | 46 |
| Gambar 24. One line diagram skenario 1c .....                                 | 46 |
| Gambar 25. One line diagram skenario 1d.....                                  | 47 |
| Gambar 26. One line diagram Skenario 2a .....                                 | 48 |
| Gambar 27. One line diagram skenario 2b.....                                  | 48 |
| Gambar 28. One line diagram skenario 2c.....                                  | 49 |
| Gambar 29. One line diagram skenario 2d.....                                  | 49 |
| Gambar 30. One line diagram skenario 3a.....                                  | 50 |
| Gambar 31. One line diagram skenario 3b.....                                  | 51 |
| Gambar 32 One line diagram skenario 3c.....                                   | 51 |
| Gambar 33 One line diagram skenario 3d.....                                   | 52 |
| Gambar 34 Frekuensi sistem pada bus 6 pada grid tanpa baterai .....           | 53 |
| Gambar 35 Frekuensi sistem bus 6 pada grid dengan baterai .....               | 53 |
| Gambar 36. Daya aktif (P) pada bus 6 saat kondisi sistem tanpa baterai .....  | 54 |
| Gambar 37. Daya Aktif (P) pada bus 6 saat keadaan sistem dengan baterai ..... | 55 |
| .....   | 55 |
| Gambar 38. Daya reaktif bus 6 saat kondisi sistem tanpa baterai.....          | 55 |
| Gambar 39. Daya reaktif bus 6 pada saat sistem dengan baterai .....           | 56 |

|  |    |
|--|----|
| Gambar 40. Frekuensi sistem pada bus 6 saat keadaan sistem tanpa baterai dengan beban RLC .....                    | 56 |
| Gambar 41. Frekuensi sistem pada bus 6 saat kondisi sistem dengan baterai menggunakan beban RLC .....              | 57 |
| Gambar 42. Daya aktif (P) pada bus 6 saat kondisi sistem tanpa baterai menggunakan beban RLC .....                 | 58 |
| Gambar 43. Daya aktif (P) pada bus 6 saat kondisi sistem dengan baterai dengan baterai menggunakan beban RLC ..... | 58 |
| Gambar 44. Daya reaktif (Q) pada bus 6 saat kondisi sistem tanpa baterai.....                                      | 59 |
| Gambar 45. Daya reaktif (Q) pada bus 6 saat kondisi sistem dengan baterai.....                                     | 59 |
| Gambar 46. Frekuensi pada beban bus 6 saat kondisi sistem tanpa baterai.....                                       | 60 |
| Gambar 47. Frekuensi sistem bus 6 saat kondisi sistem dengan baterai.....  | 61 |
| Gambar 48. Daya aktif pada bus 6 saat kondisi sistem tanpa baterai .....   | 61 |
| Gambar 49. Daya aktif pada bus 6 saat kondisi sistem dengan baterai .....  | 62 |
| Gambar 50. Daya reaktif pada bus 6 saat kondisi sistem tanpa baterai .....   | 62 |
| Gambar 51. Daya reaktif pada bus 6 saat kondisi sistem dengan baterai .....  | 63 |
| Gambar 52. Frekuensi sistem pada bus 6 menggunakan beban RLC saat kondisi sistem tanpa baterai .....               | 63 |
| Gambar 53. Frekuensi sistem bus 6 menggunakan beban RLC saat keadaan sistem dengan baterai .....                   | 64 |
| Gambar 54. Daya aktif (P) pada bus 6 saat kondisi sistem tanpa baterai .....                                       | 64 |

|  |    |
|--|----|
| Gambar 55. Daya aktif (P) pada bus 6 saat kondisi sistem dengan baterai .....  | 65 |
| .....  | 65 |
| Gambar 56. Daya reaktif pada bus 6 saat kondisi sistem tanpa baterai .....     | 65 |
| Gambar 57. Daya reaktif pada bus 6 saat keadaan sistem dengan baterai .....    | 66 |
| .....  | 66 |
| Gambar 58. Frekuensi sistem bus 6 saat kondisi sistem tanpa baterai .....      | 67 |
| Gambar 59. Frekuensi sistem bus 6 saat keadaan sistem dengan baterai .....     | 67 |
| Gambar 60. Daya aktif (P) pada bus 6 saat kondisi sistem tanpa baterai .....   | 68 |
| Gambar 61. Daya aktif (P) pada bus 6 saat kondisi sistem dengan baterai .....  | 68 |
| .....  | 68 |
| Gambar 62. Daya reaktif (Q) pada bus 6 saat keadaan sistem tanpa baterai ..... | 69 |
| .....  | 69 |
| Gambar 63. Daya Reaktif (Q) pada bus 6 saat keadaan sistem dengan baterai ..   | 69 |
| Gambar 64. Frekuensi sistem bus 6 saat keadaan sistem tanpa baterai .....      | 70 |
| Gambar 65. Frekuensi sistem bus 6 saat kondisi sistem dengan baterai.....      | 70 |
| Gambar 66. Daya aktif pada bus 6 pada keadaan sistem tanpa baterai.....        | 71 |
| Gambar 67. Daya aktif pada bus 6 saat keadaan sistem dengan baterai .....      | 71 |
| Gambar 68. daya reaktif pada bus 6 saat keadaan sistem tanpa baterai.....      | 72 |
| Gambar 69. Daya reaktif bus 6 saat keadaan sistem dengan baterai .....         | 72 |

**DAFTAR TABEL**

| Tabel  | Halaman |
|--|---------|
| Tabel 1. Perbedaan Karakteristik <i>Smartgrid</i> dan Jaringan Konvensional .....                | 8       |
| Tabel 2. Tantangan apabila menggunakan energi terbarukan di dalam <i>offline mikrogrid</i> ..... | 10      |
| Tabel 3. Penjadwalan Aktifitas Penelitian .....  | 28      |

## **BAB I PENDAHULUAN**

### 1.1. Latar Belakang

Mikrogrid adalah jaringan listrik dengan ukuran kecil yang dapat berupa bagian dari jaringan distribusi (*on grid connected*) atau independen (*isolated operation*), dengan sumber pembangkit berupa solar sel, turbin angin, pembangkit diesel dan sebagainya. Pada saat pengoperasian mikrogrid sangat diperlukan kendali daya aktif dan reaktif agar tetap dalam kondisi stabil, kemudian frekuensi dan tegangan sistem mikrogrid juga harus dikontrol dalam batas-batas yang ditentukan. Pada penelitian ini penulis fokus pada pengendalian frekuensi mikrogrid. Karena pada sistem mikrogrid sangat berbeda dengan sistem yang besar, dimana perubahan frekuensi pada sistem mikrogrid sangat mudah terjadi. Hal ini karena pada sistem yang besar mempunyai faktor redaman yang besar dibandingkan dengan sistem mikrogrid.

Pada pengoperasian sistem mikrogrid tidak menutup kemungkinan terjadi hilangnya pembangkit yang dapat mengakibatkan penurunan nilai frekuensi dari nilai nominalnya. Selain itu, apabila pada mikrogrid memiliki kondisi beban bervariasi maka akan menimbulkan kebutuhan listrik yang bervariasi pula yang dapat menyebabkan masalah, diantaranya adalah terjadinya beban puncak pada

waktu tertentu sehingga perbandingan antara pembangkitan dan pemakaian tidak seimbang yang dapat mengakibatkan frekuensi pada beban menurun.

Seperti yang kita ketahui bahwa, frekuensi pada jaringan listrik merupakan salah satu faktor untuk menentukan baik buruknya sistem kelistrikan, karena tidak stabilnya frekuensi dapat mengakibatkan kerusakan peralatan baik pada sisi konsumen maupun pada sisi pembangkit [1]. Kerusakan pada sisi pembangkit merupakan hal yang paling berbahaya karena dapat mengakibatkan generator *shut down* dan terjadi *black out* (pemadaman keseluruhan) [2].

Untuk mengatasi permasalahan penyimpangan frekuensi dari nilai nominalnya pada mikrogrid apabila terjadi satu atau lebih pembangkit hilang dari sistem maupun kondisi beban yang bervariasi yaitu dengan memasang baterai (*Battery Storage System*) [3]. Penulis melakukan penelitian ini dengan menggunakan pemodelan *Simulink* MATLAB R2014a.

## 1.2. Tujuan

Tujuan tugas akhir ini yaitu:

1. Mendesain dan mendapatkan strategi kendali frekuensi sistem menggunakan *bulk storage battery* dalam mikrogrid.
2. Mengetahui pengaruh perubahan beban terhadap frekuensi sistem pada mikrogrid.
3. Mengetahui pengaruh lepasnya salah satu atau lebih pembangkit terhadap frekuensi sistem pada mikrogrid.

