

**ANALISA KESETABILAN FREKUENSI PADA SISTEM PEMBANGKIT
TENAGA LISTRIK MENGGUNAKAN *LOAD FREQUENCY CONTROL*
(LFC) PADA SISTEM IEEE 14 BUS MENGGUNAKAN MATLAB
*SIMULINK***

*ANALYSIS OF FREQUENCY STABILITY IN ELECTRIC POWER GENERATION
SYSTEMS USING LOAD FREQUENCY CONTROL (LFC) ON IEEE 14 BUS
SYSTEMS USING MATLAB SIMULINK*

Skripsi

Untuk Memenuhi Sebagai Persyaratan
Mencapai Derajat Sarjana S-1

Disusun Oleh :

**I WAYAN SUDANA
19315025**

*Ace Cetele
20/2023
11*

NOVIA UTAMI PUTRI



**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK DAN ILMU KOMPUTER
UNIVERSITAS TEKNOKRAT INDONESIA
BANDAR LAMPUNG
2023**

*Ace Revisi
16/2023
11*

EKA PRANITA, M.T

[Signature]

11-23

LEMBAR PERSETUJUAN

Skripsi

**ANALISA KESETABILAN FREKUENSI PADA SISTEM PEMBANGKIT
TENAGA LISTRIK MENGGUNAKAN *LOAD FREQUENCY CONTROL (LFC)*
PADA SISTEM IEEE 14 BUS MENGGUNAKAN *MATLAB SIMULINK***

Yang diajukan Oleh :

I Wayan Sudana

19315025

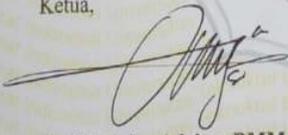
Telah disetujui

Tanggal : 17 November 2023

Mengetahui :

Mengetahui,
Program Studi Teknik Elektro
Ketua,

Disetujui,
Pembimbing,


Qadhli Jafar Adrian, BMM.,M.I.T.
NIK. 022 16 10 01


Novia Utami Putri S.T.,M.M.,M.T
NIK. 022 13 09 07

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi

ANALISA KESETABILAN FREKUENSI PADA SISTEM PEMBANGKIT TENAGA LISTRIK MENGGUNAKAN *LOAD FREQUENCY CONTROL (LFC)* PADA SISTEM IEEE 14 BUS MENGGUNAKAN *MATLAB SIMULINK*

Dipersiapkan dan disusun Oleh :

I Wayan Sudana

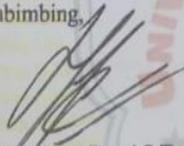
19315025

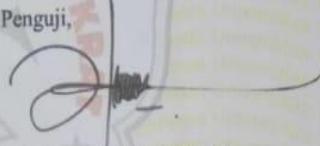
Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji

Pada Tanggal : 11 November 2023

Pembimbing,

Penguji,


Novia Utami Putri S.T.,M.M.,M.T
NIK. 022 13 09 07


Elka Pranita, S.Pd.,M.T
NIK. 022 22 02 01

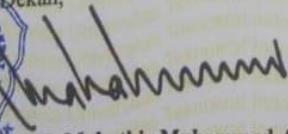
Skripsi ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan

Untuk memperoleh gelar sarjana

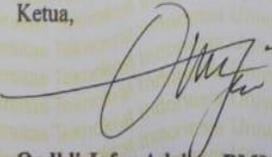
Tanggal 11 November 2023



Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer,
Dekan,


Dr. H. Mahathir Muhammad, SE.,MM.
NIK. 023 05 00 09

Program Studi Teknik Elektro,
Ketua,


Qadhli Jafar Adrian, BMM., M.I.T.
NIK. 022 16 10 01

LEMBAR PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : I Wayan Sudana
NPM : 19315025
Program Studi : Teknik Elektro

Dengan ini menyatakan bahwa tugas akhir :

Judul : Analisa Kesetabilan Frekuensi Pada Sistem Pembangkit Tenaga Listrik Menggunakan *Load Frequency Control (Lfc)* Pada Sistem Ieee 14 Bus *Matlab Simulink*

Pembimbing : Novia Utami Putri S.T M.M, M.T

Belum pernah di ajukan untuk diuji sebagai persyaratan untuk memperoleh gelar akademik pada berbagai tingkatan di universitas/ perguruan tinggi manapun. Tidak ada bagian dalam skripsi ini yang di publikasikan oleh pihak lain, kecuali bagian yang di gunakan sebagai referensi, berdasarkan kaidah penulisan ilmiah yang benar. Apabila dikemudian hari ternyata laporan akhir yang saya tulis terbukti hasil saduran/plagiat, maka saya akan bersedia menanggung segala resiko yang akan saya terima.

Demikian pernyataan ini di buat dengan sebenar-benarnya.

Bandar Lampung, 11 November 2023

Yang menyatakan



I Wayan Sudana

Npm : 19315025

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas
Teknokrat Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : I Wayan Sudana
NPM : 19315025
Program Studi : Teknik Elektro

Jenis karya : Skripsi/Tesis

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada
Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Teknokrat Indonesia. **Hak Bebas
Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya
yang berjudul :

Analisa Kestabilan Frekuensi Pada Sistem Pembangkit Tenaga Listrik
Menggunakan *Load Frequency Control (Lfc)* Pada Sistem IEEE 14 Bus.

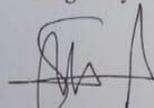
Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti
Noneksklusif ini Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Teknokrat
Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk
pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama
tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilih Hak
Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya

Dibuat di : Bandar Lampung

Tanggal : 11 November 2023

Yang Menyatakan,



I Wayan Sudana

Npm. 19315025

KATA PENGANTAR

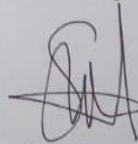
Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmatNya, penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar sarjana pada Program Studi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Teknokrat Indonesia.

Penulis menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikan laporan ini. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. H. M. Nasrullah Yusuf, S.E., M.B.A., selaku Rektor Universitas Teknokrat Indonesia.
2. Bapak H. Mahatir Muhammad, S.E., M.M., selaku Dekan Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Teknokrat Indonesia.
3. Bapak Qadhli Jafar Adrian, BMM., MIT., selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Teknokrat Indonesia.
4. Ibu Novia Utami Putrsi S.T.,M.M., M.T selaku pembimbing yang telah meluangkan waktunya untuk membimbing penulis menyelesaikan skripsi ini.
5. Ibu Elka Pranita, S.Pd.,M.T., selaku penguji.
6. Keluarga tercinta yang selalu memberikan semangat, doa dan dukungan moral serta dukungan materil.

Ahir kata, penulis berharap bahwa Tuhan Yang Maha Esa akan memberkati semua yang telah memberikan bantuan dan semoga skripsi ini memberikan kontribusi yang berarti untuk perkembangan ilmu.

Bandar Lampung, 11 November 2023



Penulis

I Wayan Sudana

HALAMAN PERSEMBAHAN

Om Swastyastu

Atas *asung kerta wara nugraha* Ida Sang Hyang Widhi Wasa. Akhirnya penulis bisa menyelesaikan skripsi ini dan keberhasilan ini merupakan hasil dari kerja keras, kesabaran dan doa dari orang-orang yang berada disekeliling saya dengan ketulusan dan keikhlasan, sebagai ungkapan rasa sayangku kepada mereka semua maka saya persembahkan karya ini kepada :

1. Kedua orang tua saya yang sangat saya sayangi dan cintai Ibu Ni Nyoman Sriyani dan Bapak I Wayan Merte yang telah merawat saya, mendidik saya dengan sangat penuh kasih sayang, serta kerja keras yang telah engkau berikan untuk meningkatkan kualitas Pendidikan anak mu ini. serta doa motivasi dan pikiran yang telah di berikan kepada saya hingga anakmu bisa sampai dititik ini untuk mencapai gelar sarjananya yang pertama.
2. Kedua Saudara Perempuan saya Ni Kadek Erwati dan Komang Astini yang telah memberikan semangat dan selalu membantu saya.
3. Kepada keluarga besar saya yang telah memberikan dorongan dan doa dalam perjalanan perkuliah saya.
4. Sahabat-sahabat saya yang tersayang yang selalu memberikan semangat agar dapat menyelesaikan skripsi ini terkhusus sahabat saya penghuni kosan ultramen dan sahabat susah bareng I Gede Ariyoga A.
5. Bapak dan ibu Dosen Universitas Teknokrat Indonesia serta pembimbing skripsi yang telah memberikan motivasi, semangat dan arahan dalam penyusunan skripsi ini.
6. Kakak saya I Gede Arya Darmawan S.T dan teman-teman dikontrakan syariah terimakasih atas bimbinganya dan doanya
7. Teman -temen *Nurfidi Lover's* terimakasih atas dukunganya
8. Almamater Universitas Teknokrat Indonesia. Sang Juara
9. Serta Wanita-wanita yang tidak berhasil saya jadikan pacar dimasa Pendidikan saya menjadi motifasi saya untuk menyelesaikan skripsi dan sukses.

MOTTO

Aristoteles : Mendidik pikiran tanpa mendidik hati bukanlah, Pendidikan sama sekali.

Plato : Orang bijak berbicara karena mereka mempunyai sesuatu untuk dikatakan, orang bodoh berbicara karena mereka ingin mengatakan sesuatu.

“kemampuan untuk beradaptasi dengan keadaan yang berubah dan tetap fleksibel adalah kunci untuk mencapai kesuksesan dan kebahagiaan”

Socrates : Cobalah dulu, baru bercerita. Pahami dulu, baru menjawab. Pikirkan dulu, baru berkata. Dengarlah dulu,, baru beri penilaian.

Berkerjalah dulu, baru berharap.

“Maka dari itu selesaikan dulu apa yang kamu mulai baru pergi dari zona itu dan melanjutkan mencari jati diri serta menentukan masa depanmu sendiri”

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
LEMBAR PERNYATAAN	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR TABEL.....	vi
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR LAMPIRAN	vi
ABSTRAK.....	vi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Hipotesis Penelitian.....	4
1.7 Sistematik Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Peneliti Terdahulu	5
2.2 Sistem Tenaga Listrik.....	8
2.3 Kestabilan Sistem Tenaga Listrik	10
2.4 Kestabilan Frekuensi	13
2.5 Momen Inersia.....	14
2.6 <i>Load Frequency Control (LFC)</i>	18
2.7 IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) 14 BUS	23
2.8 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).....	24
2.8.1 Cara Kerja PLTS.....	24
2.9 Pembangkit Listrik Tenaga Angin atau Bayu (PLTB).....	25

2.9.1	Cara Kerja (PLTB)	25
BAB III METODE PENELITIAN		27
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian.....	27
3.2	Alat dan Bahan Penelitian	27
3.3	Prosedur Penelitian	27
3.4	Diagram Alir.....	32
3.5	Jadwal Penelitian.....	33
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		34
4.1	Pengujian Pemodelan Sistem IEEE 14 Bus Tanpa Menggunakan LFC Dan Pembangkit Energi Terbarukan.....	34
4.1.1	Parameter Sistem.....	35
4.1.2	Hasil Pengujian Sistem IEEE 14 BUS Pada Bus 1 Sampai Dengan Bus 14	36
4.1.3	Kesimpulan Hasil pengujian dari simulasi bus 1 sampai dengan Bus 14	46
4.2	ANALISA PEMODELAN SISTEM PEMBANGKIT IEEE 14 BUS YANG TERINTEGRASI DENGAN PEMBANGKIT LISTRIK ENERGI TERBARUKAN (PLTS DAN PLTB)	47
4.2.1	Parameter Sistem.....	47
4.2.2	Hasil Simulasi Dari Sistem IEEE 14 BUS Yang Terintegrasi Dengan Pembangkit Listrik Energi Terbarukan (PLTS) dan (PLTB).....	49
4.2.3	Kesimpulan Hasil Simulasi Dari Sistem IEEE 14 BUS Yang Terintegrasi Dengan Pembangkit Energi Terbarukan (PLTS) & (PLTB).....	59
4.3	ANALISA PEMODELAN SISTEM PEMBANGKIT IEEE 14 BUS YANG TERINTEGRASI DENGAN PEMBANGKIT LISTRIK ENERGI TERBARUKAN (PLTS dan PLTB) DENGAN SISTEM KONTROL FREKUENSI, <i>LOAD FREQUENCY CONTROL</i> (LFC).....	60
4.3.1	Parameter sistem	61
4.3.2	Hasil Simulasi Dari Sistem IEEE 14 BUS Yang Terintegrasi Dengan Pembangkit Energi Terbarukan (PLTS) dan (PLTB) Dengan LFC.....	62

4.3.3	Kesimpulan Hasil Simulasi Dari Sistem IEEE 14 BUS Yang Terintegrasi Dengan Pembangkit Energi Terbarukan (PLTS) & (PLTB) Dengan LFC	72
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		73
5.1	Kesimpulan	73
5.2	Saran	74
DAFTAR PUSTAKA		75
DAFTAR LAMPIRAN		76

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Jadwal Penelitian.....	32
Tabel 4. 1 Nilai Parameter Pembangkit IEEE 14 BUS	35
Tabel 4. 2 Nilai Parameter Beban	36
Tabel 4. 3 Hasil Simulasi Dari Bus 1 sampai dengan Bus 14.....	46
Tabel 4. 4 Nilai Parameter Pembangkit IEEE 14 BUS	48
Tabel 4. 5 Nilai Parameter Beban	49
Tabel 4. 6 Hasil Simulasi Dari Bus 1 sampai dengan Bus 14	59
Tabel 4. 7 Nilai Parameter Pembangkit IEEE 14 BUS	62
Tabel 4. 8 Nilai Parameter Beban.....	62
Tabel 4. 9 Hasil Simulasi Dari Bus 1 sampai dengan Bus 14.....	72

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Sistem Tenaga Listrik.....	8
Gambar 2. 2 Pembagian Level Tegangan Listrik (Suripto et al., n.d.2016).....	9
Gambar 2. 3 Klasifikasi Kestabilan Sistem Tenaga Listrik (Humamuddin.2018)	13
Gambar 2. 4 Momen inersia.....	15
Gambar 2. 5 Kontrol PID.....	22
Gambar 2. 6 Sistem daya IEEE 14-bus (Boudreaux, n.d.).....	23
Gambar 2. 7 Cara kerja PLTS	24
Gambar 2. 8 Skema cara kerja PLTB.....	25
Gambar 3. 1 Pemodelan sistem IEEE 14 Bus.....	28
Gambar 3. 2 pemodelan sistem IEEE 14 Bus dengan PLTS dan PLTB	29
Gambar 3. 3 Pemodelan Kontrol pada pembangkit konvensional dan energi terbarukan.....	30
Gambar 3. 4 <i>Block diagram of automatic load frequency control</i>	31
Gambar 3. 5 Diagram alir penelitian.....	32
Gambar 4. 1 Sistem IEEE 14 BUS	28
Gambar 4. 2 Hasil pengujian dari bus 1.....	36
Gambar 4. 3 Hasil pengujian dari bus 2.....	37
Gambar 4. 4 Hasil pengujian dari bus 3.....	38
Gambar 4. 5 Hasil pengujian dari bus 4.....	38
Gambar 4. 6 Hasil pengujian dari bus 5.....	39
Gambar 4. 7 Hasil pengujian dari bus 6.....	40
Gambar 4. 8 Hasil pengujian dari bus 7.....	40
Gambar 4. 9 Hasil pengujian dari bus 8.....	41
Gambar 4. 10 Hasil pengujian dari bus 9.....	42
Gambar 4. 11 Hasil pengujian dari bus 10.....	42
Gambar 4. 12 Hasil pengujian dari bus 11.....	43
Gambar 4. 13 Hasil pengujian dari bus 12.....	44
Gambar 4. 14 Hasil pengujian dari bus 13.....	44
Gambar 4. 15 Hasil pengujian dari bus 14.....	45