4. Mengetahui pengaruh penambahan *bulk storage battery* terhadap frekuensi sistem setelah terjadi perubahan beban ataupun lepasnya pembangkit pada mikrogrid.

### 1.3. Perumusan Masalah

Penyimpangan frekuensi dari nilai nominal yang ada pada sistem diakibatkan oleh hilangnya pembangkit ataupun kondisi beban yang bervariasi pada mikrogrid. Pada penelitian ini, untuk mengatasi persoalan penyimpangan frekuensi tersebut, solusi yang dilakukan untuk pengendalian frekuensi pada sistem mikrogrid adalah dengan menggunakan *bulk storage battery* agar frekuensi pada sistem kembali pada nilai nominal.

### 1.4. Batasan Masalah

Batasan masalah pada tugas akhir ini yaitu:

1. Pengendalian frekuensi sistem hanya menggunakan baterai, untuk metode *droop control* pada mikrogrid dengan inersia rendah digunakan oleh mahasiswa lain yang sedang melakukan penelitian.
2. Tidak membahas sistem proteksi dan harmonisa yang ada pada *bulk storage battery*, pembahasan pada penelitian ini fokus kepada frekuensi sistem dan pengaruh pemberian baterai pada sistem.
3. Simulasi dilakukan pada kondisi siang hari.

### 1.5. Manfaat

Manfaat dari tugas akhir ini adalah:

#### a. Untuk Penulis

1. Memberikan pemahaman kepada penulis tentang struktur mikrogrid dan faktor yang dapat menyebabkan ketidaksetimbangan daya pada mikrogrid.
2. Memberikan pemahaman kepada penulis mengenai studi analisa penyimpangan frekuensi sistem pada mikrogrid akibat penambahan beban ataupun lepasnya pembangkit dari sistem mikrogrid.
3. Memberikan pemahaman kepada penulis mengenai sistem pengelolaan kendali frekuensi sistem menggunakan *bulk storage battery* dalam mikrogrid.

#### b. Untuk Pembaca

1. Pembaca dapat mengetahui pengaruh hilangnya pembangkit dan kondisi beban yang bervariasi terhadap frekuensi mikrogrid.
2. Pembaca dapat mengetahui pengaruh pemasangan baterai terhadap perbaikan frekuensi sistem mikrogrid.
3. Dapat menjadi acuan bagi mahasiswa lain dalam menyempurnakan tugas akhir ini.

### 1.6. Hipotesis

Mikrogrid merupakan kumpulan dari pembangkit dengan ukuran kecil dan *distributed generation* (pembangkit tersebar). Seiring dengan perubahan jumlah beban, maka beban juga mengalami perubahan setiap waktu, kemudian tidak



selamanya sistem bekerja dengan baik sehingga memungkinkan salah satu atau lebih pembangkit lepas dari sistem mikrogrid. Hal ini tentu akan menimbulkan penurunan (*decrease*) frekuensi sistem. Salah satu strategi dalam menangani penurunan frekuensi pada mikrogrid adalah dengan menggunakan *bulk storage battery*. Saat terjadi kenaikan beban atau pembangkit lepas dari sistem, maka *bulk storage battery* ini akan aktif menyalurkan daya ke sistem mikrogrid. Apabila kekurangan daya tersebut terpenuhi oleh baterai, frekuensi pada sistem akan kembali stabil ke nilai frekuensi nominalnya.

#### 1.7. Sistematika Penulisan

Laporan akhir ini dibagi menjadi lima bab yaitu:

##### BAB I. PENDAHULUAN

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

##### BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini menjelaskan teori-teori pendukung materi penelitian yang diambil dari berbagai sumber ilmiah yang digunakan dalam penulisan laporan tugas akhir ini.

##### BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini memaparkan waktu dan tempat penelitian, alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian, metode penelitian yang digunakan, serta pelaksanaan dan pengamatan penelitian

#### BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini menjelaskan hasil data penelitian dan pembahasan dari tugas akhir ini.

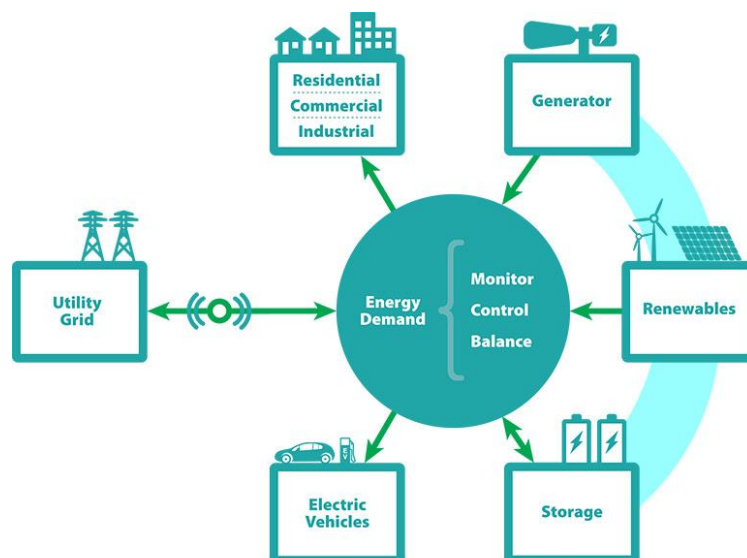
#### BAB V. KESIMPULAN

Pada bab ini menjelaskan kesimpulan yang didasarkan pada hasil data dan pembahasan dari tugas akhir ini.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Mikrogrid

Mikrogrid merupakan jaringan listrik dengan ukuran kecil dimana tidak ada bentuk atau spesifik struktur yang tetap. Mikrogrid sendiri dapat berupa bagian dari sistem distribusi atau sistem yang independen (*isolated mikrogrid*) [4]. Mikrogrid menyediakan sumber energi yang terdistribusi (*Distributed Generation*) seperti solar sel, turbin angin, diesel, dan baterai [3]. Gambar 1. berikut ini merupakan salah satu contoh sistem mikrogrid dengan pembangkit tersebar (*Distributed Generation*) dan sistem *monitoring control balance*.



Gambar 1. Struktur *inline mikrogrid* [5]

Istilah mikrogrid mengacu pada modernisasi sistem pengelolaan energi listrik sehingga dapat memonitor, menjaga dan secara otomatis mengoptimalkan operasi antar elemen interkoneksinya – mulai dari pusat dan distribusi generator melalui jaringan transmisi tegangan tinggi dan jaringan sistem distribusi, ke pelanggan industri dan sistem automasi bangunan, ke instalasi penyimpanan energi dan ke konsumen pemakai terakhir, kendaraan listrik, peralatan dan perlengkapan rumah tangga lainnya [6].

Karakteristik mikrogrid adalah sebagai berikut

- a) Pembangkitan terdistribusi
- b) Pengiriman daya tidak bersifat sentral
- c) Biasanya terkoneksi pada sistem distribusi [7]

Mikrogrid merupakan salah satu bentuk dari teknologi *smartgrid*. Penerapan *smartgrid* berkembang ke banyak aspek pengoperasian sistem tenaga listrik, mulai dari bagaimana meminimalisir potensi gangguan/pemadaman hingga pada peningkatan penetrasi energi terbarukan untuk mengurangi polusi dan konsumsi bahan bakar fosil. Berikut pada tabel 1. disajikan beberapa perbedaan karakteristik antara jaringan tenaga listrik konvensional dan *smartgrid*. [8].

Tabel 1. Perbedaan Karakteristik *Smartgrid* dan Jaringan Konvensional [8].

| <b>Karakteristik</b>                         | <b>Jaringan Konvensional</b>  | <b>Smart Grid</b>  |
|--|---|--|
| Memungkinkan partisipasi aktif dari pengguna | Pengguna tidak mengetahui dan tidak berperan dalam operasi tenaga listrik | Pengguna terlibat dan aktif memberikan <i>demand respond</i> |

|   |  |   |
|---|--|---|
| Mengakomodasi berbagai macam tipe pembangkit dan <i>storage options</i> | Didominasi oleh pembangkit terpusat, banyak hambatan bagi interkoneksi <i>distributed energy resources</i> | Meningkatkan penetrasi <i>distributed energy resources</i>  |
| Menyediakan <i>power quality</i> yang lebih baik.                       | Terfokus pada gangguan – tanggapan terhadap masalah <i>power quality</i> cenderung lambat                  | <i>Power quality</i> merupakan prioritas, penyelesaian permasalahan lebih cepat                             |
| Optimisasi <i>asset &amp;</i> efisiensi operasi                         | Kurang integrasi antara data operasional dengan manajemen asset  | Sistem akuisisi data yang komprehensif dan terintegrasi dengan pengoperasian sistem                         |
| Mengantisipasi dan menindaklanjuti gangguan sistem ( <i>selfheals</i> ) | Tindakan terhadap gangguan lebih terfokus untuk mencegah kerusakan lebih lanjut                            | Mendeteksi dan menindaklanjuti secara otomatis, fokus pada pencegahan dan minimalisasi dampak pada pengguna |
| Ketahanan terhadap serangan dan bencana alam                            | Lemah menghadapi aksi terror dan bencana alam  | Lebih tahan terhadap aksi <i>terror</i> dan bencana   |

|  |  |  |
|--|--|--|
|  |  | alam, dengan kemampuan restorasi cepat |
|--|--|--|