Gambar 4. 16 Sistem IEEE 14 BUS yang terintegrasi dengan pembangkit listrik energi terbarukan. (PLTS) dan (PLTB)	47
Gambar 4. 17 Hasil pengujian pada bus 1	49
Gambar 4. 18 Hasil pengujian pada bus 2	50
Gambar 4. 19 Hasil pengujian pada bus 3	51
Gambar 4. 20 Hasil pengujian pada bus 4	51
Gambar 4. 21 Hasil pengujian pada bus 5	52
Gambar 4. 22 Hasil pengujian pada bus 6	53
Gambar 4. 23 Hasil pengujian pada bus 7	53
Gambar 4. 24 Hasil pengujian pada bus 8	54
Gambar 4. 25 Hasil pengujian pada bus 9	55
Gambar 4. 26 Hasil pengujian pada bus 10	55
Gambar 4. 27 Hasil pengujian pada bus 11	56
Gambar 4. 28 Hasil pengujian pada bus 12	57
Gambar 4. 29 Hasil pengujian pada bus 13	57
Gambar 4. 30 Hasil pengujian pada bus 14	58
Gambar 4. 31 Pemodelan IEEE 14 BUS dan pembangkit energi terbarukan dengan LFC	60
Gambar 4. 32 Hasil pengujian pada bus 1	62
Gambar 4. 33 Hasil pengujian pada bus 2	63
Gambar 4. 34 Hasil pengujian pada bus 3	64
Gambar 4. 35 Hasil pengujian pada bus 4	64
Gambar 4. 36 Hasil pengujian pada bus 5	65
Gambar 4. 37 Hasil pengujian pada bus 6	66
Gambar 4. 38 Hasil pengujian pada bus 7	66
Gambar 4. 39 Hasil pengujian pada bus 8	67
Gambar 4. 40 Hasil pengujian pada bus 9	68
Gambar 4. 41 Hasil pengujian pada bus 10	68
Gambar 4. 42 Hasil pengujian pada bus 11	69
Gambar 4. 43 Hasil pengujian pada bus 12	70
Gambar 4. 44 Hasil pengujian pada bus 13	70
Gambar 4. 45 Hasil pengujian pada bus 14	71

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 2.....	77
Lampiran 3.....	78
Lampiran 4.....	78
Lampiran 5.....	80
Lampiran 6.....	81

ABSTRAK

Pada dasarnya stabilitas sistem tenaga listrik berhubungan dengan kemampuan sistem untuk mencapai titik keseimbangan atau sinkronisasi setelah mengalami gangguan yang besar sistem kehilangan kestabilan karena gangguan terjadi diatas kemampuan sistem. penyimpangan variabel akibat proses *grid* pada sistem tenaga listrik terintegrasi, khususnya frekuensi saat sistem tenaga pembangkit konvensional dan adanya penambahan pembangkit listrik energi terbarukan, menyebabkan pendistribusian energi pada pembangkit tenaga listrik tidak stabil, begitu juga dengan frekuensi yang dihasilkan, frekuensi yang tidak stabil menyebabkan menurunnya kehandalan peralatan listrik. Ketidakstabilan frekuensi bisa disebabkan oleh berbagai macam sebab seperti jauhnya jarak pendistribusian dan penambahan beban ataupun pembangkit lain. Kesetabilan nilai frekuensi harus selalu dijaga agar keluaran daya listrik pada sistem bisa tetap optimal, untuk mengatasi hal tersebut membutuhkan sistem kontrol *Load Frequency Control*, yang digunakan untuk memperbaiki dan mengoptimalkan kinerja pembangkit khususnya daya dan frekuensi yang dihasilkan. *Load Frequency control* sangat diperlukan untuk sistem tenaga listrik. Berdasarkan hasil dari ketiga percobaan kondisi dari sistem IEEE 14 BUS tanpa pembangkit listrik energi terbarukan, IEEE 14 BUS yang terintegrasi dengan pembangkit listrik energi terbarukan dan IEEE 14 BUS yang terintegrasi dengan pembangkit listrik energi terbarukan dan *Load Frequency Control* mendapatkan respon berbeda, hasil dari ketiga percobaan yang melibatkan sistem IEEE 14 BUS menunjukkan bahwa LFC, ketika terintegrasi dengan pembangkit listrik energi terbarukan, memiliki efektivitas yang sangat tinggi dalam mengatasi fluktuasi frekuensi. Sesuai yang diinginkan yaitu 50Hz, dengan rata-rata nilai arus sebesar 2kA dan tegangan 200kVA.

Kata Kunci: Kesetabilan Frekuensi, sistem IEEE 14 BUS, *Load Frequency Control (LFC)*, Matlab *simulink*.

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangkit tenaga listrik merupakan salah satu energi listrik yang sangat bermanfaat bagi kehidupan manusia, ada beberapa jenis pembangkit listrik seperti pembangkit listrik konvensional dan pembangkit listrik energi terbarukan. Pembangkit listrik konvensional merupakan energi konvensional atau energi tak terbarukan semua energi yang ditemukan di alam dengan jumlah yang terbatas. Seperti bahan bakar fosil yaitu batubara, minyak dan gas alam. Salah satu contoh pembangkit listrik konvensional yaitu pembangkit listrik tenaga uap PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap) memanfaatkan bahan bakar alam yang tidak bisa diperbarui seperti batu bara, minyak bumi, dan gas, pembangkit listrik ini menggunakan generator untuk menghasilkan energi listrik. Generator adalah sebuah mesin yang dapat mengubah energi gerak (mekanik) menjadi energi listrik (Mirwan, 2014).

Pembangkit listrik energi terbarukan adalah pembangkit listrik yang berkerja dengan memanfaatkan elemen-elemen alam. Ada beberapa contoh pembangkit listrik energi terbarukan seperti PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya) memanfaatkan sinar cahaya matahari dan PLTB (Pembangkit Listrik Tenaga Bayu) memanfaatkan angin sebagai sumber utama untuk mengkonversi energi listrik. Indonesia salah satu negara dengan jumlah penduduk terbanyak yang setiap tahunnya akan terus bertambah, seiring bertambahnya penduduk di indonesia kebutuhan energi listrik terus meningkat.

Kebutuhan energi listrik merupakan kebutuhan pokok dan terus bertambah setiap tahun, Konsumsi listrik di Indonesia khususnya mencapai 168,38 juta barel setara minyak *BOE (Barrel of Oil Equivalent)* pada 2021. Berdasarkan data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), konsumsi listrik di Indonesia naik 5,82% dibandingkan pada tahun sebelumnya yang sebesar 159,12 juta *BOE (Barrel of Oil Equivalent)* (dataindonesia.id 2022). Untuk memenuhi permintaan kebutuhan listrik maka diperlukannya penambahan pembangkit sebagai salah satu solusi terbaik untuk memenuhi kebutuhan

permintaan listrik tersebut, penambahan pembangkit sendiri dapat berupa penambahan Pembangkit listrik konvensional dan pembangkit listrik energi terbarukan atau dengan cara *hybrid* namun hal ini akan mempengaruhi kestabilan sistem tenaga listrik.

Pada dasarnya stabilitas sistem tenaga listrik berhubungan dengan kemampuan sistem untuk mencapai titik keseimbangan atau sinkronisasi setelah mengalami gangguan yang besar sistem kehilangan kestabilan karena gangguan terjadi diatas kemampuan sistem. penyimpangan variabel akibat proses *grid* pada sistem tenaga listrik terintegrasi, khususnya frekuensi saat sistem tenaga pembangkit konvensional dan adanya penambahan pembangkit listrik energi terbarukan, menyebabkan pendistribusian energi pada pembangkit tenaga listrik tidak stabil, begitu juga dengan frekuensi yang dihasilkan, frekuensi yang tidak stabil menyebabkan peralatan listrik tidak dapat berkerja dengan baik atau mengalami kerusakan. Ketidak setabilan frekuensi bisa disebabkan oleh berbagai macam sebab seperti jauhnya jarak pendistribusian dan penambahan beban ataupun pembangkit lain.

Kestabilan nilai frekuensi harus selalu dijaga agar keluaran daya listrik pada sistem bisa tetap optimal, untuk mengatasi hal tersebut membutuhkan sistem kontrol *Load Frequency Control*, yang digunakan untuk memperbaiki dan mengoptimalkan kinerja pembangkit khususnya daya dan frekuensi yang dihasilkan. *Load Frequency control* sangat diperlukan untuk sistem tenaga listrik. dengan frekuensi normal 50-60 Hz jika frekuensi sistem turun di bawah 50 *hertz* atau naik di atas 60 *hertz* maka turbin kemungkinan besar akan rusak sehingga menyebabkan penurunan kinerja generator. (Tsabit Mustarin 2015).

Terdapat beberapa metode untuk mengatasi kestabilan frekuensi seperti kontrol konvensional sampai dengan kontrol moderen. Kontrol konvensional seperti pengontrol integral dan *Proportional Integral* (PI) namun dalam implementasi metode ini hanya bekerja di sistem tenaga satu area, hal tersebut tidak mampu menyelesaikan penyimpangan frekuensi sekala besar, adapun metode kontrol moderen yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah *Load Frequency Control* (LFC). LFC adalah sebuah mekanisme yang digunakan untuk menjaga keseimbangan antar daya yang dihasilkan dari pembangkit

listrik dengan daya yang dibutuhkan sistem, seperti IEEE 14 BUS baik yang tidak terintegrasi pembangkit energi terbarukan maupun yang terintegrasi, sistem kerja LFC mempertahankan kestabilan frekuensi yang dimana LFC bekerja dengan cara memperbaiki nominal standar frekuensi sekala besar seperti sistem tenaga listrik IEEE 14 BUS.

Oleh karena itu peneliti mengangkat topik permasalahan pengoptimalan sistem IEEE 14 BUS terintegrasi pembangkit energi terbarukan dan yang tidak terintegrasi pembangkit energi terbarukan dengan memanfaatkan metode LFC sebagai kontrol utama. Konsep ini merupakan salah satu aspek yang sangat penting dalam pengoperasian sistem tenaga listrik dan juga sistem kontrol, demi terciptanya penyediaan daya yang handal dan memiliki kualitas baik dalam pendistribusian daya ke konsumen.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana memodelkan sistem tenaga menggunakan *Load Frequency Control* pada sistem tenaga IEEE 14 BUS pada *Matlab-Simulink* ?
2. Bagaimana pengaruh penambahan LFC pada kestabilan frekuensi sistem tenaga IEEE 14 BUS ?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Sistem tenaga dalam kondisi *steady state*
2. Parameter sistem tenaga hanya mengambil pada IEEE 14 BUS
3. Menggunakan *software Matlab-Simulink R2021a*
4. Nilai frekuensi yang digunakan 50 Hz
5. Pembangkit listrik energi terbarukan sebagai beban
6. Sistem kontrol (LFC) terletak pada pembangkit energi terbarukan
7. Tidak membahas secara detail mengenai momen inersia

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Menganalisa kestabilan frekuensi terhadap perubahan kondisi beban pada IEEE 14 BUS sistem tenaga.

2. Menganalisa pengaruh LFC pada kestabilan tegangan IEEE 14 BUS sistem tenaga listrik

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang ingin dicapai dalam penelitian ini yaitu:

1. Mengetahui pengaruh frekuensi saat terjadi perubahan kondisi beban pada sistem tenaga
2. Penambahan LFC dapat mempertahankan setabilitas tegangan sistem tenaga listrik

1.6 Hipotesis Penelitian

Ketidakstabilan frekuensi pada sistem tenaga berinersia rendah dapat terjadi saat kebutuhan beban meningkat. Satu upaya yang dilakukan untuk mengatasi ketidaksetabilan frekuensi sistem tenaga berinersia rendah adalah dengan penambahan LFC untuk pengotimalan sistem tegangan listrik.

1.7 Sistematik Penulisan

Sistematika penulisan ini terdiri dari beberapa BAB yaitu:

BAB I PENDAHULUAN

Pada BAB ini menguraikan tentang latar belakang, tujuan, manfaat, batasan masalah, hipotesis dan sistematika penulisan

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada BAB ini dijelaskan secara garis besar tentang teori dasar yang berhubungan dengan penelitian yang dilakukan

BAB III METODE PENELITIAN

Pada BAB ini Memuat langkah-langkah yang di lakukan pada penelitian, di antaranya waktu dan tempat penelitian yang di lakukan

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada BAB ini Bagian ini mengenai hasil penelitian dan membahas terhadap data-data hasil penelitian yang di peroleh

BAB V PENUTUP

Pada BAB ini akan menyimpulkan semua kegiatan dan hasil-hasil yang di peroleh selama proses penelitian serta saran-saran yang sekiranya diperlukan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Peneliti Terdahulu

Setelah peneliti berhasil melakukan penelitian, dari hasil penelitian ada beberapa yang memiliki keterkaitan dengan penelitian yang peneliti lakukan.

Penelitian pertama, dilakukan oleh Bagas Budi Wicaksono dan Trisna Wati (2020) yang berjudul tentang “Kontrol Frekuensi Beban Pada Sistem Tenaga Satu Area Menggunakan Kontrol Integral dan Integral Proporsional” dengan Tujuan dari penelitian tersebut adalah menguji efisiensi kontrol beban dan untuk menstabilkan frekuensi sistem energi listrik yang baik, dengan menggunakan Kontrol integral pada LFC terdiri dari sensor frekuensi dan integrator. Fungsi sensor frekuensi adalah untuk mendeteksi frekuensi kesalahan pada sistem energi ketika terjadi perubahan beban atau lonjakan frekuensi. dan Kontrol Proporsional Integral (PI) menghasilkan dua keluaran sinyal yaitu sinyal kesalahan proporsional dan sinyal kesalahan integral proporsiona. Dengan kesimpulan bahwa kontrol Integral dan kontrol Proporsional Integral (PI) dapat digunakan untuk menstabilkan frekuensi. Respon frekuensi terbaik adalah respon dari kontrol Integral dengan overshoot kecil dan settling time 7,5 detik. “(Wicaksono et al., n.d.2020)

Penelitian kedua, dilakukan oleh Mochamad Andrik dan Mohamad Farul (2018) yang berjudul tentang “Optimasi *Load Frequency Control* (LFC) Pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga *Mikro Hidro* Berbasis *Pid-Anfis*” dalam penelitian ini membahas tentang Pembangkit listrik tenaga *mikro hidro* yang semakin banyak digunakan sebagai alternatif sumber energi listrik, pembangkit listrik tenaga *mikro hidro*. Dengan Permasalahan yang sering terjadi pada sistem pembangkit mikro hidro adalah terjadinya putaran tidak konstan pada generator yang disebabkan oleh perubahan beban yang tersambung, sehingga menyebabkan terjadinya fluktuasi frekuensi pada sistem yang dapat mengakibatkan kerusakan peralatan listrik. Oleh karena itu, penulis tertarik untuk melakukan penelitian dengan judul Penggunaan Metode *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS) Sebagai Pengoptimasi *Load Frequency Control* (LFC) Pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga *Mikro Hidro*. *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System*

(ANFIS) adalah penggabungan mekanisme *fuzzy inference system* yang digambarkan dalam arsitektur jaringan syaraf. dengan kesimpulan dari pada PID_ANFIS, *undershoots* terkecil ($0,05 \times 10^{-5}$) dan *settling time* tercepat (25 detik). Hal ini menunjukkan bahwa dengan model kontrol PID_ANFIS sistem akan lebih cepat merespon dan memperbaiki frekuensi agar tetap konstan. (Andrik, Farul, dan Cahyono 2018)

Penelitian ketiga, dilakukan oleh Erick Sutjiadi dan Soetjipto Soewono (2016) yang berjudul tentang “ Pemodelan Kontrol Frekuensi Beban Dan Strategi Pemutusan Beban Pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas” pada penelitian ini membahas mengenai sistem tenaga listrik dengan pembebanan yang selalu berubah. Dalam pembahasan ini dengan pembangkit listrik tenaga gas merupakan masa berputar yang besar (*large rotating mass*) dimana terdapat dua gaya torsi yang berputar secara berlawanan. Torsi mekanis akan meningkatkan kecepatan berputar sedangkan torsi elektrik dari generator akan memberikan gaya yang berlawanan, oleh karena itu akan didapat kecepatan berputar yang konstan. *GAST* adalah model turbin yang digunakan untuk mensimulasikan response frekuensi terhadap perubahan beban dan sistem tenaga listrik. Dengan perangkat simulasi *Simulink* akan di bangun model kontrol untuk area multi. Pada simulasi kontrol menggunakan kontrol primer (*governor*) dan kontrol sekunder PID. memberikan osilasi transien yang lebih baik untuk respon frekuensi. Simulasi perangkat lunak menggunakan model *GAST*, merupakan model turbin gas yang banyak digunakan dalam analisa sistem ketenagaan. Parameter yang digunakan berdasarkan pada konstanta kontrol turbin gas yang jadi objek penelitian dan juga asumsi yang relevan digunakan untuk studi sistem ketenagaan. Simulasi menggunakan kontrol primer dan kontrol sekunder dan dapat disimpulkan kontrol sekunder (PID) memberikan osilasi transien yang lebih kecil dan waktu *settling* yang lebih baik. (Sutjiadi et al., n.d. 2019).

Penelitian keempat dilakukan oleh T.Bharath Kumar dan M.Uma Vani (2018) yang berjudul “Pengendalian Frekuensi Beban Pada Sistem Power Dua Area Menggunakan Anfis” pada penelitian ini berfokus pada pengendalian frekuensi pada sistem pembangkit dua area. dengan Membandingkan dua metode yaitu metode *Anfis* dan Pengendali proporsional integral (PI).

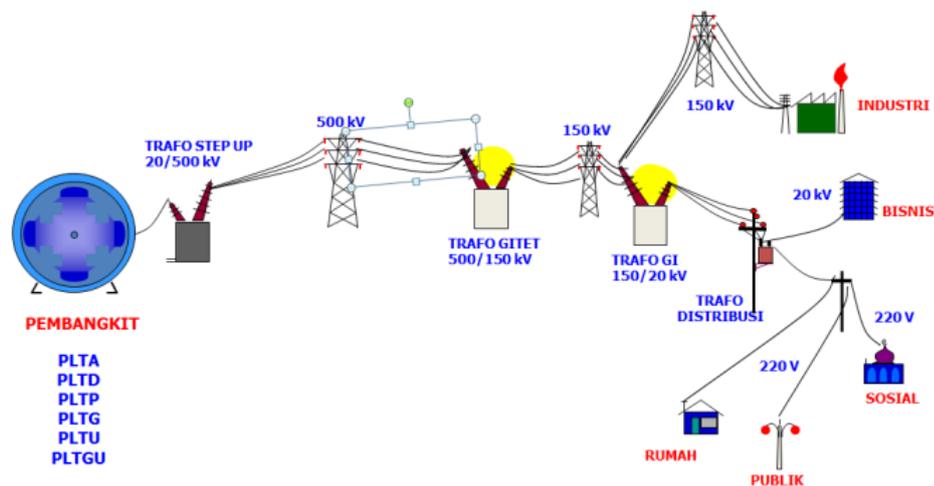
Seperti yang kita ketahui bahwa frekuensi sistem naik ketika beban berkurang jika disimpan pada nol. Demikian pula frekuensi dapat menurun jika beban meningkat. Namun perlu untuk mempertahankan konstanta frekuensi sedemikian rupa. Aliran daya antara garis ikat yang berbeda dijadwalkan-misalnya, area 'i' dapat mengekspor pra-spesifikasi jumlah daya ke area 'J' sambil mengimpor sejumlah daya yang telah ditentukan sebelumnya dari area 'k'. Bagaimanapun itu diharapkan bahwa untuk memenuhi tugas di atas, area 'i' menyerap perubahan bebannya sendiri, yaitu peningkatan pembangkitan untuk memasok beban tambahan di area tersebut atau penurunan pembangkitan ketika permintaan beban di area tersebut mengalami penurunan. Hal ini akan diatasi dengan pengontrolan PI. Dengan kesimpulan Kontrol Frekuensi Beban berbasis *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* diusulkan untuk sistem daya dua area di setiap area kontrol. Hasilnya telah dibandingkan dengan kontroler PI konvensional. Hasil membuktikan bahwa *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* berbasis LFC memberikan respon yang lebih baik dibandingkan dengan kontroler konvensional dalam hal *peak overshoot*, *settling time* dan *steady state error*. Pengontrol ANFIS yang diusulkan tidak hanya sederhana untuk dirancang tetapi juga mudah untuk diimplementasikan. Selain itu kemampuan beradaptasi dengan gangguan membuat pengontrol yang diusulkan lebih efektif.(Bharath Kumar and Uma Vani. 2014).

Penelitian kelima dilakukan oleh Samuel Yunus Yeboah, Sulaiman Nunoo Rajalingam Sakthivelsamy (2021) yang berjudul “Kontrol Frekuensi Beban Otomatis Berbasis Algoritma Pencarian Gravitasi untuk Sistem Tenaga Terinterkoneksi Multi Area” dalam penelitian ini pengontrol *Gravitational Search Algorithm* (GSA) *Proportional-Integral-Derivative* (PID) yang dioptimalkan untuk kontrol sistem daya interkoneksi empat area dari penyimpangan beban dan frekuensi dengan adanya gangguan. GSA diperkenalkan untuk penyetelan parameter pengontrol PI dan PID untuk kontrol frekuensi dalam sistem daya interkoneksi unit tunggal. Metode GSA telah digunakan untuk mendapatkan parameter optimal kontroler dual PI pada sistem tenaga listrik yang saling terhubung dua area. Hasil simulasi menekankan bahwa GSA berbasis PI ganda dianggap unik dalam operasinya dan memberikan redaman yang sangat baik untuk frekuensi dan deviasi daya *tie line* terkait dengan kontroler PI konvensional.

Dengan kesimpulan Kontrol permintaan dan frekuensi adalah langkah ke arah yang benar untuk menekan osilasi yang berasal dari bagian mekanis dan bagian listrik dari sistem tenaga, redaman osilasi yang efisien dapat dicapai dan meningkatkan kemungkinan stabilitas sistem dan dengan demikian meningkatkan stabilitas sistem tenaga secara keseluruhan. Pengontrol PID tradisional dikenal untuk mengendalikan daya yang saling berhubungan. Oleh karena itu, diperlukan desain kontroler yang cepat dan kokoh yang mampu mengendalikan dinamika pada sistem tenaga listrik moderen. Namun pengontrol yang efisien dan tangguh adalah yang memiliki *overshoot* lebih sedikit, waktu penyelesaian tercepat, dan kemampuan meredam osilasi transien secara efektif. Pengontrol GSA-PID menunjukkan semua kualitas ini, karenanya GSA-PID adalah desain LFC terbaik untuk kontrol interkoneksi multi-area yang kompleks.

2.2 Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik adalah suatu sistem yang terdiri dari beberapa komponen berupa pembangkitan, transmisi, distribusi dan beban yang saling berhubungan dan berkerja sama untuk melayani kebutuhan tenaga listrik bagi pelanggan sesuai kebutuhan. Secara garis besar sistem tenaga listrik dapat digambarkan dengan skema seperti pada Gambar 2.1 berikut (Suripto et al., n.d.2016).



Gambar 2. 1 Sistem Tenaga Listrik

Fungsi masing-masing komponen pada Gambar 2.1 secara garis besar adalah sebagai berikut :

1. Pembangkitan merupakan komponen yang berfungsi membangkitkan tenaga

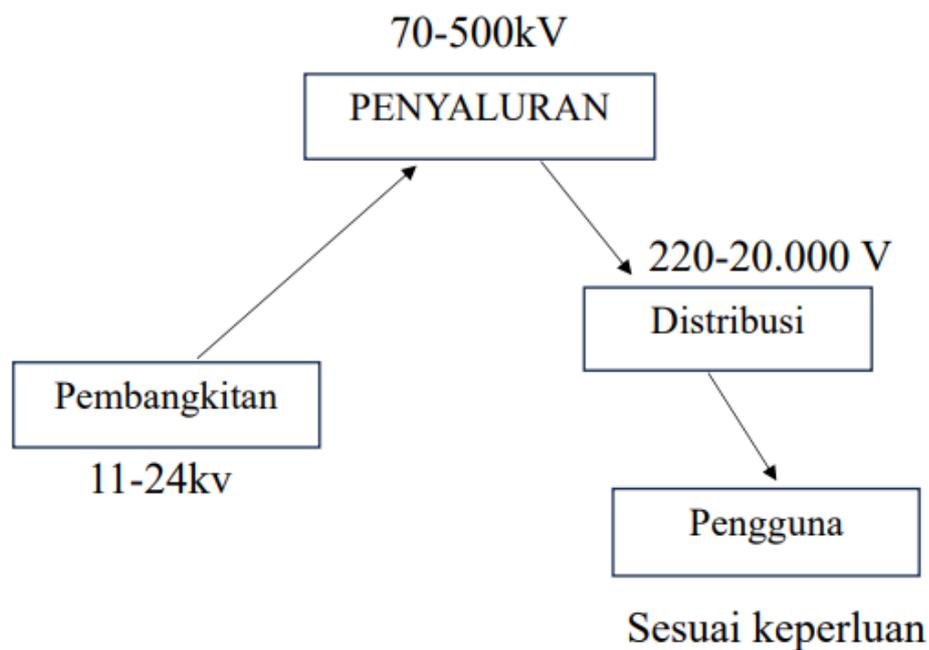
listrik, yaitu mengubah energi yang berasal dari sumber energi lain misalnya: air, batu bara, panas bumi, minyak bumi dan lain-lain menjadi energi listrik.

2. Transmisi merupakan komponen yang berfungsi menyalurkan daya atau energi dari pusat pembangkitan ke pusat beban.

3. Distribusi merupakan komponen yang berfungsi mendistribusikan energi listrik ke lokasi konsumen energi listrik.

4. Beban adalah peralatan listrik di lokasi konsumen yang memanfaatkan energi listrik dari sistem tersebut.

Pada suatu sistem tenaga listrik, tegangan yang digunakan pada masing-masing komponen dapat berbeda-beda sesuai dengan kebutuhannya. Dengan kata lain, setiap komponen pada sistem tenaga listrik mempunyai level tegangan yang berbeda-beda. Pembagian level tegangan dapat dilihat pada Gambar 2.2 berikut ini.



Gambar 2. 2 Pembagian Level Tegangan Listrik (Suripto et al., n.d.2016)

Pada sistem pembangkitan, level tegangan disesuaikan dengan spesifikasi generator pembangkit yang digunakan, biasanya berkisar antara 11 s/d 24 kV. Untuk pembangkit yang berkapasitas lebih besar biasanya menggunakan level tegangan yang lebih tinggi. Hal ini dilakukan agar arus yang mengalir tidak terlalu besar karena untuk kapasitas daya tertentu, besar arus yang mengalir berbanding terbalik dengan tegangannya. Level tegangan pada pembangkit biasanya tidak tinggi,

karena semakin tinggi level tegangan generator, jumlah lilitan generator harus lebih banyak lagi. Lilitan yang lebih banyak mengakibatkan generator menjadi lebih besar dan lebih berat sehingga dinilai tidak efisien. Pada sistem saluran transmisi biasanya digunakan level tegangan yang lebih tinggi. Hal ini karena fungsi pokok saluran transmisi adalah menyalurkan daya, sehingga yang dipentingkan adalah sistem mampu menyalurkan daya dengan efisiensi yang tinggi atau rugi-rugi daya dan turun tegangannya kecil. Upaya yang dilakukan adalah mempertinggi level tegangan agar yang mengalir pada jaringan transmisi 70-500Kv, 220-20.000V Sesuai keperluan 11-24 kV Penyaluran Distribusi Pengguna Pembangkitan lebih kecil.

Level tegangan saluran transmisi lebih tinggi dari tegangan yang dihasilkan generator pembangkit. Tegangan saluran transmisi umumnya berkisar antara 70 s/d 500 kV. Untuk menaikkan tegangan dari level pembangkit ke level tegangan saluran transmisi diperlukan transformator penaik tegangan. Pada jaringan distribusi biasanya menggunakan tegangan yang lebih rendah dari tegangan saluran transmisi. jaringan distribusi yang sering digunakan ada dua macam, yaitu 20 kV untuk jaringan tegangan menengah (JTM) dan 220 V untuk jaringan tegangan rendah (JTR). Dengan demikian diperlukan gardu induk yang berisi trafo penurun tegangan untuk menurunkan tegangan dari saluran transmisi ke tegangan distribusi 20 kV. Diperlukan juga trafo distribusi untuk menurunkan tegangan dari 20 kV ke 220 V sesuai tegangan pelanggan. Level tegangan beban pelanggan menyesuaikan dengan jenis bebannya, misalnya beban industri yang biasanya memerlukan daya yang relatif besar biasanya menggunakan tegangan menengah 20 kV, sedang beban rumah tangga dengan daya yang relatif kecil, biasanya menggunakan tegangan rendah 220 V (Distribusi & Syahputra, n.d.2016)

2.3 Kestabilan Sistem Tenaga Listrik

Suatu sistem tenaga listrik yang baik harus memenuhi beberapa syarat, seperti *Reliability, Quality dan Stability*.