Jika terjadi gangguan pada bagian hulu sistem tenaga maka *inline* mikrogrid beralih menjadi mode *independent power system*. Dalam sistem tenaga yang berdiri sendiri terdapat beberapa permasalahan batas pengoperasian sistem, seperti daya yang dihasilkan berasal dari pembakaran internal generator, dimana menggunakan bahan bakar fosil dan relatif mempunyai faktor emisi CO<sub>2</sub> yang besar. Lalu, transportasi pengangkutan bahan bakar untuk daerah terpencil menambah biaya pembangkitan, sehingga efisiensi ekonomi menjadi masalah untuk daerah terpencil. Untuk permasalahan banyak yang mengadopsi energi terbarukan sebagai sumber listrik dengan manfaat mengurangi dampak ekologi dan efisiensi ekonomi. Pada tabel 2. Berikut merupakan tantangan jika memakai energi terbarukan dalam pulau terpencil atau pemakaian sistem tenaga independen.

Tabel 2. Tantangan apabila menggunakan energi terbarukan di dalam *offline* mikrogrid [9]

| Hal  | Tantangan   |
|--|---|
| <b>Pembangkitan/Pengelolaan operasi permintaan</b> | Keseimbangan antara pembangkit dan permintaan harus selalu dijaga setiap waktu.                         |
| <b>Ketahanan frekuensi dan tegangan</b>            | Energi terbarukan dan kenaikan beban menyebabkan besar frekuensi dan tegangan berubah seketika itu juga |

|                            |  |
|----------------------------|--|
| <b>Cadangan daya</b>       | Cadangan daya sangat kecil (karena kapasitas unit generator kecil)   |
| <b>Kemungkinan ekonomi</b> | Jika cadangan daya cukup diperlukan biaya kompensasi yang sesuai dengan jumlah energi terbarukan yang dipakai, pembangkit diesel akan beroperasi dengan output rendah dan efisiensi bahan bakar menurun. |

## 2.2 Kendali Sistem tenaga

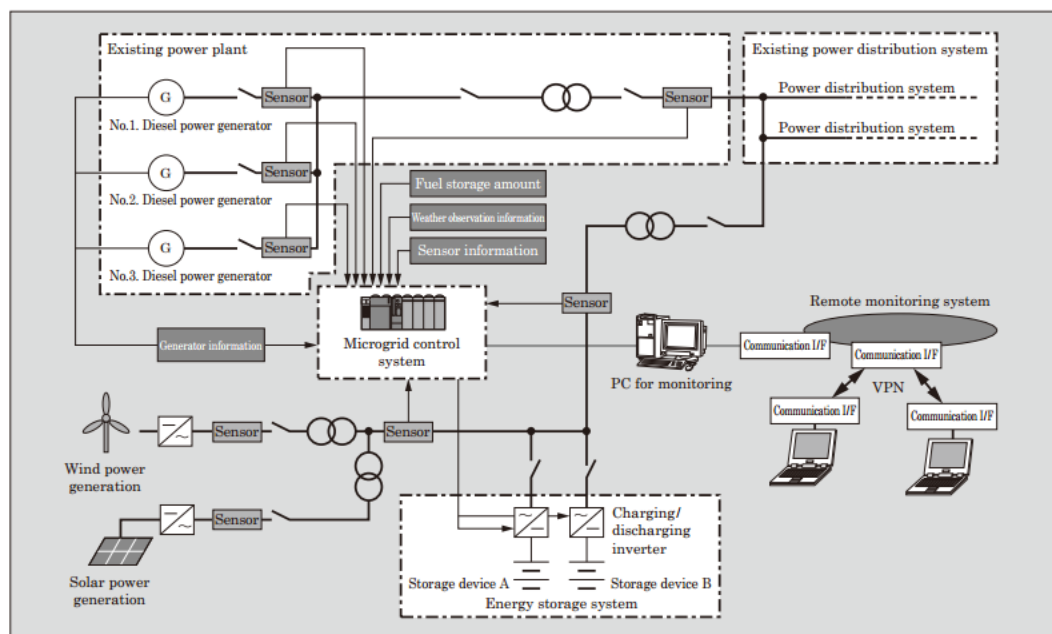
Fungsi dari sistem tenaga listrik adalah untuk mengkonversi energi dari suatu energi yang disediakan oleh alam baik itu terbarukan maupun tidak menjadi energi listrik untuk kebutuhan sehari-hari. Energi listrik jarang digunakan dalam bentuk listrik saja, tetapi kebanyakan harus dikonversi terlebih dahulu menjadi cahaya, gerak, panas dll. Dalam penggunaannya energi listrik dapat dikendalikan oleh operator. Perancangan dan pengoperasian sistem yang baik harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

- a. Saat kondisi beban yang berubah-ubah, sistem harus memenuhi permintaan daya aktif dan reaktif. Energi listrik tidak dapat disimpan sehingga dalam pengoperasian sistem harus diperhatikan dan dikontrol dengan tepat.
- b. Sistem harus dapat menyediakan energi dengan pengeluaran biaya yang minimum dan dampak ekologi yang minimum.
- c. Kualitas dari *power supply* harus memenuhi standar minimum berikut ini:
  - Frekuensi yang konstan

- Tegangan yang konstan
- Tingkat keandalan [2]

Dalam pembangkitan, peralatan kontrol digunakan untuk mengatur suplai daya aktif dan reaktif. Perubahan beban yang terjadi sangat berpengaruh terhadap perubahan frekuensi dan tegangan. Naik turunnya frekuensi tergantung perubahan daya aktif, demikian halnya dengan tegangan tergantung pada perubahan daya reaktif [10].

Dalam sistem mikrogrid terdapat beberapa pembangkit tersebar dan sensor-sensor yang mengukur besaran listrik. Gambar 2. berikut ini merupakan konfigurasi dasar dari mikrogrid.

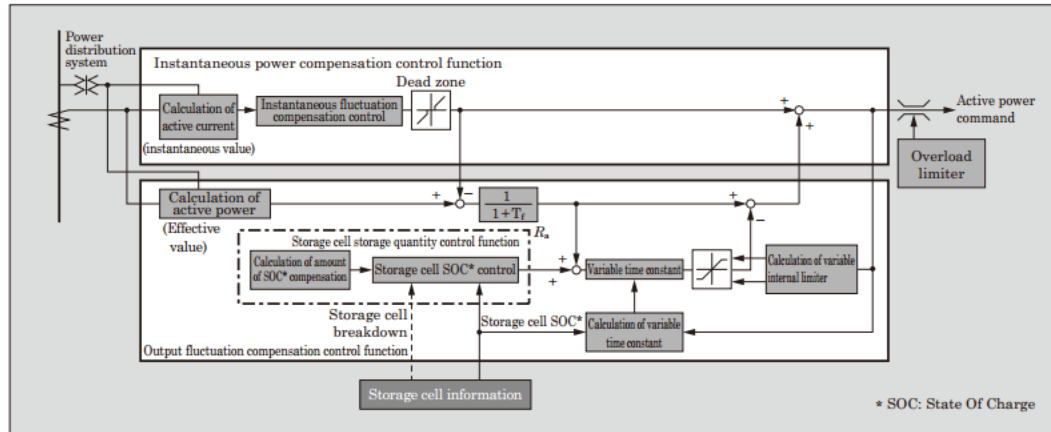


Gambar 2 Konfigurasi dasar mikrogrid [10]

Kemudian dalam suatu sistem harus terdapat fungsi kendali, dalam mikrogrid juga terdapat fungsi kendali yang berfungsi untuk mengatur respon perubahan yang berkelanjutan seperti turbin angin terputus, terjadi permasalahan pada solar sel



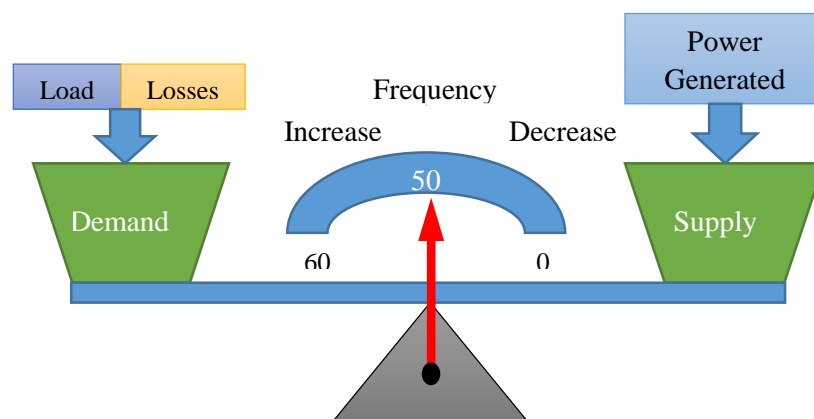
sehingga berhenti menyediakan daya, tanpa merubah frekuensi sistem. Gambar 3. menunjukkan konfigurasi fungsi kendali sistem mikrogrid.