1. *Reliability* adalah kemampuan suatu sistem untuk menyalurkan daya atau energi secara terus menerus.
2. *Quality* adalah kemampuan sistem tenaga listrik untuk menghasilkan besaran-besaran standar yang ditetapkan untuk tegangan dan frekuensi.

3. *Stability* adalah kemampuan dari sistem untuk kembali bekerja secara normal setelah mengalami suatu gangguan.

Dalam sistem tenaga listrik yang baik maka ketiga syarat tersebut harus dipenuhi yaitu sistem harus mampu memberi pasokan listrik secara terus menerus dengan standar besaran untuk tegangan dan frekuensi sesuai dengan aturan yang berlaku dan harus segera kembali normal bila sistem terkena gangguan. Untuk jaringan yang sangat kompleks dimana beberapa pembangkit saling terkoneksi satu sama lain maka keluaran daya elektrik berupa besaran seperti tegangan dan frekuensi haruslah diperhatikan agar tidak ada pembangkit yang kelebihan beban dan pembangkit yang lain bebannya kecil. Sistem tenaga listrik mempunyai variasi beban yang sangat dinamis dimana setiap detik akan berubah-ubah, dengan adanya perubahan ini pasokan daya listrik tetap dan harus dipasok dengan besaran daya yang sesuai, bila pada saat tertentu terjadi lonjakan atau penurunan beban yang tidak terduga maka perubahan ini sudah dapat dikategorikan ke dalam gangguan pada sistem tenaga listrik yakni kondisi tidak seimbang antara pasokan listrik dan permintaan energi listrik akibat adanya gangguan baik pada pembangkit ataupun pada sistem transmisi sehingga mengakibatkan kerja dari pembangkit yang lain menjadi lebih berat. Untuk itu diperlukan satu penelaahan kestabilan agar pembangkit yang terganggu tidak terlepas dari sistem. Analisis kestabilan biasanya digolongkan kedalam tiga jenis, tergantung pada sifat dan besarnya gangguan yaitu (Saadat.1999).

1. Kestabilan Keadaan Tetap (*Steady State Stability*) Kestabilan keadaan tetap adalah kemampuan sistem tenaga listrik untuk menerima gangguan kecil yang bersifat gradual, yang terjadi disekitar titik keseimbangan pada kondisi tetap. Kestabilan ini tergantung pada karakteristik komponen yang terdapat pada sistem tenaga listrik antara lain: pembangkit, beban, jaringan transmisi, dan kontrol sistem itu sendiri. Model pembangkit yang digunakan adalah pembangkit yang sederhana (sumber tegangan konstan) karena hanya menyangkut gangguan kecil disekitar titik keseimbangan.
2. Kestabilan Dinamis (*Dynamic Stability*) Kestabilan dinamis adalah kemampuan sistem tenaga listrik untuk kembali ke titik keseimbangan setelah timbul gangguan yang relatif kecil secara tiba-tiba dalam waktu yang

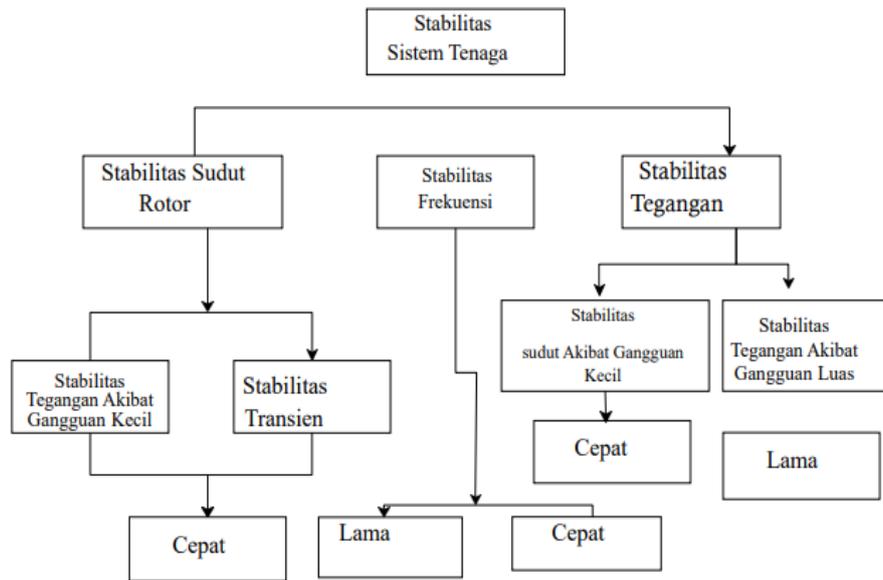
lama. Analisa kestabilan dinamis lebih kompleks karena juga memasukkan komponen kontrol otomatis dalam perhitungannya.

3. Kestabilan Peralihan (*Transient Stability*). kestabilan peralihan adalah kemampuan sistem untuk mencapai titik keseimbangan/sinkronisasi setelah mengalami gangguan yang besar sehingga sistem kehilangan kestabilan karena gangguan yang terjadi diatas kemampuan sistem. Analisis kestabilan peralihan merupakan analisis yang utama untuk menelaah perilaku sistem daya misalnya gangguan yang berupa:
 - a. Perubahan beban yang mendadak karena terputusnya unit pembangkit.
 - b. Perubahan pada jaringan transmisi misalnya gangguan hubung singkat atau pemutusan saklar (*switching*).

Sistem daya listrik masa kini jauh lebih luas, ditambah interkoneksi antar sistem yang rumit dan melibatkan beratus-ratus mesin yang secara dinamis saling mempengaruhi melalui perantara jala-jala tegangan ekstra tinggi, mesin-mesin ini mempunyai sistem penguatan yang berhubungan. Kisaran masalah yang dianalisis banyak menyangkut gangguan yang besar dan tidak lagi memungkinkan menggunakan proses kelinearan. Masalah kestabilan peralihan dapat lebih lanjut dibagi ke dalam "Kestabilan ayunan pertama (*first swing*) dan ayunan majemuk (*multi swing*).

Kestabilan ayunan pertama didasarkan pada model generator yang cukup sederhana tanpa memasukkan sistem pengaturannya, biasanya periode waktu yang diselidiki adalah detik pertama setelah timbulnya gangguan pada sistem. Bila 12 pada sistem, mesin dijumpai tetap berada dalam keadaan serempak sebelum berakhirnya detik pertama, ini dikategorikan sistem masih stabil. Kestabilan sistem tenaga listrik diklasifikasikan berdasarkan beberapa hal di bawah ini (Saadat.1999).

- a. Sifat alami dari ketidak stabilan yang dihasilkan terkait dengan parameter sistem utama dimana ketidak stabilan bisa diamati.
- b. Ukuran gangguan dianggap menunjukkan metode perhitungan dan prediksi ketidakstabilan yang paling sesuai.
- c. *Divais*, proses, dan rentang waktu yang harus diambil untuk menjadi pertimbangan dalam menentukan kestabilan.



Gambar 2. 3 Klasifikasi Kestabilan Sistem Tenaga Listrik (Humamuddin.2018)

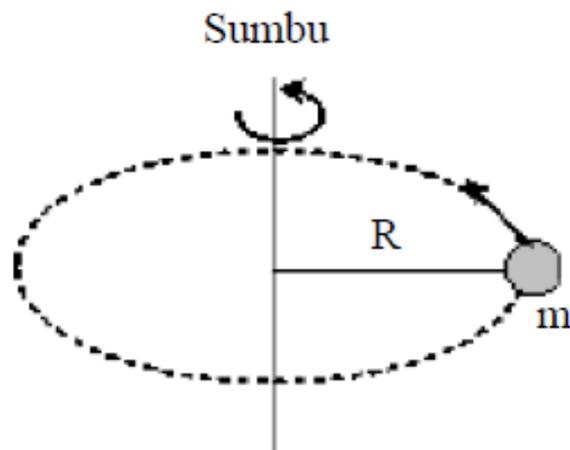
Pada Gambar 2.3 menunjukkan sebuah kemungkinan klasifikasi kestabilan sistem tenaga listrik ke dalam tiga bagian, yaitu kestabilan sudut rotor, kestabilan frekuensi, dan kestabilan tegangan.

2.4 Kestabilan Frekuensi

Kestabilan frekuensi merupakan kemampuan dari suatu sistem tenaga listrik untuk menjaga keseimbangan frekuensi setelah terjadi gangguan. Adapun ketidakstabilan frekuensi disebabkan oleh ketidakseimbangan antara daya pembangkitan dan beban yang disuplai. Ketidakstabilan frekuensi menjadi perhatian khusus, agar tidak terdapat rerugi pada beban maupun pembangkitan tenaga listrik. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.3, kestabilan frekuensi dapat berupa kestabilan jangka panjang maupun jangka pendek. Contoh ketidakstabilan frekuensi jangka pendek antara lain pembangkit yang bekerja secara *standalone* kemudian mengalami *underfrequency*, karena pembangkit tidak mampu memenuhi beban daya listrik total, sehingga terjadi pemadaman dalam beberapa detik di sisi pelanggan. Sedangkan pada situasi yang lebih kompleks, ketidakstabilan frekuensi disebabkan oleh *overspeed control* turbin, atau proteksi dan pengaturan dari *reactor/boiler* yang mengakibatkan sistem terganggu selama puluhan detik hingga beberapa menit merupakan contoh ketidakstabilan frekuensi jangka panjang (Tsabit Mustarin.2015).

2.5 Momen Inersia

Momen inersia adalah ukuran resistansi atau kelembapan sebuah benda terhadap perubahan dalam gerak rotasi. Momen inersia adalah sifat yang dimiliki sebuah benda untuk mempertahankan posisinya dari gerak berotasi. Suatu benda yang diam akan cenderung mempertahankan posisinya yang diam, begitu juga ketika benda bergerak maka akan tetap mempertahankan untuk berotasi atau melawan rotasi (Aidil Syawani.2016). momen inersia pada pembangkit tenaga listrik adalah ukuran kecenderungan sistem pembangkit untuk menjaga kestabilan frekuensi ketika terjadi fluktuasi beban atau gangguan dalam sistem. Dalam konteks pembangkit tenaga listrik, momen inersia terkait dengan sistem rotor pada generator. Momen inersia rotor merupakan ukuran jumlah energi kinetik yang disimpan dalam rotor saat berputar, dan berhubungan langsung dengan kemampuan sistem untuk merespons perubahan beban atau gangguan. Semakin besar momen inersia pada sistem pembangkit tenaga listrik, semakin tinggi pula kemampuan sistem untuk menjaga kestabilan frekuensi. Hal ini karena momen inersia yang besar akan membutuhkan waktu yang lebih lama untuk mempengaruhi kecepatan rotasi rotor, sehingga sistem memiliki waktu yang cukup untuk merespons perubahan beban dengan mempertahankan frekuensi yang stabil. Momen inersia bergantung pada massa benda dan jarak massa benda tersebut terhadap sumbu rotasi. Jika benda berupa partikel atau titik bermassa m berotasi mengelilingi sumbu putar yang berjarak r , didefinisikan sebagai hasil kali massa dengan kuadrat jarak-jarinya. Persamaan momen inersia secara umum pada Persamaan 2.1.



Gambar 2. 4 Momen inersia

$$I = m R^2 \dots \dots \dots \text{Persamaan (2.1)}$$

Keterangan:

m = Massa Benda (kg)

R = Jarak Benda Terhadap Sumbu Putar Atau Jari-Jari (m)

I = Momen Inersia (kgm^2)

Persamaan 2.1 dapat disimpulkan bahwa momen inersia suatu partikel berbanding lurus dengan massa partikel dan kuadrat jarak partikel tersebut terhadap sumbu rotasinya. Dengan demikian, semakin jauh jarak poros benda (sumbu rotasinya), besar momen inersia benda tersebut akan semakin besar.

Menurut Haekal Maulana (2021) daya yang dibangkitkan selalu sama dengan daya yang dibutuhkan konsumen (beban). Ketika daya yang dibutuhkan konsumen lebih besar dari daya yang dibangkitkan generator maka frekuensi akan turun dan bila daya yang dihasilkan generator lebih besar dari daya yang dibutuhkan konsumen maka frekuensi akan bertambah besar. Pada sebuah generator, beban pada dasarnya merupakan beban listrik. Apabila beban tersebut diterjemahkan sebagai torsi, maka torsi tersebut dapat diterjemahkan sebagai torsi elektrik sedangkan daya yang keluar atau terbangkit dari generator dapat diterjemahkan sebagai torsi mekanik. Pada pengoperasian generator dalam kondisi tetap, nilai torsi

mekanik akan sama dengan nilai torsi elektrik. Prinsip dasar Persamaan putaran rotor mesin sinkron adalah momen percepatan putar (*accelerating torque*) merupakan perkalian dari momen kelembaman J (*moment of inertia*) rotor dengan percepatan sudut yang dimiliki $\frac{d^2\theta_m}{dt^2}$, Persamaan differensial dinamis rotor (Haekal Maulana.2021).

$$J \frac{d^2\theta_m}{dt^2} = T_a = T_m - T_e \dots \dots \dots \text{Persamaan (2.2)}$$

Keterangan :

J = Momen kelembaman total massa motor (kg.m²).

θ_m = Pergeseran sudut rotor (angular displacement) terhadap sumbu yang diam (rad).

T_a = Momen putar percepatan bersih (Nm).

T_m = Momen putar mekanis atau poros (penggerak) yang diberikan oleh penggerak mula dikurangi dengan momen putar perlambatan yang disebabkan oleh rugi-rugi perputaran (Nm).

T_e = Momen putar listrik/elektromagnetis (Nm)

Putaran generator sinkron dapat membangkitkan torsi medan elektromagnetik pada saat berputar kecepatan sinkron atau ω_m maka $T_m = T_e$. Percepatan (*accelerating*) $T_m > T_e$ atau perlambatan (*decelerating*) $T_m < T_e$ akan terjadi akibat gangguan. Berdasarkan pada Persamaan 2.2 perubahan posisi sudut rotor terhadap sumbu yang berputar terhadap kecepatan sinkron dapat dituliskan dengan Persamaan berikut.

$$\theta_m = \omega_{sm} + \delta_m \dots \dots \dots \text{Persamaan (2.3)}$$

Pergeseran daya sudut rotor atau δ_m merupakan pergeseran angular rotor yang terjadi saat sumbu yang berputar dengan kecepatan sinkron dalam radian.

Sedangkan Persamaan kecepatan putaran rotor ω_m maka Persamaan 2.3 dapat diturunkan terhadap waktu menjadi

$$\omega_m = \frac{d^2\theta_m}{dt^2} = \omega_{sm} + \frac{d\delta_m}{dt^2} \dots \dots \dots \text{Persamaan (2.4)}$$

Persamaan percepatan rotornya maka Persamaan 2.4 dapat diturunkan kembali terhadap waktu menjadi

$$\frac{d^2\theta_m}{dt^2} = \frac{d^2\delta_m}{dt^2} \dots \dots \dots \text{Persamaan (2.5)}$$

substitusi Persamaan 2.5 ke dalam Persamaan 2.2 akan didapatkan

$$J \frac{d^2\delta_m}{dt^2} = T_m - T_e \dots \dots \dots \text{Persamaan (2.6)}$$

Selanjutnya dengan mengalikan Persamaan 2.6 dengan ω_m akan menghasilkan

$$J\omega_m \frac{d^2\delta_m}{dt^2} = \omega_m T_m - \omega_m T_e \dots \dots \dots \text{Persamaan (2.7)}$$

P_m adalah daya mekanik dari masukan sedangkan P_e daya elektrik keluaran maka Persamaan daya dapat diturunkan kembali.

$$J\omega_m \frac{d^2\delta_m}{dt^2} = P_m - P_e \text{ (MW)} \dots \dots \dots \text{Persamaan (2.8)}$$

Jika $J\omega_m$ merupakan momen sudut rotor maka dapat dinyatakan M atau konstanta inersia. Massa putar memiliki hubungan dengan energi kinetik yang dituliskan pada Persamaan berikut.

$$W_k = \frac{1}{2} \omega_m^2 = \frac{1}{2} M \omega_m^2 \text{ atau } M = \frac{2W_k}{\omega_{sm}^2} \dots \dots \dots \text{Persamaan (2.9)}$$

Hubungan Persamaan ayunan dengan momen sudut adalah

$$M \frac{d^2\delta_m}{dt^2} = P_m - P_e \text{ (MW)} \dots \dots \dots \text{persamaan (2.10)}$$

Apabila p adalah jumlah kutub dari generator sinkron, maka sudut daya listrik δ dalam hubungannya dengan sudut daya mekanik δ_m adalah sebagai berikut.

$$\delta = \frac{p}{2} \delta_m \text{ dan } \omega = \frac{p}{2} \omega_m \dots \dots \dots \text{Persamaan (2.11)}$$

Persamaan ayunan dalam hubungan dengan sudut daya elektrik adalah

$$\frac{2}{p} M \frac{d^2\delta_m}{dt^2} = P_m - P_e \dots \dots \dots \text{Persamaan (2.12)}$$

Jika nilai M pada Persamaan 2.9 disubstitusikan ke dalam Persamaan 2.12 akan diperoleh

$$\frac{2}{p} \cdot \frac{2W_k}{\omega_{sm}} \cdot \frac{d^2\delta}{dt^2} = P_m - P_e \dots \dots \dots \text{Persamaan (2.13)}$$

Selanjutnya membagi Persamaan 2.13 dengan Sbase (SB) maka akan menghasilkan

$$\frac{2}{p} \cdot \frac{2W_k}{\omega_{sm}S_B} \cdot \frac{d^2\delta}{dt^2} = \frac{P_m - P_e}{S_B} \dots \dots \dots \text{Persamaan (2.14)}$$

Akan diperoleh Persamaan 2.15 ketika mensubstitusikan $H = W_k/S_B$ ke dalam Persamaan 2.13.

$$\frac{2}{p} \cdot \frac{2H}{\omega_{sm}} \cdot \frac{d^2\delta}{dt^2} = P_m - P_e (pu) \dots \dots \dots \text{Persamaan (2.15)}$$

Kecepatan putar elektrik dalam hubungannya dengan kecepatan putar mekanik adalah $\omega_{sm} = \frac{p}{2} \omega_s$ sehingga Persamaan 2.15 menjadi

$$\frac{2H}{\omega_s} \cdot \frac{d^2\delta}{dt^2} = P_m - P_e (pu) \dots \dots \dots \text{Persamaan (2.16)}$$

Dengan mensubstitusikan $\omega = 2\pi f$ ke dalam Persamaan 2.17 akan diperoleh

$$\frac{H}{\pi f} \cdot \frac{d^2\delta}{dt^2} = P_m - P_e (pu) \dots \dots \dots \text{Persamaan (2.17)}$$

Persamaan 2.16 atau 2.17 dinamakan dengan Persamaan ayunan (*swing equation*) yang merupakan Persamaan dasar yang mengatur dinamika (gerak) perputaran mesin sinkron dalam studi kestabilan (Putri et al., n.d.2021). persamaan 2.1 sampai dengan 2.17 digunakan Ketika dalam generator terjadi gangguan pada momen inersia yang merupakan persamaan yang mengatur dinamika (gerak) perputaran mesin sinkron dalam studi kestabilan.

2.6 Load Frequency Control (LFC)

Frekuensi merupakan sebuah parameter umum yang terdapat pada seluruh sistem tenaga listrik. Perubahan permintaan (*demand*) terhadap listrik pada satu titik apabila tidak diimbangi dengan penyesuaian pada sisi pembangkitan maka dapat mengakibatkan terjadinya perubahan frekuensi. Oleh sebab itu, perlu disediakan alokasi pada generator untuk mengantisipasi perubahan beban dari konsumen. Secara umum, tiap generator pembangkit yang terpasang telah memiliki perangkat untuk mengatur osilasi frekuensi yang diakibatkan oleh bervariasinya beban dari

konsumen, yaitu *governor*. Namun dalam beberapa kasus, kinerja dari *governor* tersebut belum mampu bekerja secara optimal dan cepat. Sementara itu, tujuan dari pengaturan frekuensi adalah sebagai berikut:

1. Memberikan keseimbangan (*balance*) antara sistem pembangkitan dengan beban dari konsumen
2. Memperkecil penyimpangan frekuensi akibat adanya perubahan beban yang terjadi secara tiba-tiba supaya nilai penyimpangan tersebut dapat mendekati nol (hilang)
3. Menjaga kontinuitas penyaluran daya pada pembangkit-pembangkit yang terinterkoneksi (jika ada) agar dapat berada pada kemampuan kapasitas masing-masing generator terpasang.

Load Frequency Control (LFC) adalah sebuah mekanisme yang digunakan untuk menjaga keseimbangan antar daya yang dihasilkan dari pembangkit listrik dengan daya yang dibutuhkan oleh pelanggan. LFC merupakan salah satu aspek yang sangat penting dalam pengoperasian sistem tenaga listrik dan juga sistem control, demi terciptanya penyediaan daya yang mencukupi dan memiliki kualitas baik. Sifat dan karakteristik perubahan beban menyebabkan titik operasi dari sebuah sistem tenaga dapat berubah secara signifikan dalam penggunaan harian. Dampaknya, sistem control yang dapat bekerja optimal pada suatu kondisi operasi, belum tentu cocok digunakan dalam kondisi yang lain (Tsabit Mustarin.2015). Dalam kontrol frekuensi beban (*Load Frequency Control*), terdapat beberapa sistem kontrol yang digunakan untuk menjaga stabilitas frekuensi pada sistem tenaga listrik. Berikut ini adalah beberapa sistem kontrol yang umum digunakan dalam *load frequency control*:

1. ***Governor Control***

Governor control adalah sistem kontrol yang digunakan untuk mengatur kecepatan rotasi generator. *Governor* ini mengontrol pasokan bahan bakar (misalnya, pada generator berbahan bakar fosil) atau sistem penggerak (misalnya, pada generator *hidro*) untuk mempertahankan kecepatan rotasi yang diinginkan. *Governor control* akan merespons perubahan beban dengan menyesuaikan aliran bahan bakar atau daya penggerak untuk menjaga kecepatan rotasi generator stabil.

2. *Proportional-Integral-Derivative (PID) Control*

PID control adalah metode kontrol klasik yang sering digunakan dalam kontrol frekuensi beban. *PID control* menggunakan umpan balik berdasarkan perbedaan antara frekuensi aktual dan frekuensi target untuk menghasilkan sinyal kontrol yang mengatur daya *netto* yang dimasukkan atau diambil dari sistem. *PID control* terdiri dari komponen proporsional, integral, dan diferensial yang bekerja untuk menghasilkan respons yang cepat dan stabil terhadap perubahan frekuensi.

3. *Automatic Generation Control (AGC)*

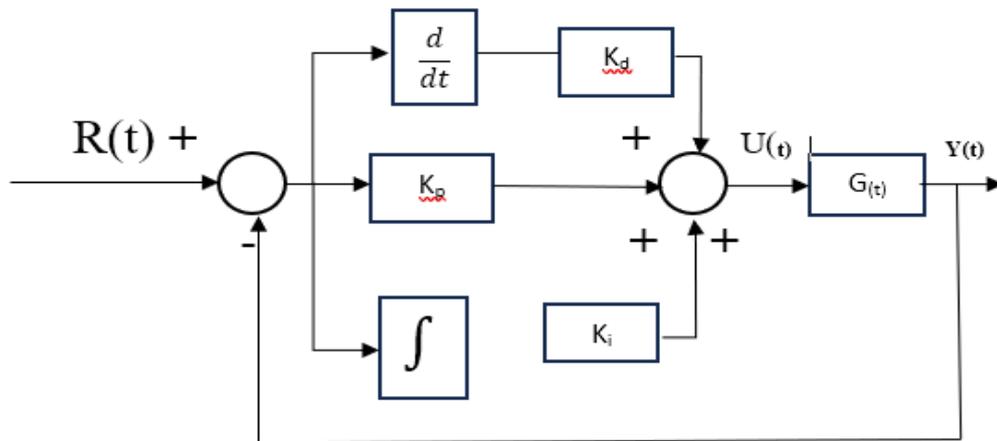
AGC adalah sistem kontrol yang digunakan dalam kordinasi beberapa generator dalam sistem tenaga listrik. *AGC* memonitor frekuensi sistem secara kontinu dan mengirim sinyal kontrol ke *governor* pada masing-masing generator untuk mengatur daya keluaran dan mempertahankan frekuensi sistem pada nilai nominal. *AGC* berfungsi untuk mengkoordinasikan operasi generator dalam sistem tenaga listrik yang lebih besar, termasuk pembagian beban antara generator-generator dan menjaga frekuensi sistem secara keseluruhan.

4. *Load Shedding*

Load shedding adalah metode darurat dalam kontrol frekuensi beban yang digunakan ketika terjadi ketidakseimbangan antara daya yang dihasilkan dan daya yang dikonsumsi dalam sistem. Ketika frekuensi turun di bawah ambang batas tertentu, sistem *load shedding* akan secara otomatis memutuskan beberapa beban non-kritis atau tidak penting untuk mengurangi beban sistem.

Sistem kontrol dapat bekerja secara terpisah atau digabungkan dalam sistem kontrol yang lebih kompleks untuk mengoptimalkan stabilitas frekuensi sistem tenaga listrik. Dalam pemodelan LFC menggunakan Kontrol ***Proportional-Integral-Derivative (PID) Control***. sering digunakan dalam pengendalian frekuensi beban *load frequency control* (LFC) karena memiliki beberapa keunggulan yang membuatnya cocok untuk diaplikasikan dalam *load frequency control*.

1. Respons Proporsional: Komponen proporsional (P) dalam PID *control* merespons perbedaan antara frekuensi aktual dan frekuensi referensi (*setpoint*) dengan proporsional. Ini memungkinkan pengendali untuk memberikan respons yang cepat dan sebanding dengan besarnya kesalahan frekuensi. Hal ini membantu mengurangi waktu *settling* dan meningkatkan ketepatan pengendalian.
2. Penyesuaian Integral: Komponen integral (I) dalam PID control membantu menangani kesalahan frekuensi yang persisten atau biasa. Dengan menggunakan integrator, PID *control* dapat secara bertahap mengakumulasi kesalahan frekuensi seiring waktu dan memberikan tindakan pengendalian yang terus menerus untuk mengurangi kesalahan frekuensi secara akumulatif.
3. Penyesuaian Diferensial: Komponen diferensial (D) dalam PID control membantu mengantisipasi perubahan frekuensi yang cepat. Dengan menganalisis laju perubahan frekuensi, komponen diferensial dapat memberikan tindakan pengendalian yang cepat untuk mengurangi efek *overshoot* atau penundaan respons.
4. Stabilitas: PID kontrol diketahui memiliki sifat setabil yang baik dalam mengendalikan sistem. Dengan mengatur parameter PID yang sesuai, seperti kecepatan respon (K_p), waktu integrasi (T_i), dan waktu diferensiasi (T_d), sistem LFC dapat tetap stabil dan terhindar dari osilasi yang tidak diinginkan. Persaman dan gambar kendali PID kontrol dikutip dari fitria suryatini, annisa firasanti program studi teknik elektro fakultas teknik universitas islam. dalam penelitiannya yang berjudul “kendali p, pi, dan pid analog pada pengaturan kecepatan motor dc dengan penalaan ziegler-nichols”.



Gambar 2. 5 Kontrol PID

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \dots\dots\dots \text{Persamaan (2.18)}$$

dimana:

$u(t)$ = sinyal output pengendali PID

K_p = konstanta proporsional

K_i = konstanta integral

K_d = konstanta derivative

$e(t)$ = sinyal error

Salah satu Persamaan yang digunakan dalam kontrol frekuensi beban (*load frequency control*) pada sistem tenaga listrik adalah Persamaan perubahan frekuensi:

$$\Delta f = K / (2\pi H) * \Delta P \dots\dots\dots \text{Persamaan (2.19)}$$

di mana:

Δf = perubahan frekuensi sistem (dalam Hz)

K = konstanta sistem

H = momen inersia total sistem (dalam detik)

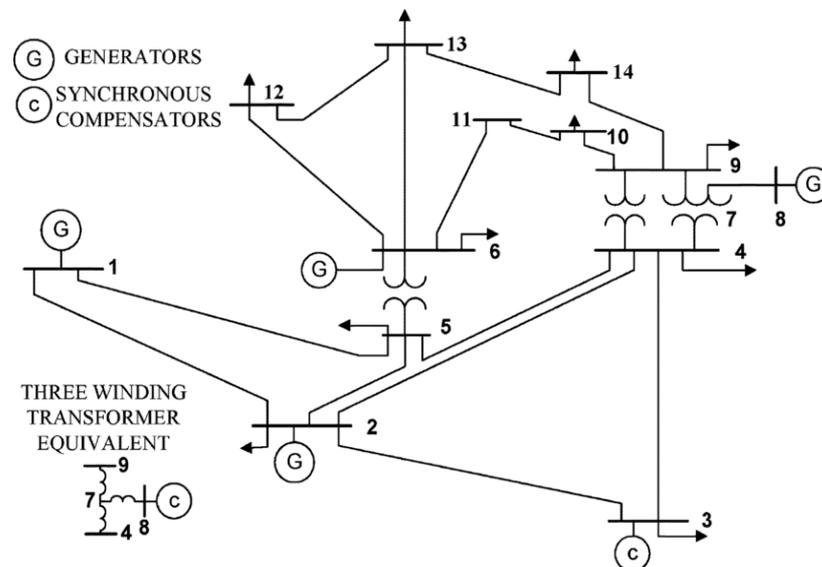
ΔP = perubahan daya netto yang dimasukkan atau diambil dari sistem (dalam Watt)

Persamaan 2.19 menggambarkan hubungan antara perubahan frekuensi sistem dengan perubahan daya *netto* yang memasuki atau ditarik dari sistem. Konstanta K bergantung pada karakteristik sistem dan parameter kontrol yang digunakan.