Gambar 3. konfigurasi fungsi kendali sistem mikrogrid [10]

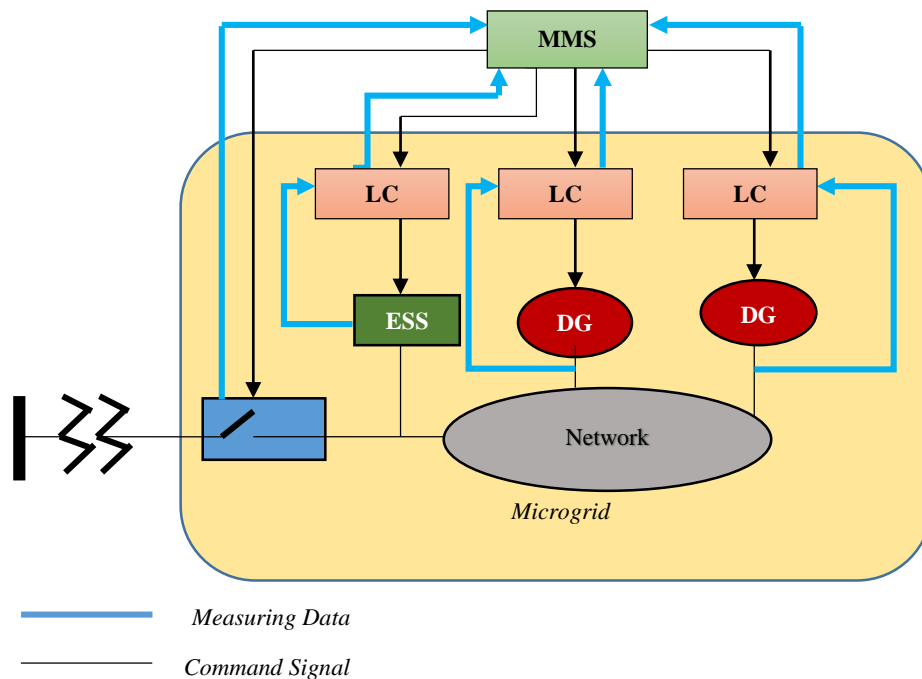
### 2.2.1 Pengendalian Frekuensi

Dalam sistem tenaga, keseimbangan antara pembangkit dan beban sangat penting. Kondisi beban yang berubah-ubah dan hilangnya salah satu atau lebih pembangkit dapat menyebabkan penyimpangan frekuensi (*frequency deviation*) [7]. Gambar 4. Berikut merupakan gambaran antara pembangkitan dan beban.



Gambar 4. Kesetimbangan pembangkit dan beban

Gambar 4. menunjukkan apabila beban dan rugi-rugi lebih besar dari pembangkitan energi listrik maka akan terjadi penurunan (*decrease*) frekuensi, kemudian apabila pembangkitan lebih banyak dari permintaan maka akan terjadi peningkatan (*increase*) frekuensi [11]. Sehingga, dari masalah tersebut diperlukan kendali frekuensi pada sistem. Salah satu kendali frekuensi adalah dengan menggunakan *Bulk Storage Battery*. Sistem mikrogrid yang tersambung dengan jaringan sistem yang besar (*inline* mikrogrid), apabila terjadi gangguan di daerah hulu dapat menyebabkan mikrogrid tidak tersambung lagi dengan sistem dan bergeser pada sistem *islanded operation mode*, yang menyebabkan perlunya kendali frekuensi sistem. Selain itu pada mikrogrid perubahan jumlah beban juga akan mempengaruhi frekuensi pada mikrogrid tersebut. Solusi untuk permasalahan tersebut adalah dengan menggunakan *bulk storage system* [12]. Gambar 5. berikut menunjukkan hirarki struktur kendali secara umum pada mikrogrid dengan menggunakan baterai.



Gambar 5. Struktur Kendali Mikrogrid

Dalam struktur kendali terdapat dua layer, yaitu *Microgrid Management System (MMS)* dan *Local Control (LC)*. MMS merupakan pusat pengendali yang mengatur fungsi pengelolaan dan memberikan *set point* keluaran daya pada LC. LC adalah saluran pengiriman *set point* keluaran daya pada *microsources* dan *Battery Energy Storage System (BESS)*.

Tujuan dari *Load Frequency Control (LFC)* adalah untuk mengendalikan indeks kinerja ( $J$ ) mikrogrid. Indeks kinerja merupakan kemampuan kinerja maksimum sistem, yang dirumuskan pada persamaan (1) sebagai berikut:

$$J = \int |\Delta f|^2 dt \quad (1)$$

dengan

$$\Delta f = f_s - f$$

Keterangan:

$J$  = Indeks kinerja mikrogrid

$\Delta f$  = frekuensi eror

$f_s$  = frekuensi setelah terjadi eror

$f$  = frekuensi yang terukur saat terjadi deviasi[11]

## 2.3 Jenis Pembangkit Tersebar

### 2.3.1 Diesel

Untuk membangkitkan listrik, diesel menggunakan sistem penggerak mula yang disebut dengan generator set (genset).

Keuntungan pemakaian diesel sebagai *prime mover* (penggerak mula):

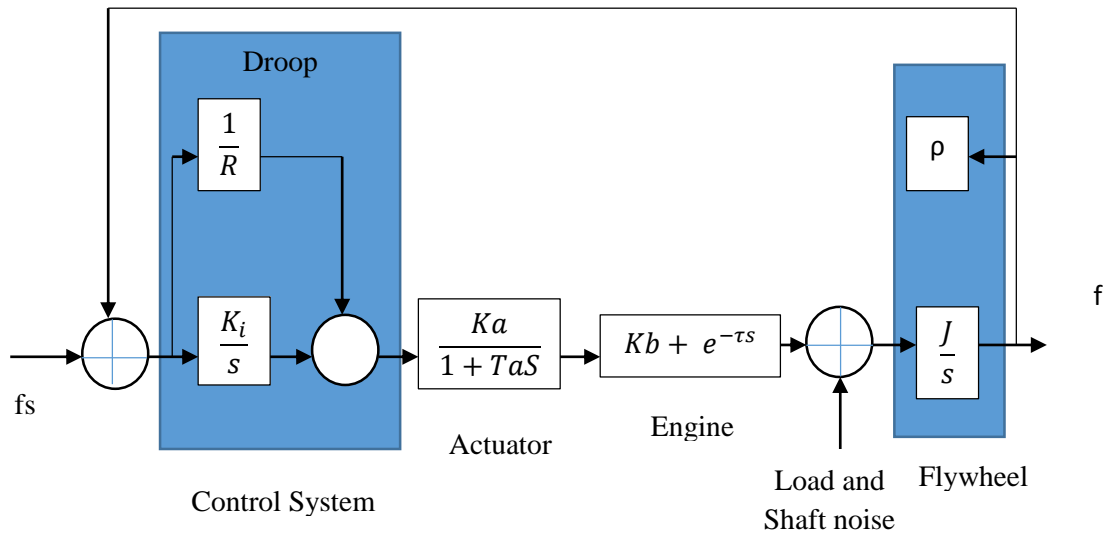
- a. Desain dan instalasi sederhana
- b. *Auxiliary equipment* sederhana
- c. Waktu pembebanan relatif singkat

Kerugian pemakaian diesel sebagai *prime mover*:

- a. Mesin sangat berat sehingga harus dapat menahan getaran serta kompresi yang tinggi
- b. *Starting* awal berat, karena kompresinya tinggi yaitu sekitar 200 bar
- c. Semakin besar daya maka mesin diesel tersebut mempunyai dimensi semakin besar juga, hal tersebut menyebabkan kesulitan jika daya mesin sangat besar [12].

Diesel generator beroperasi independen untuk memenuhi kekurangan daya pada mikrogrid agar memenuhi permintaan pasokan beban kondisi seimbang. Model

mesin diesel pada dasarnya terdiri dari tiga bagian yaitu sistem *governor*, mesin pembakaran diesel, dan *flywheel*. Gambar 6. berikut ini menunjukkan diagram blok dari sistem mesin diesel.