Dalam kontrol frekuensi beban, tujuan utamanya adalah menjaga frekuensi sistem tetap stabil (50 Hz atau 60 Hz). Dalam Persamaan 2.19, perubahan daya *netto* ΔP dapat dikendalikan untuk meminimalkan perubahan frekuensi sistem Δf . Kontrol frekuensi beban biasanya menggunakan umpan balik (*feedback*) untuk mengatur daya *netto* yang dimasukkan atau diambil dari sistem, misalnya dengan mengendalikan governor pada generator. Persamaan 2.19 adalah salah satu bentuk sederhana dari Persamaan kontrol frekuensi beban, dan ada beberapa model dan metode yang lebih kompleks yang digunakan dalam praktiknya, termasuk penggunaan pengontrol PID (*Proportional-Integral-Derivative*) dan algoritma kontrol yang lebih canggih.

2.7 IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) 14 BUS

IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) 14 BUS adalah sebuah sistem yang digunakan untuk suatu pembangkit listrik. Yang terdiri dari 5 generator, 11 beban, dan 14 bus. Yang dapat dilihat pada Gambar 2.6



Gambar 2. 6 Sistem daya IEEE 14-bus (Boudreaux, n.d.)

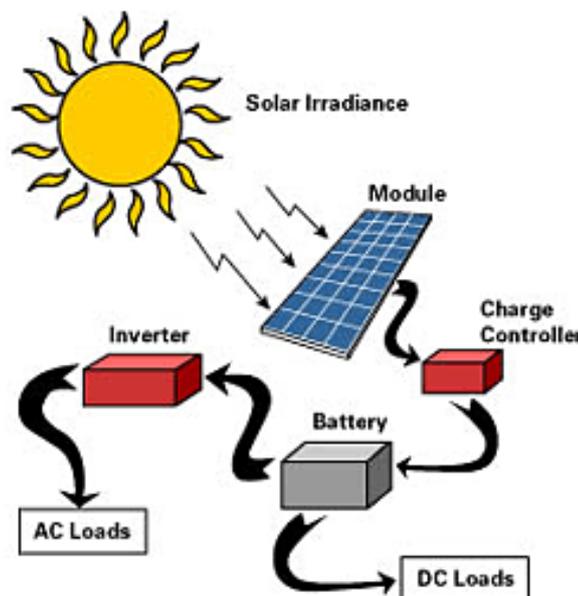
Pada Gambar 2.6 ini merupakan gambar sistem 14 bus pada sistem pembangkit tenaga listrik. Dengan kombinasi komponen-komponen tersebut, sistem IEEE 14-bus digunakan sebagai standar dalam penelitian dan pengembangan bidang pengaturan beban, analisis aliran daya, dan studi stabilitas sistem tenaga.

2.8 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah pembangkit listrik yang memanfaatkan sinar matahari untuk menjadi energi listrik. PLTS sering juga disebut *Solar Cell*, atau *Solar Photovoltaik*, atau *Solar Energi*. Dengan memanfaatkan cahaya matahari untuk menghasilkan listrik. DC (*direct current*), yang dapat diubah menjadi listrik AC (*alternating current*) apabila diperlukan. Oleh karena itu meskipun mendung, selama masih terdapat cahaya, maka PLTS dapat menghasilkan listrik. Pembangkit Listrik Tenaga Surya pada dasarnya adalah percatuan daya (alat yang menyediakan daya), dan dapat dirancang untuk mencatu kebutuhan listrik yang kecil sampai dengan besar, baik secara mandiri, maupun dengan *Hybrid* (dikombinasikan dengan sumber energi lain seperti PLTS-Genset, PLTS-Angin). Dengan komponen yang mendukung PLTS adalah panel surya, *solar charge controller*, *inverter*, baterai.

2.8.1 Cara Kerja PLTS

Pembangkit listrik tenaga surya konsepnya sederhana, yaitu mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik. Cahaya matahari merupakan salah satu bentuk energi dari sumber daya alam. Gambar skema cara kerja plts dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2. 7 Cara kerja PLTS

Pada Gambar 2.7 dengan memanfaatkan sinar matahari yang menyinari panel

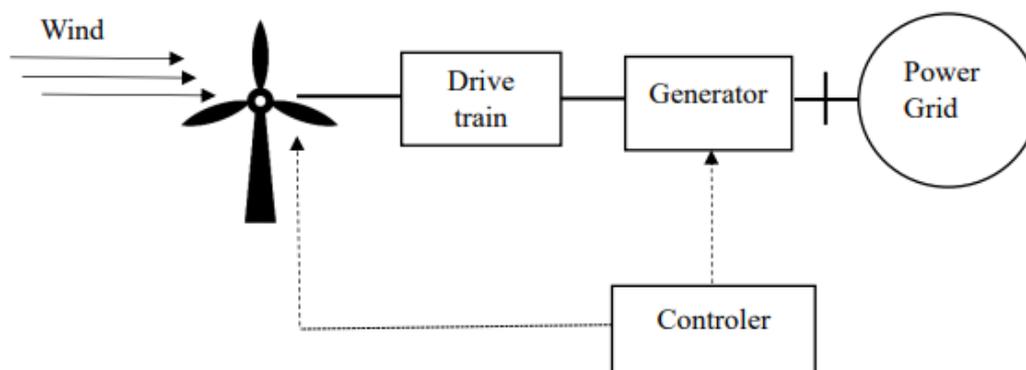
surya, kemudian akan mengalir daya listrik ke kebatrai solar charge controller, lalu ke inverter yang nantinya akan dikonfersi oleh inverter dari listrik dc ke ac jika diperlukan.

2.9 Pembangkit Listrik Tenaga Angin atau Bayu (PLTB)

Pembangkit listrik tenaga angin atau bayu ini adalah sistem pembangkit listrik yang menggunakan energi angin sebagai sumber utama untuk menghasilkan energi listrik.

2.9.1 Cara Kerja (PLTB)

Cara kerja pembangkit yang sering dikenal sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) cukup sederhana. Energi angin yang memutar kincir diteruskan untuk memutar baling-baling pada generator di bagian belakang kincir angin, sehingga menghasilkan energi listrik.



Gambar 2. 8 Skema cara kerja PLTB

Pada Gambar 2.8 skema cara kerja PLTB dengan menggunakan energi angin untuk menghasilkan energi listrik. PLTB memiliki rotor yang terdiri dari baling-baling (biasanya tiga atau lebih) yang dipasang di ujung sumbu yang berputar. Baling-baling dirancang untuk menangkap energi angin dan mengubahnya menjadi gerakan rotasi.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Gedung D Lab Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer Universitas Teknokrat Indonesia. Waktu penelitian ini dilakukan pada bulan Mei 2023 sampai dengan bulan Agustus 2023.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Adapun peralatan dan bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

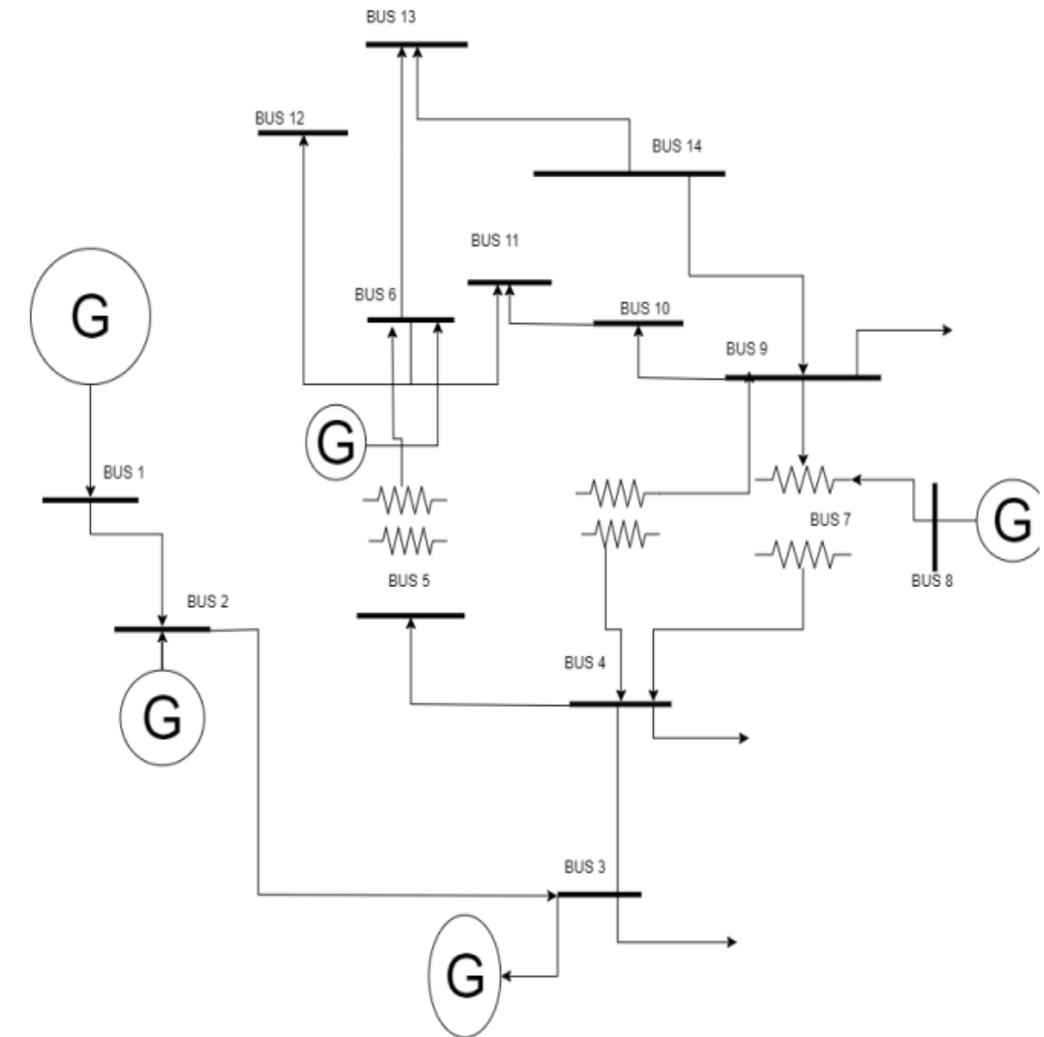
1. Satu Unit Laptop dan sistem operasi *Windows 10*
2. Perangkat lunak *MATLAB 2021a* sebagai *software* bantu untuk pemodelan dan simulasi frekuensi pada sistem pembangkit
3. Data-data beban, pembangkit konvensional dan terbarukan bersumber dari IEEE 14 BUS dan literatur

3.3 Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan sistem tenaga yang terhubung dengan pembangkit konvensional dan energi terbarukan. Kestabilan frekuensi dilakukan dengan menambahkan *Load Frequency Control* (LFC) di beberapa sistem tenaga berinersia rendah. dengan adanya *Load Frequency Control* (LFC) di dalamnya dapat beroperasi secara optimal. Serta untuk menjaga keseimbangan antara pembangkitan daya listrik dan beban listrik yang dipasok ke jaringan listrik. *Load Frequency Control* (LFC) bertujuan untuk mempertahankan frekuensi sistem kelistrikan dalam batas yang diizinkan, sekitar 50 Hz atau 60 Hz. *Load Frequency Control* (LFC) mengatur pembangkitan daya agar sesuai dengan permintaan beban listrik. Jika beban meningkat, *Load Frequency Control* (LFC) akan menginstruksikan pembangkitan tambahan untuk menjaga keseimbangan. Sebaliknya jika beban berkurang, *Load Frequency Control* (LFC) akan mengurangi pembangkitan untuk mencegah terjadinya kelebihan daya yang tidak perlu.

1. Pemodelan sistem IEEE 14 BUS

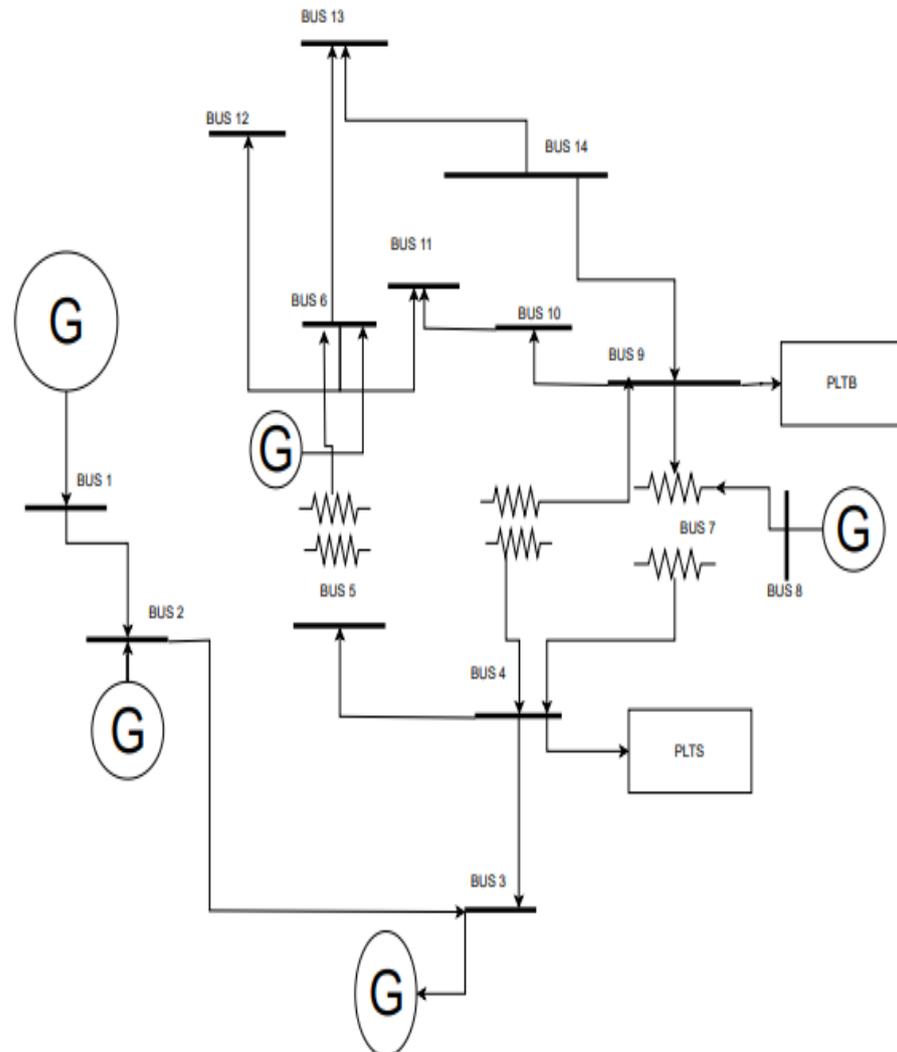
Berikut ini pemodelan sistem IEEE 14 Bus yang dapat dilihat pada Gambar 3.1



Gambar 3. 1 Pemodelan sistem IEEE 14 Bus

Pada Gambar 3.1 dalam pemodelan IEEE 14 Bus ini yang terdiri dari 5 Generator, dan 14 bus yang saling terkoneksi satu sama lain.

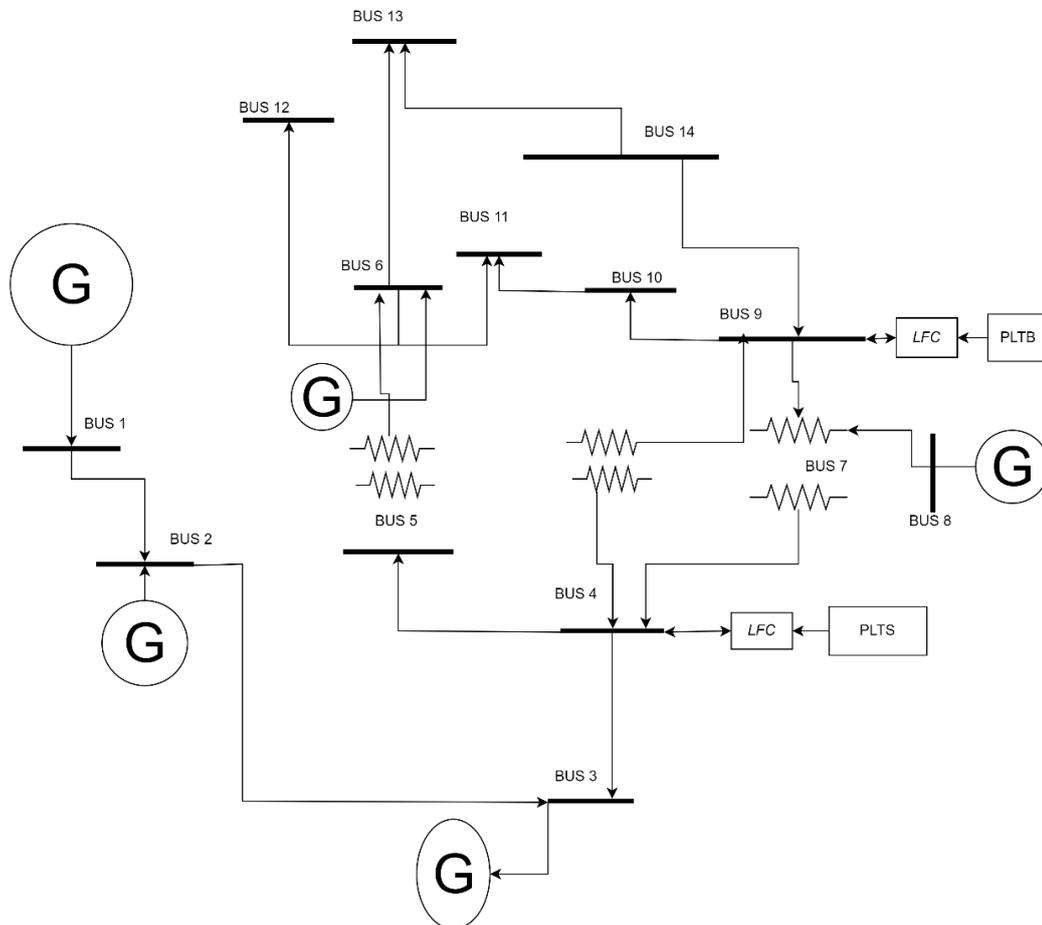
2. Pemodelan sistem IEEE 14 Bus pembangkit konvensional dengan Energi Terbarukan PLTS dan PLTB yang dapat dilihat pada Gambar 3.2



Gambar 3. 2 pemodelan sistem IEEE 14 Bus dengan PLTS dan PLTB

Pada Gambar 3.2 pemodelan sistem IEEE 14 Bus dengan PLTS dan PLTB dengan generator yang sama yaitu 5, dan bus 14 dengan tambahan dua pembangkit tenaga listrik energi terbarukan PLTS dan PLTB di bus empat dan bus sembilan.

3. Pemodelan Kontrol pada pembangkit konvensional dan energi terbarukan
Pemodelan kontrol dapat dilihat pada Gambar 3.3

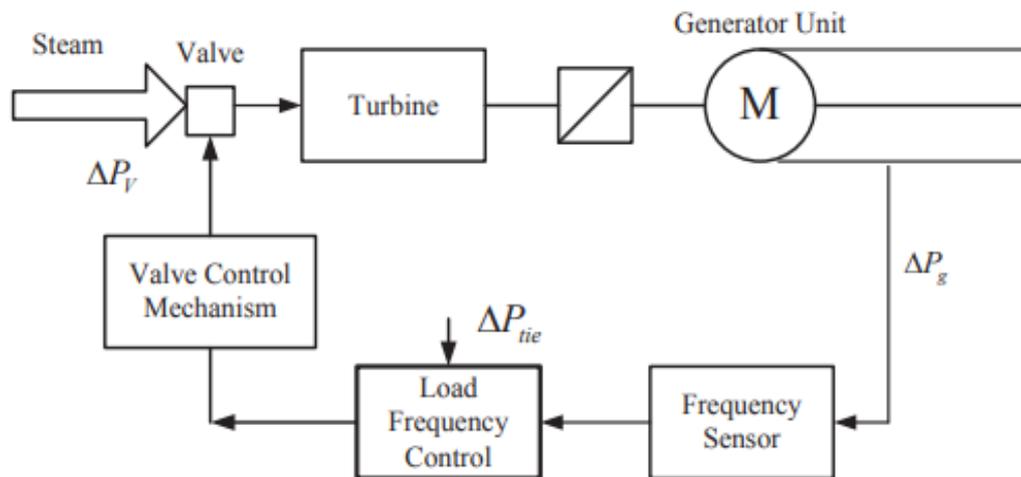


Gambar 3. 3 Pemodelan Kontrol pada pembangkit konvensional dan energi terbarukan

Pada Gambar 3.3 pemodelan kontrol dengan LFC yang terletak pada pembangkit energi terbarukan dan beban dengan tujuan untuk mengurangi rugi-rugi daya pada sistem pendistribusian daya pembangkit tenaga listrik.

4. Pemodelan *Load Frequency Control* (LFC)

Penurunan frekuensi disebabkan salah satunya karena penggerak utama mengkompensasi ketidakseimbangan daya. Untuk mengatasi gangguan frekuensi kami menggunakan pemodelan *Load Frequency Control* (LFC). Dapat dilihat pada Gambar 3.4.

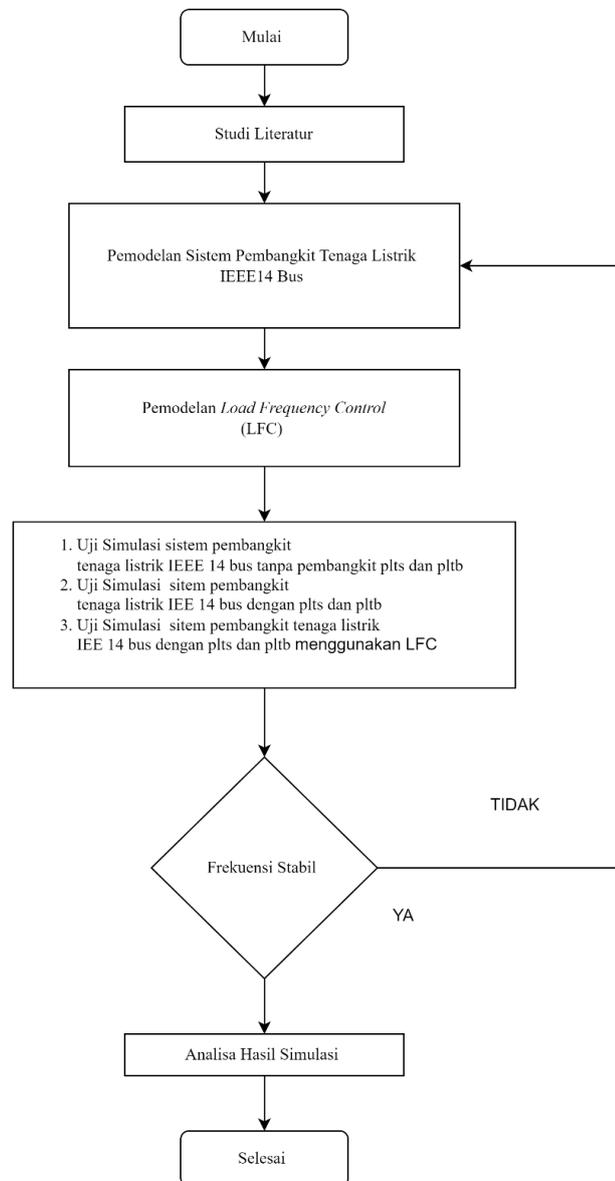


Gambar 3. 4 Block diagram of automatic load frequency control

Pada Gambar 3.4 merupakan blok diagram LFC dengan turbin generator dan sensor frekuensi yang dilengkapi dengan LFC. Pada pembangkit energi terbarukan tidak semua memiliki inersia seperti PLTS yang tidak memiliki inersia karena PLTS tidak memiliki generator, sedangkan pada PLTB memiliki generator namun inersia pada PLTB kurang stabil Untuk menjaga stabilitas frekuensi, perlu diterapkan mekanisme pengendalian yang lebih responsif, seperti *Load Frequency Control* (LFC) untuk mengkompensasi fluktuasi beban yang lebih cepat dan menjaga frekuensi tetap setabil serta mensinkronisasi kedua pembangkit tersebut, agar dapat terintegrasi langsung ke pembangkit konvensional.

3.4 Diagram Alir

Diagram alir penelitian dapat dilihat pada gambar 3.5



Gambar 3. 5 Diagram alir penelitian

Berdasarkan Gambar 3.5 diagram alir dengan proses mulai, kemudian studi literatur pemodelan sistem pembangkit tenaga listrik IEEE 14 BUS pada *Matlab Simulink* 2021a kemudian pemodelan LFC kondisi kesetabilan frekuensi jika tidak stabil maka dicek kembali disistem pemodelan pembangkit listrik, jika iya maka Analisa hasil kesetabilan frekuensi menggunakan metode LFC.

3.5 Jadwal Penelitian

Jadwal penelitian yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.1 sebagai berikut.

Tabel 3. 1 Jadwal Penelitian

No	Kegiatan Penelitian	Waktu Kegiatan Penelitian 2023																											
		Mei				Juni				Juli				Agustus				September				Oktober				November			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Tinjauan Pustaka	■	■	■																									
2	Pengumpulan Data				■																								
3	Penyusunan Proposal				■																								
4	Seminar Proposal					■	■	■	■	■	■	■	■	■															
5	Hasil dan Pembahasan													■	■	■	■												
6	Penyusunan Skripsi																	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
7	Pengajuan Seminar																									■			
8	Senimar Skripsi																										■		

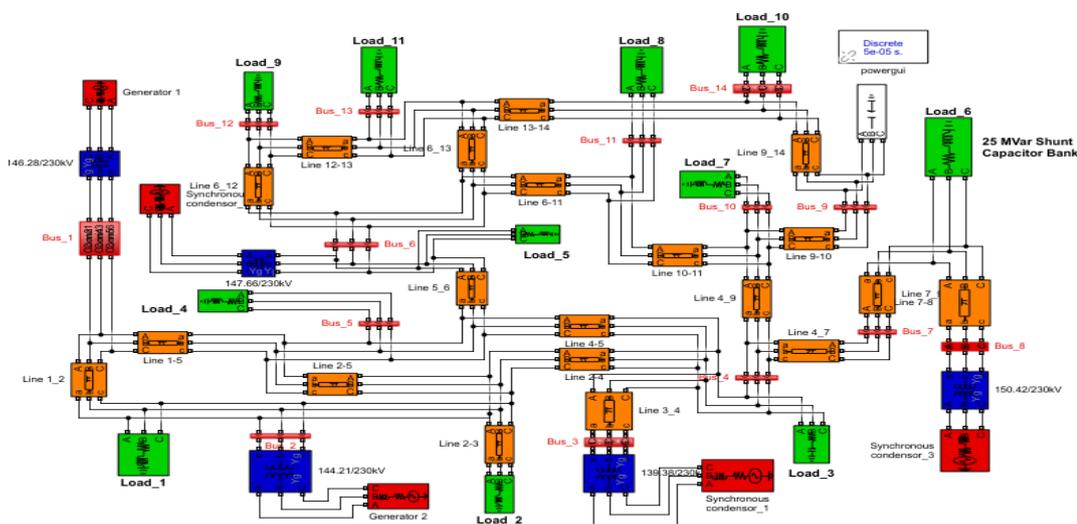
Keterangan :
 Belum Terlaksana
 Terlaksana

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Pengujian Pemodelan Sistem IEEE 14 BUS Tanpa Menggunakan LFC dan Pembangkit Listrik Energi Terbarukan

Pada tahap ini, dilakukan pengujian sistem IEEE 14 BUS, Sistem ini merupakan representasi dari jaringan listrik, yang digunakan sebagai standar uji bagi para peneliti, ilmuwan, dan insinyur di bidang tenaga listrikan. Tujuannya adalah untuk menguji dan memvalidasi teknik analisis serta algoritma dalam penelitian mengenai sistem tenaga. Terdiri dari 14 titik hubungan (bus) yang saling terkoneksi melalui jalur transmisi, sistem ini yang mencakup unsur gardu induk, transmisi, dan beban. Proses pemodelan sistem IEEE 14 BUS diterapkan menggunakan perangkat lunak *Matlab Simulink* dengan memanfaatkan data yang akurat dan sesuai. Ilustrasi proses ini terlihat pada Gambar 4.1. Yang menunjukkan pemodelan sistem IEEE 14 BUS diimplementasikan menggunakan perangkat lunak *Matlab Simulink* versi 2021a.



Gambar 4. 1 Sistem IEEE 14 BUS

Pada Gambar 4.1 merupakan gambar sistem pembangkit IEEE 14 BUS dengan 14 titik bus dan 11 beban serta 5 generator yang saling terkoneksi.

4.1.1 Parameter Sistem

Parameter sistem IEEE 14 BUS berdasarkan standar yang digunakan sebagai uji coba analisa sistem tenaga listrik.