Gambar 6. Blok diagram sistem mesin diesel

Dari model mesin diesel pada gambar 6. banyaknya konsumsi bahan bakar tergantung oleh kecepatan daya mesin pada keluaran mesin diesel [4].

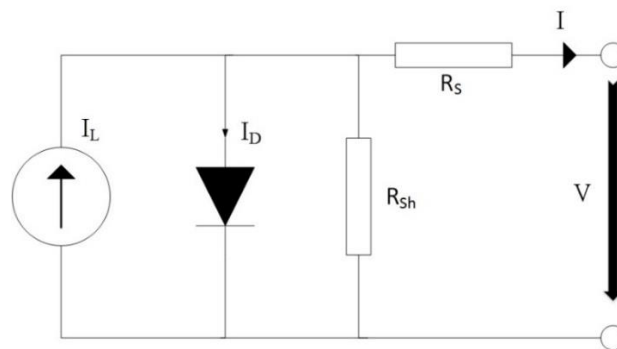
### 2.3.2 Solar Sel

Solar sel merupakan perangkat yang dapat mengubah energi cahaya menjadi listrik. Modul solar sel menghasilkan listrik searah (DC) yang mana diubah menjadi listrik AC menggunakan inverter untuk mensinkronkan dengan parameter sistem tenaga. Dalam model solar sel, digunakan *Maximum Power Point Tracking (MPPT)* untuk merawat tergantung pada temperatur dan penyinaran lingkungan, dengan nilai konstan untuk parameter lainnya yaitu variasi daya maksimum dengan temperatur

modul [3]. Keuntungan utama penggunaan solar sel adalah sebagai berikut:

1. Waktu untuk merancang, menginstal, dan untuk membuat pembangkit baru cepat.
2. Ramah lingkungan, karena tidak berkontribusi terhadap polusi suara.
3. Memiliki biaya pemeliharaan yang sangat rendah karena tidak ada bagian yang bergerak.
4. Sangat portabel karena mempunyai massa yang ringan.

Gambar 7. berikut merupakan rangkaian ekivalen solar sel.



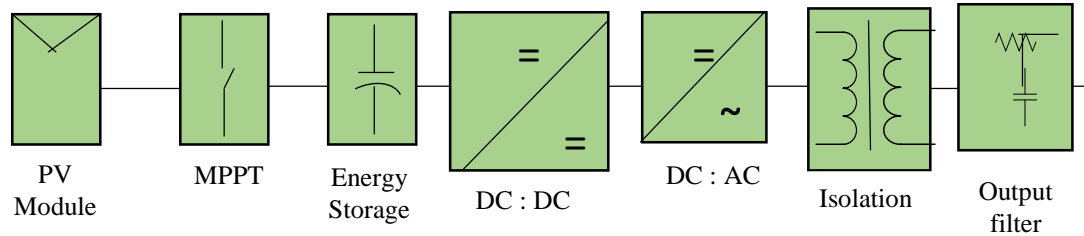
Gambar 7. Rangkaian ekivalen solar sel

Solar sel dapat dimodelkan sebagai dioda yang dipasang paralel dengan sumber arus konstan dan resistor *shunt* seperti pada gambar. Keluaran arus terminal I adalah sama dengan cahaya yang membangkitkan arus  $I_{ph}$ , dikurang dengan arus dioda  $I_D$  dan arus bocor *shunt*  $I_{sh}$ .

$$I = I_{ph} - I_D - I_{sh} \quad (2)$$

Resistor seri  $R_s$  mewakili hambatan internal aliran arus, dan tergantung pada p-n *junction depth*. Resistor paralel  $R_{sh}$  adalah hubungan invers pada arus bocor ke *ground*. Pada keadaan ideal solar sel,  $R_s=0$  (tidak ada rugi-rugi seri), dan  $R_{sh} = \infty$

(tidak ada arus bocok ke *ground*). Gambar 8. berikut menunjukkan diagram skematik dari inverter pada solar sel yang terkoneksi di sistem.



Gambar 8. Diagram skematik dari Inverter solar sel yang terkoneksi pada sistem

Inverter biasanya terdiri dari:

- Rangkaian maximum power point tracking ( MPPT)
- Elemen penyimpanan biasanya adalah komponen kapasitor
- Konverter DC:DC untuk menaikkan tegangan
- Inverter DC:AC
- Isolasi transformator untuk memastikan bahwa DC tidak diinjeksikan ke jaringan
- Filter output untuk membatasi arus harmonik yang dilewatkan ke jaringan [13]

Daya keluaran pada solar sel dapat dituliskan pada persamaan (2) berikut ini:

$$P_{PV} = \eta S \varphi [1 - 0.005(T_a + 25)] \quad (3)$$

Dimana  $\eta$  adalah konversi efisiensi dari solar sel,  $S$  adalah ukuran dari solar sel ( $m^2$ ),  $\varphi$  adalah penyinaran matahari ( $Kw/ m^2$ ) dan  $T_a$  adalah temperatur lingkungan ( $^{\circ}C$ ). Fungsi transfer dari solar sel dapat ditunjukkan pada persamaan berikut ini:

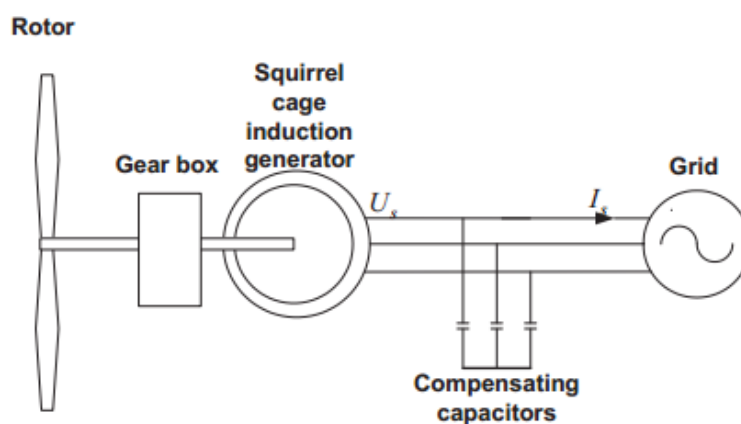
$$G_{PV}(s) = \frac{\Delta P_{PV}}{\Delta \varphi} = \frac{K_{PV}}{1+sT_{PV}} \quad (4)$$

Dimana  $K_{pv}$  adalah penguatan konstan dan  $T_{pv}$  adalah waktu konstan.

### 2.3.3 Turbin Angin

Turbin angin adalah bilah yang digunakan untuk membangkitkan tenaga listrik yang memanfaatkan energi angin untuk memutar bilah rotor dalam turbin/generator. Pada dasarnya turbin angin dapat diaplikasikan disemua tipe dari generator tiga fasa. Beberapa tipe generator tersebut adalah sebagai berikut:

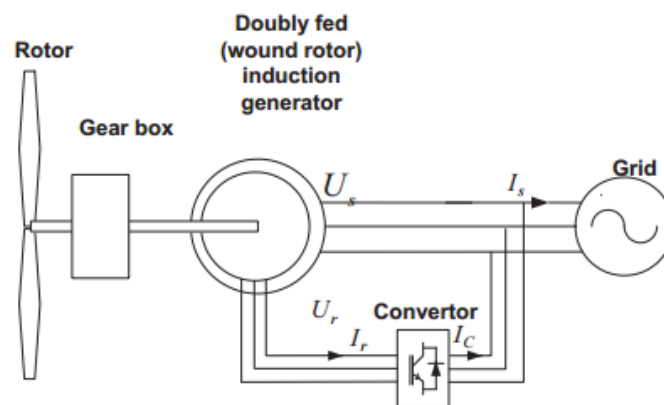
- Generator induksi sangkar tupai (*Squirrel cage induction generators*), jenis ini merupakan jenis generator tertua dan paling sederhana. Mempunyai kecepatan turbin tetap ke frekuensi jaringan. Gambar 9. berikut merupakan turbin angin induksi sangkar tupai.



Gambar 9. Turbin angin induksi sangkar tupai [13]

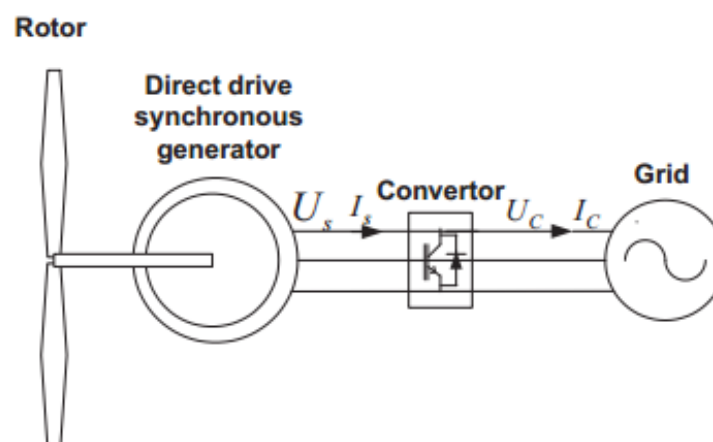
- Doubly fed (wound rotor) induction generators*, digunakan untuk menghasilkan daya yang besar. Susunan DFIG terdiri dari turbin angin (aerodinamik), mesin induksi, konverter AC/DC/AC dan induktor kopling. DFIG ditunjukkan pada gambar 10. berikut





Gambar 10. *Doubly fed (wound rotor) induction generators* [13]

- c. *Direct drive synchronous generators*, merupakan salah satu tipe generator yang langsung ke poros mesin tanpa melalui *gearbox*. Dengan ditunjukkan gambar 11. seperti berikut [13].

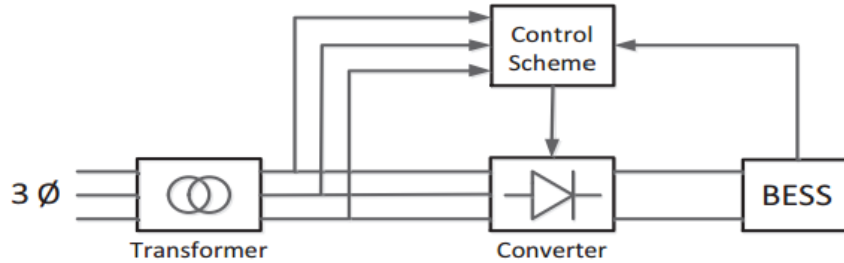


Gambar 11. *Direct drive synchronous generators* [13]

## 2.4 Baterai Penyimpanan

Pada umumnya, baterai digunakan untuk mengendalikan frekuensi, daya nyata dan meratakan konsumsi beban. Pada penelitian ini baterai digunakan untuk mengendalikan frekuensi yang dapat memberikan kompensasi daya aktif dalam

waktu singkat. Gambar 12. berikut merupakan skematik struktur BESS (*Battery Energy Storage System*).

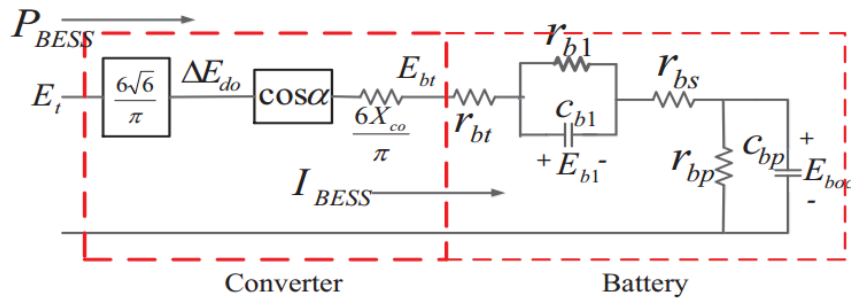


Gambar 12. Skematik struktur BESS (Battery Energy Storage System) [14]

Gambar 12. skematik struktur BESS diatas, didapatkan output tegangan DC berikut:

$$E_{do} = \frac{6\sqrt{6}}{\pi} E_t \tag{5}$$

Dimana  $E_t$  adalah tegangan AC antara *line to neutral* ditunjukkan pada gambar 13. berikut ini [14]



Gambar 13. Rangkaian ekuivalen dari BESS [14]

Baterai pada saat kondisi normal berlaku sebagai beban di sistem, kemudian pada saat sistem mengalami penurunan frekuensi akibat bertambahnya beban secara tiba-tiba ataupun hilangnya pembangkit dari sistem baterai berlaku sebagai pembangkit atau penyuplai daya pada sistem. Kebutuhan daya pada sistem agar terpenuhi, daya minimal baterai dapat dihitung dengan pendekatan persamaan (4) berikut ini:

$$\Delta P(t) = \Delta f(t) \cdot k_{grid} \quad (6)$$

Dimana  $k_{grid}$  adalah parameter yang mempresentasikan perubahan frekuensi saat beban berubah 1%.

## 2.5 Hubungan Daya dan Frekuensi

Pada sistem tenaga listrik terdapat prinsip keseimbangan, dimana jumlah daya yang dibangkitkan harus sama dengan jumlah daya yang digunakan, yang ditulis seperti persamaan (7) berikut ini:

$$P_m = P_e \quad (7)$$

Dimana  $P_m$  adalah daya mekanik dan  $P_e$  adalah daya elektrik

Untuk memelihara kestabilan operasi dari sistem mikrogrid, total daya yang dibangkitkan harus dikontrol dengan efektif dan baik agar total daya yang dibutuhkan oleh beban terpenuhi.

Total daya yang dibangkitkan ( $P_T$ ) pada desain mikrogrid digambar 16. adalah penjumlahan aljabar dari daya pembangkit diesel ( $P_{DG}$ ), turbin angin ( $P_{WT}$ ), solar photovoltaic ( $P_{PV}$ ) dan daya pada baterai ( $P_{BSB}$ ).

$$P_T = P_{DG} + P_{WT} + P_{PV} \pm P_{BSB} \quad (8)$$

Daya baterai akan bernilai positif apabila baterai menyalurkan daya kesistem pada saat terjadi penyimpangan frekuensi sistem dan akan bernilai negatif apabila baterai melakukan pengisian daya (*charging*).

Perbedaan antara total pembangkitan  $P_T$  dan daya yang diminta  $P_D$ , diberikan oleh persamaan (9) berikut ini:

$$\Delta P_e = P_T - P_D \quad (9)$$

Karena frekuensi sistem berubah sebanding dengan variasi daya, perubahan frekuensi sistem ( $\Delta\omega$ ) dihitung dengan:

$$\Delta\omega = \frac{\Delta P_e}{K_{sys}} \quad (10)$$

Dimana  $K_{sys}$  adalah karakteristik frekuensi sistem mikrogrid konstan. Sejak waktu tunda antara variasi frekuensi sistem dan selisih daya, fungsi transfer untuk perubahan frekuensi sistem pada selisih daya per unit dituliskan sebagai berikut:

$$G_{sys}(s) = \frac{\Delta\omega}{\Delta P_e} = \frac{1}{K_{sys}(1+sT_{sys})} = \frac{1}{D+Ms} \quad (11)$$

Dimana  $M$  dan  $D$  berturut-turut adalah ekuivalen dari inersia konstan dan peredam konstan dari sistem mikrogrid.

Apabila daya pada sistem mengalami perubahan, maka frekuensi pada sistem juga akan mengalami perubahan, seperti persamaan berikut:

$$\Delta P = \frac{d\omega}{dt} H_{system} \quad (12)$$

Namun, berdasarkan asumsi konservatif, efek dari *governor* dapat diabaikan sehingga frekuensi dinamis dapat diuraikan pada persamaan (13) berikut:

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{2H_{system}} (P_m - P_e) \quad (13)$$

Dimana  $\frac{d\omega}{dt}$  menunjukkan frekuensi angular terhadap waktu,  $H_{system}$  adalah inersia konstan sistem,  $P_m$  adalah daya mekanik,  $P_e$  adalah daya elektrik. Dari persamaan (13) diatas  $\omega=2\pi f$ , frekuensi sistem akan berubah jika daya pada sistem tidak seimbang [15].

### 2.5.1 Turbine Governor Control (TGC)

Turbin-generator pada sistem tenaga beroperasi memutas massa sehingga menyimpan energi kinetik. Apabila beban tiba-tiba meningkat dengan jumlah pembangkit yang sama maka putaran turbin akan mengalami penurunan sehingga menyebabkan penurunan frekuensi pada sistem. Kemudian apabila beban tiba-tiba menurun, maka putaran turbin akan naik. Dari hukum newton dua yang merupakan prinsip dasar dalam dinamika rotor menyatakan

$$J\alpha = T_m - T_e \quad (12)$$

Dimana :

$J\alpha$ = Momen inersi dari rotor ( $\alpha = \frac{d\omega}{dt}$ )

$T_m$  = Torsi mekanik

$T_e$  = Torsi elektrik

$\omega$  = kecepatan sudut perputaran generator

Dengan

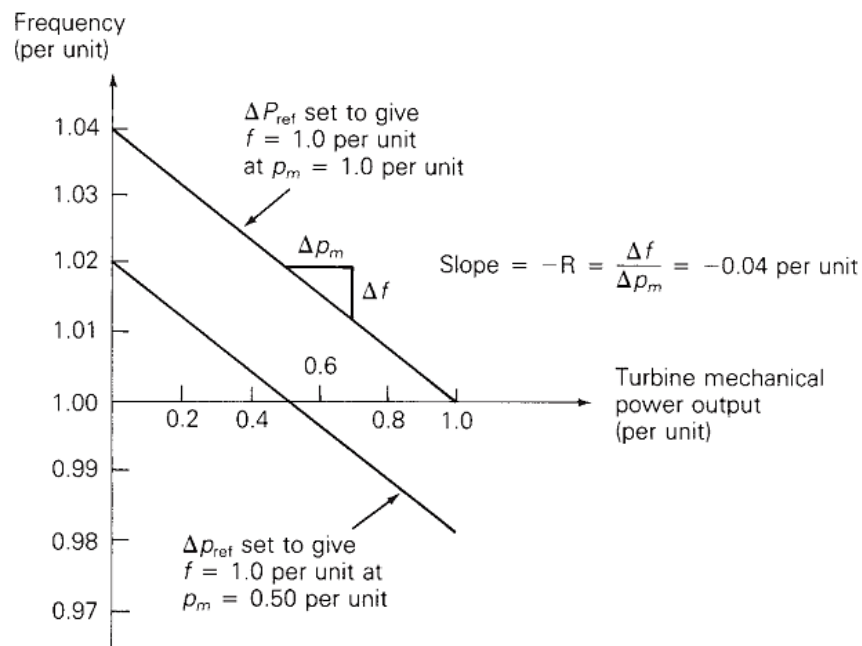
$$f = \frac{\omega}{2\pi} \quad (13)$$

Dari persamaan (12) apabila nilai  $T_m$  lebih besar dari  $T_e$  maka tercipta kelebihan torsi sebesar  $J\alpha$  yang menyebabkan timbulnya percepatan rotor sebesar  $\frac{d\omega}{dt}$  sehingga

frekuensi tegangan yang dibangkitkan naik sampai tercapai nilai tertentu, begitu juga sebaliknya [16], sehingga dituliskan sebagai berikut:

- Jika  $T_m - T_e = \Delta T < 0$ , maka  $\frac{d\omega}{dt} < 0$ , sehingga frekuensi akan turun
- Jika  $T_m - T_e = \Delta T > 0$ , maka  $\frac{d\omega}{dt} > 0$ , sehingga frekuensi akan naik

Namun secara tidak langsung penyediaan daya reaktif dapat pula mempengaruhi frekuensi sistem, karena penyediaan daya reaktif mempunyai pengaruh besar terhadap kenaikan tegangan, yang selanjutnya dapat menyebabkan kenaikan beban daya aktif [17]. Hubungan frekuensi dan daya *steady state* untuk turbin generator ditunjukkan pada gambar 14. Berikut



Gambar 14. Hubungan frekuensi dan daya *steady state* untuk turbin generator [16]

Hubungan frekuensi dan daya saat keadaan *steady state* pada kendali turbin generator ditunjukkan pada persamaan (14) berikut ini:

$$\Delta P_m = \Delta P_{ref} - \frac{1}{R} \Delta f \quad (14)$$

Dimana  $\Delta f$  adalah perubahan frekuensi,  $\Delta P_m$  adalah perubahan output daya mekanik pada turbin, dan  $P_{ref}$  adalah perubahan pengaturan daya referensi, serta  $R$  adalah regulasi konstan. Apabila  $\Delta P_{ref}$  tetap,  $\Delta P_m$  berbanding lurus dengan penurunan frekuensi [16].

### BAB III METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan November 2016 – Juli 2017 di Laboratorium Terpadu Teknik Elektro, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Lampung. Dengan penjadwalan aktifitas penelitian yang ditunjukkan pada Tabel 3. berikut ini.

Tabel 3. Penjadwalan Aktifitas Penelitian

| No | Kegiatan                               | Waktu / Bulan |      |      |      |      |      |      |      |
|----|--|---------------|------|------|------|------|------|------|------|
|    |  | Nov           | Des  | Jan  | Feb  | Mar  | Apr  | Mei  | Jun  |
|    |  | 2016          | 2016 | 2017 | 2017 | 2017 | 2017 | 2017 | 2017 |
| 1  | Studi literatur                        | ■             | ■    |      |      |      |      |      |      |
| 2. | Desain diagram alir penelitian         |               | ■    | ■    |      |      |      |      |      |
| 3. | Seminar Proposal                       |               |      | ■    |      |      |      |      |      |
| 4. | Pembuatan program simulasi             |               | ■    | ■    | ■    |      |      |      |      |
| 5. | Uji coba dan pengumpulan data simulasi |               |      |      | ■    |      |      |      |      |



|    |   |  |  |  |  |  |  |  |  |
|----|---|--|--|--|--|--|--|--|--|
| 6. | Penulisan laporan,<br>analisa data, dan<br>pembahasan |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 7. | Seminar hasil   |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 8. | Perbaikan laporan                                     |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 9. | Komprehensif  |  |  |  |  |  |  |  |  |

### 3.2 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu:

1. Satu unit laptop dengan spesifikasi Intel Core i5, prosesor 2.53GHz, dan sistem operasi Windows 7 Premium 64 bit sebagai media perancangan dan pengujian simulasi.
2. Perangkat lunak MATLAB R2014a sebagai perangkat lunak utama untuk perancangan dan perhitungan.
3. Data-data fungsi alih pembangkit, kontrol, dan respon dinamik mikrogrid

### 3.3. Tahap Penelitian

Berikut ini adalah langkah kerja yang dilakukan untuk menyelesaikan tugas akhir yaitu :

#### 1. Studi Literatur

Studi literatur yaitu mempelajari materi yang berkaitan dengan tugas akhir.

Materi tersebut berasal dari berbagai referensi atau sumber – sumber ilmiah

lainnya seperti jurnal ilmiah, skripsi – skripsi, buku – buku yang terkait dengan tugas akhir..

## 2. Studi Bimbingan

Penulis juga melakukan studi bimbingan yaitu dengan cara berdiskusi dan tanya jawab dengan dosen pembimbing untuk menambah wawasan dan menyelesaikan kendala yang terjadi saat melaksanakan tugas akhir.

## 3. Pengambilan dan Pengolahan Data

Pada tahap ini, penulis melakukan pengambilan data yang nantinya akan diolah dan dianalisa menggunakan perangkat lunak. Data yang akan digunakan yaitu :

1. *Transfer function* pada setiap peralatan pada mikrogrid seperti mesin diesel, solar sel, turbin angin, inverter, dan baterai.
2. Diagram blok masing-masing peralatan dalam mikrogrid.
3. Melakukan percobaan ukuran *bulk storage battery*.
4. Variasi jumlah beban dan variasi jumlah pembangkit.

Kemudian data tersebut akan diolah menggunakan program *simulink* MATLAB.

## 4. Pembuatan Laporan

Tahap ini berfungsi untuk menuliskan hasil yang telah didapat dan sebagai sarana pertanggungjawaban terhadap penelitian yang telah dilakukan. Laporan dibagi kedalam dua tahap, yaitu laporan awal yang digunakan untuk seminar usul dan laporan akhir yang digunakan untuk seminar hasil.

### 3.4 Hubungan frekuensi pada beban terhadap daya pada generator dan baterai pada sistem mikrogrid

Pada sistem mikrogrid hubungan daya pada generator dan baterai ditentukan oleh persamaan putaran rotor dan persamaan ayunan (*swing*). Persamaan putaran rotor ditunjukkan pada persamaan berikut ini:

$$N = \frac{120f}{p} \quad (15)$$

Dimana:

N = Jumlah putaran rotor

f = frekuensi

p = kutub

Maka,

$$f = \frac{N \cdot p}{120} \quad (16)$$

Dari persamaan (16) frekuensi sebanding dengan jumlah putaran rotor

$$f \approx N \quad (17)$$

Karena  $\omega = 2\pi f$  ;  $f = \frac{\omega}{2\pi}$ , persamaan (16) menjadi:

$$\frac{\omega}{2\pi} = \frac{N \cdot p}{120}$$

$$\frac{\omega}{360} = \frac{N \cdot p}{120}$$

$$\frac{\omega}{3} = N \cdot p$$

$$\omega = 3N.p \quad (18)$$

Kemudian, persamaan ayunan (*swing*) ditunjukkan pada persamaan (19) berikut ini:

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{H_{system}} (P_m - P_e) \quad (19)$$

Dimana:

$\omega$  = Kecepatan angular rotor

$H_{system}$  = Inersia pembangkit

$P_m$  = Daya mekanik

$P_e$  = Daya elektrik

Maka,

$$\int d\omega = \int \frac{1}{H_{system}} (P_m - P_e) dt$$

$$\omega(t) = \frac{1}{H_{system}} (P_m - P_e) \int dt$$

$$\omega(t) = \frac{1}{H_{system}} (P_m - P_e)t$$

$$\omega = \frac{1}{H_{system}} (P_m - P_e) \quad (20)$$

Karena  $\frac{1}{H_{system}}$  adalah konstanta yang mempunyai nilai tetap  $\frac{1}{H_{system}} = k$ ; maka

$$\omega = k.(P_m - P_e)$$

$$\omega = k.(\Delta P) \quad (20)$$

Dari persamaan (18), maka persamaan (20) menjadi

$$3N.p = k.(\Delta P) \quad (21)$$

Ketika sistem dengan baterai, maka persamaan (21) menjadi seperti dibawah ini

$$3N.p = k. (\Delta P) \pm P_{baterai} \quad (22)$$

Karena nilai 3;p;k tetap, maka persamaan (22) disederhanakan menjadi

$$N = (\Delta P) \pm P_{baterai}$$

$$N = (P_m - P_e \pm P_{baterai}) \quad (23)$$

Pada persamaan (18)  $f \approx N$  ; sehingga persamaan dinamis pada sistem mikrogrid dengan baterai yaitu pada persamaan (24) berikut ini:

$$f (t)(P_m - P_e \pm P_{baterai} t) \quad (24)$$

### 3.5 Skenario Simulasi

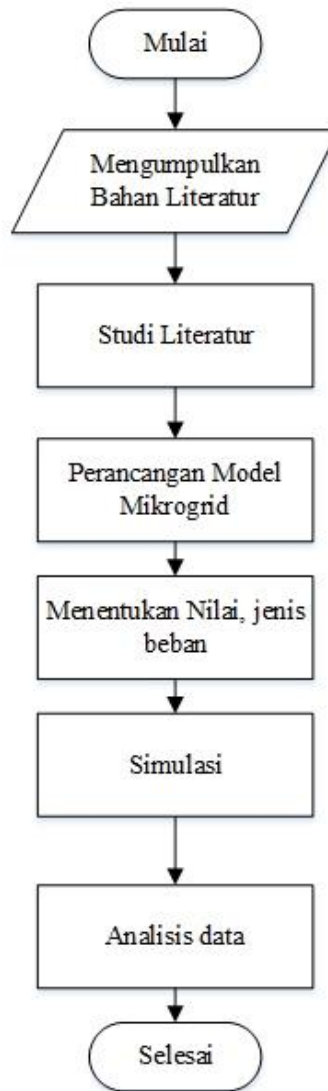
Pada penelitian ini terdapat beberapa skenario percobaan, yaitu sebagai berikut:

1. Sistem hanya terdiri dari *grid* dan beban dengan percobaan sebagian beban dilepas dari sistem
  - i. Menggunakan beban  $Z = R$  dengan percobaan beban 1.5 MW dilepas dari jumlah total beban 2 MW
    - a. Tanpa baterai
    - b. Dengan baterai
  - ii. Menggunakan beban  $Z = R \pm jx$  dengan percobaan beban  $0.6 - j0.36$  MVA dari jumlah total beban  $0.8 - j0.48$  MVA
    - a. Tanpa baterai
    - b. Dengan baterai

2. Mikrogrid terhubung ke *grid* dengan percobaan sebagian beban dilepas dari sistem
  - i. Menggunakan beban  $Z = R$  dengan percobaan beban 1.5 MW dilepas dari jumlah total beban 2 MW
    - a. Tanpa baterai
    - b. Dengan baterai
  - ii. Menggunakan beban  $Z = R \pm jX$  dengan percobaan beban  $0.6 - j0.36$  MVA dari jumlah total beban  $0.8 - j0.48$  MVA
    - a. Tanpa baterai
    - b. Dengan baterai
3. Mikrogrid terhubung ke *grid* dengan percobaan pembangkit *PV Array* 100 kW dilepas dari sistem
  - i. Menggunakan beban  $Z = R$ 
    - a. Tanpa baterai
    - b. Dengan baterai
  - ii. Menggunakan beban  $Z = R \pm jX$ 
    - a. Tanpa baterai
    - b. Dengan baterai

### 3.6 Diagram Alir Penelitian

Gambar 15. berikut merupakan diagram alir penelitian ini



Gambar 15. Diagram alir penelitian

### 3.7 Hasil Yang Diharapkan

Hasil yang diharapkan pada penelitian ini adalah didapatkan frekuensi sistem mikrogrid sesuai atau mendekati nilai nominal yaitu 50Hz dengan toleransi  $\pm 5\%$  setelah terjadi penyimpangan akibat hilangnya pembangkit ataupun kondisi beban yang bervariasi.



## **BAB VI. KESIMPULAN DAN SARAN**

### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan, maka kesimpulan yang dapat diambil yaitu:

1. Sistem mikrogrid dengan baterai mempunyai frekuensi lebih stabil dibandingkan dengan sistem yang tanpa baterai pada saat terjadi perubahan jumlah beban dan pelepasan salah satu pembangkit.
2. Frekuensi pada *grid* tanpa mikrogrid saat terjadi perubahan jumlah beban lebih baik dibandingkan dengan *grid* dengan mikrogrid.
3. Secara tidak langsung pembangkit terbarukan pada mikrogrid seperti turbin angin dan *PV Array* pada mikrogrid juga ikut menyumbang masalah ketidakstabilan frekuensi sistem.

## 5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya yaitu dapat menerapkan *automatic load shedding* pada sistem mikrogrid dan juga data yang diterapkan disimulasi adalah data aktual pada daerah yang menggunakan sistem mikrogrid terhubung ke grid atau mode *isolated*, sehingga hasil simulasi yang didapat mendekati nilai aktual

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. P. N. M. dan D. T. , “Understanding low frequency oscillation in power systems,” The University of Queensland, St. Lucia .
- [2] P. Kundur, *Power System Stability And Control*, New York: McGraw-Hill, Inc, 1994.
- [3] M. M. Rahman, “Microgrid Frequency Control Using Multiple Battery Energy Storage Systems (BESSs),” Brisbane, Australia, 2015.
- [4] . N. K. M. Z. Khan, M. I. Khan, F. A. dan M. A. , “Load Frequency Control for Hybrid Microgrid using Battery Storage System,” *International Journal of Electrical & Computer Sciences IJECS-IJENS*, vol. 14, no. 03, pp. 26-30, June 2014.
- [5] E. Center, “Energy Center,” [Online]. Available: <https://energycenter.org/self-generation-incentive-program/business/technologies/microgrid>. [Diakses 21 pukul 12.57 wib November 2016].

- [6] T. D. Atmaja dan D. . R. Saleh, "Cloud Computing untuk Mendukung Aplikasi Smart Grid," Konferensi Teknologi Informasi dan Komunikasi untuk Indonesia, Bandung, 14-15 Juni 2011.
- [7] Y. Z. H. S. N. Y. K. K. dan C. C. .. L. , "An Interaction Problem of Distributed Generators Installed in a MicroGrid," IEEE International Conference on Electric Utility Deregulation, Restructuring and Power Technologies (DRFT2004), Hong Kong, April 2004.
- [8] B. P. d. P. Teknologi, Teknologi Model Smart Microgrid Untuk Integrasi Pembangkit Energi Terbarukan, Jakarta: Bidang Rekayasa Sistem Pusat Teknologi Konversi dan Konservasi Energi (PTKKE), 2012.
- [9] H. Saadat, Power System Analysis; Hal.529, New York: McGraw Hill, 1999.
- [10] T. K. dan Y. F. , "Microgrid System for Isolated Islands," *Fuji Electric Review*, vol. 57, no. 4, pp. 125-130.
- [11] A. K. Singh, s. C. dan Y. K. Nitish, "Load frequency control in Microgrid," *International Journal of Research in Computer and Communication Technology*, vol. 2, no. 9, pp. 680-684, September -2013.
- [12] T. Penyusun, "Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Diesel," Universitas Sumatera Utara, Medan.
- [13] F. Mohamed, "Microgrid Modelling And Simulation," Helsinki University of Technology Control Engineering Laboratory, Helsinki, 2006.

- [14] T. K. Y. . Q. dan Y. M. , “Battery Energy Storage System Size Optimization in Microgrid using Particle Swarm Optimization,” *5th IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Europe (ISGT Europe)*, pp. 1-6, 2014.
- [15] P. M. A. dan M. M. , “A low-order system frequency,” *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 5, no. 4, pp. 720-729, August 1990.
- [16] J. G. M. S. S. dan T. J. O. , *Power System Analysis and Design*, Fifth Edition, S, Stamford: Cengage Learning, 2012.
- [17] Zuhail, *Dasar Tenaga Listrik Dan Elektronika Daya*, Jakarta: Graha media.
- [18] S. Heier, *Grid Integration of Wind Energy Conversion Systems*, John Wiley & Sons Ltd, 1998.