Tabel 4. 1 Nilai Parameter Pembangkit IEEE 14 BUS

Pembangkit	Parameter P (KVA)	Parameter f (Hz)
Pembangkit 1	146.3 KVA	50 Hz
Pembangkit 2	144.2 KVA	50 Hz
Pembangkit 3	139.3 KVA	50 Hz
Pembangkit 4	150.4 KVA	50 Hz
Pembangkit 5	147.6 KVA	50 Hz

Tabel 4.1 menunjukkan kapasitas parameter untuk setiap pembangkit yang terdapat dalam sistem IEEE 14 BUS yang terdiri dari lima pembangkit. Masing-masing pembangkit memiliki kapasitasnya sendiri, dengan pembangkit pertama memiliki kapasitas sebesar 146.3 KVA, pembangkit kedua memiliki kapasitas 144.2 KVA, pembangkit ketiga memiliki kapasitas 139.3 KVA, pembangkit keempat memiliki kapasitas 150.4 KVA, dan pembangkit kelima memiliki kapasitas 147.6 KVA. Dengan parameter frekuensi setiap masing-masing pembangkit sebesar 50Hz.

Tabel 4. 2 Nilai Parameter Beban

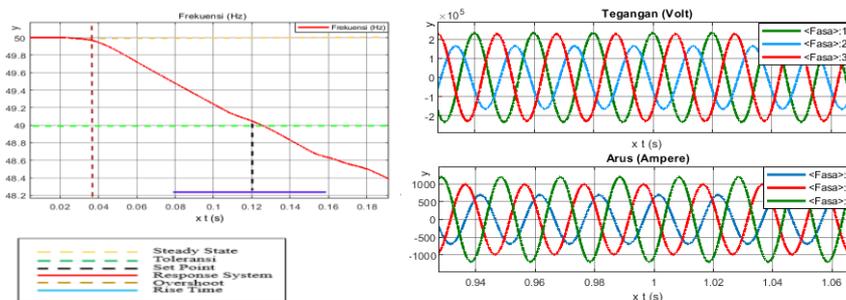
Beban	ΔP (KVA)
Beban 1	230.000
Beban 2	230.000
Beban 3	230.000
Beban 4	230.000
Beban 5	230.000
Beban 6	230.000
Beban 7	230.000
Beban 8	230.000
Beban 9	230.000
Beban 10	230.000
Beban 11	230.000

Pada tabel 4.2 merupakan masing-masing nilai dari parameter setiap beban yang dimiliki oleh sistem IEEE 14 BUS, dengan beban sebesar 230.000 KVA. Dengan pengujian simulasi sistem IEEE 14 BUS pada *Matlab Simulink 2021a* dengan ke-14 bus yang diujikan sebagai berikut:

4.1.2 Hasil Pengujian Sistem IEEE 14 BUS Pada Bus 1 Sampai Dengan Bus 14

1. Bus 1

Pada Gambar 4.2 terdapat hasil pengujian yang mencakup nilai frekuensi, tegangan, dan arus pada bus 1.

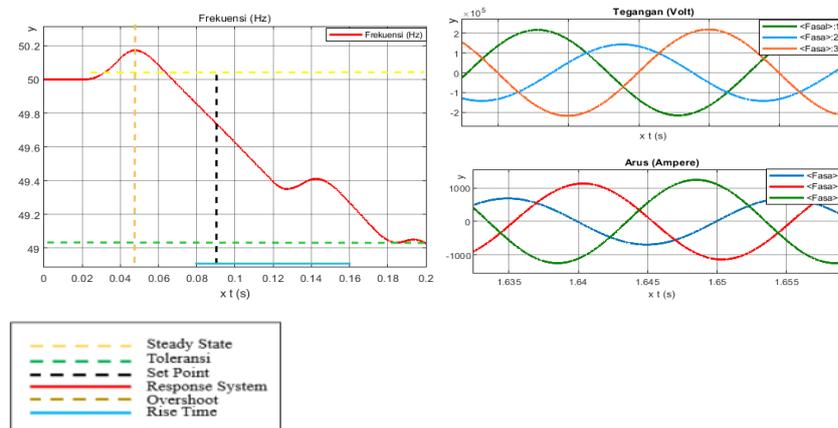


Gambar 4. 2 Hasil pengujian dari bus 1

Gambar 4.2 menampilkan data hasil frekuensi, tegangan, dan arus di bus 1 merupakan tanggapan awal sistem IEEE 14 BUS. Sistem ini tidak terhubung dengan pembangkit energi terbarukan atau pengendalian frekuensi beban yang lebih dikenal dengan *Load Frequency Control* (LFC). Frekuensi awal adalah 50Hz, kemudian turun hingga mencapai 48,4Hz pada *set time* 0,04 detik. Keadaan stabil atau kondisi *steady state* sistem ketika frekuensi mencapai 50Hz, dengan toleransi antara 49Hz hingga 51Hz. Selain itu, keluaran tegangan mencapai 200kVA dan arus mencapai 1kA.

2. Bus 2

Pada Gambar 4.3 terdapat hasil pengujian yang mencakup nilai frekuensi, tegangan, dan arus pada bus 2.

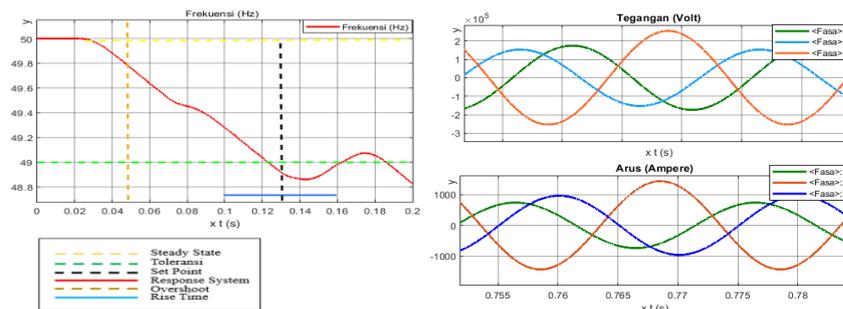


Gambar 4. 3 Hasil pengujian dari bus 2

Gambar 4.3 merupakan keluaran dari frekuensi, tegangan, dan arus pada bus 2 dengan tanggapan awal sistem IEEE 14 BUS yang tidak terintegrasi dengan pembangkit energi terbarukan dan *load frequency control*. Dengan nilai keluaran pada frekuensi 50Hz, mengalami kenaikan sampai dengan 50.2Hz pada *set time* 0,04 detik dan turun sampai dengan 49Hz pada *set time* 0,06 detik. Dimana kondisi *steady state* yaitu 50Hz dengan batas toleransi 49Hz sampai dengan 51Hz. untuk nilai keluaran dari tegangan mencapai 200kVA dan arus mencapai 1kA.

3. Bus 3

Pada Gambar 4.4 terdapat hasil pengujian yang mencakup nilai frekuensi, tegangan, dan arus pada bus 3.

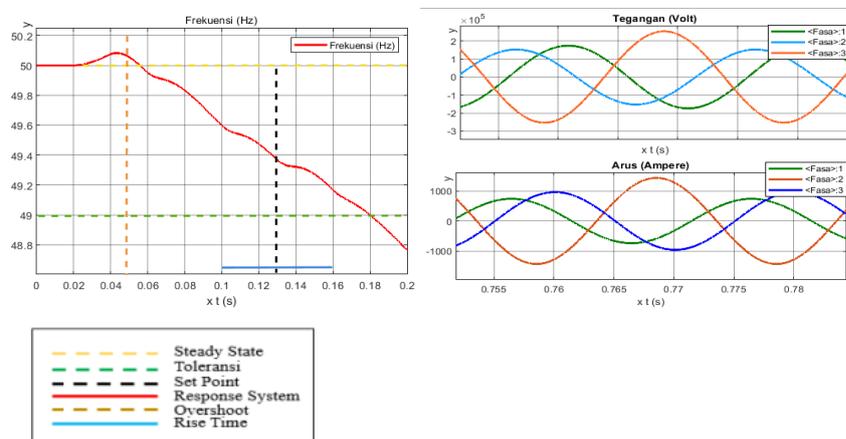


Gambar 4. 4 Hasil pengujian dari bus 3

Gambar 4.4 merupakan keluaran dari frekuensi, tegangan, dan arus pada bus 3 dengan tanggapan awal sistem IEEE 14 BUS yang tidak terintegrasi dengan pembangkit energi terbarukan dan *load frequency control*. Dengan nilai keluaran pada frekuensi 50Hz dan turun sampai dengan 48,8Hz pada *set time* 0,04 detik. Dimana kondisi *steady state* yaitu 50Hz dengan batas toleransi 49Hz sampai dengan 51Hz. untuk nilai keluaran dari tegangan mencapai 200kVA dan arus mencapai 1kA.

4. Bus 4

Pada Gambar 4.5 terdapat hasil pengujian yang mencakup nilai frekuensi, tegangan, dan arus pada bus 4.



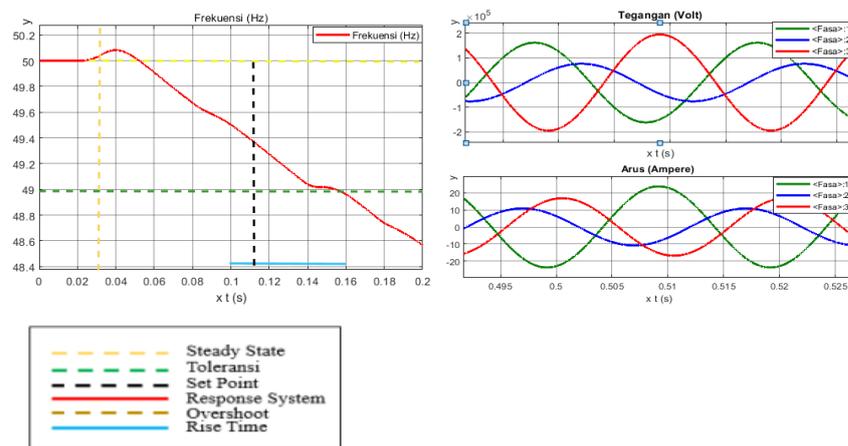
Gambar 4. 5 Hasil pengujian dari bus 4

Gambar 4.5 merupakan keluaran dari frekuensi, tegangan, dan arus pada bus 4 dengan tanggapan awal sistem IEEE 14 BUS yang tidak terintegrasi dengan pembangkit energi terbarukan dan *load frequency control*. Dengan nilai keluaran pada frekuensi 50Hz, mengalami kenaikan mencapai 50.1Hz saat *set time* 0,03 detik dan turun sampai dengan 48,8Hz pada *set time* 0,04 detik. Dimana kondisi *steady*

state yaitu 50Hz dengan batas toleransi 49Hz sampai dengan 51Hz. untuk nilai keluaran dari tegangan mencapai 200kVA dan arus mencapai 1kA.

5. Bus 5

Pada Gambar 4.6 terdapat hasil pengujian yang mencakup nilai frekuensi, tegangan, dan arus pada bus 5.

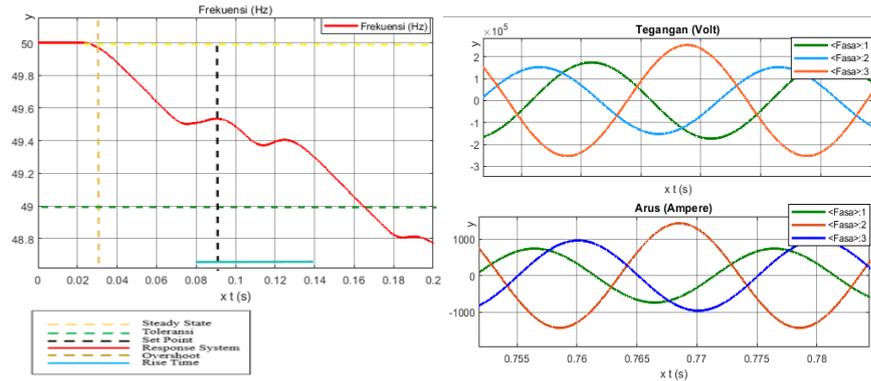


Gambar 4. 6 Hasil pengujian dari bus 5

Gambar 4.6 merupakan keluaran dari frekuensi, tegangan, dan arus pada bus 5 dengan tanggapan awal sistem IEEE 14 BUS yang tidak terintegrasi dengan pembangkit energi terbarukan dan *load frequency control*. Dengan nilai keluaran pada frekuensi 50Hz, mengalami kenaikan mencapai 50,1Hz saat *set time* 0,04 detik dan turun sampai dengan 48,4Hz pada *set time* 0,05 detik. Dimana kondisi *steady state* yaitu 50Hz dengan batas toleransi 49Hz sampai dengan 51Hz. untuk nilai keluaran dari tegangan mencapai 200kVA dan arus mencapai 20A.

6. Bus 6

Pada Gambar 4.7 terdapat hasil pengujian yang mencakup nilai frekuensi, tegangan, dan arus pada bus 6.

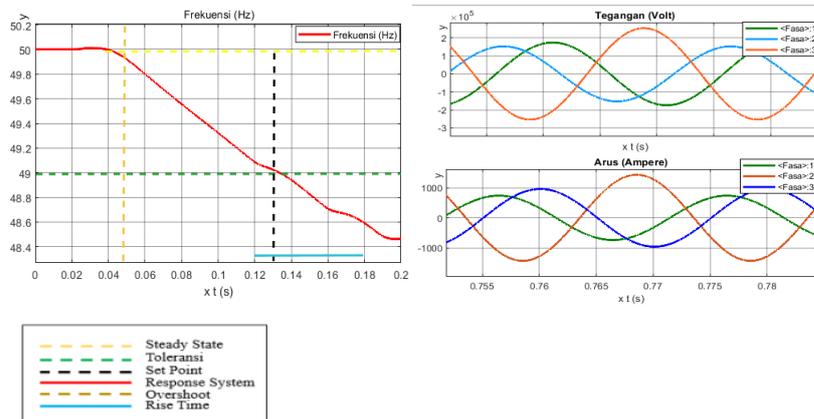


Gambar 4. 7 Hasil pengujian dari bus 6

Gambar 4.7 merupakan keluaran dari frekuensi, tegangan, dan arus pada bus 6 dengan tanggapan awal sistem IEEE 14 BUS yang tidak terintegrasi dengan pembangkit energi terbarukan dan *load frequency control*. Dengan nilai keluaran pada frekuensi 50Hz, dan turun sampai dengan 48,8Hz pada *set time* 0,04 detik. Dimana kondisi *steady state* yaitu 50Hz dengan batas toleransi 49Hz sampai dengan 51Hz. untuk nilai keluaran dari tegangan mencapai 200kVA dan arus mencapai 1kA.

7. Bus 7

Pada Gambar 4.8 terdapat hasil pengujian yang mencakup nilai frekuensi, tegangan, dan arus pada bus 7.



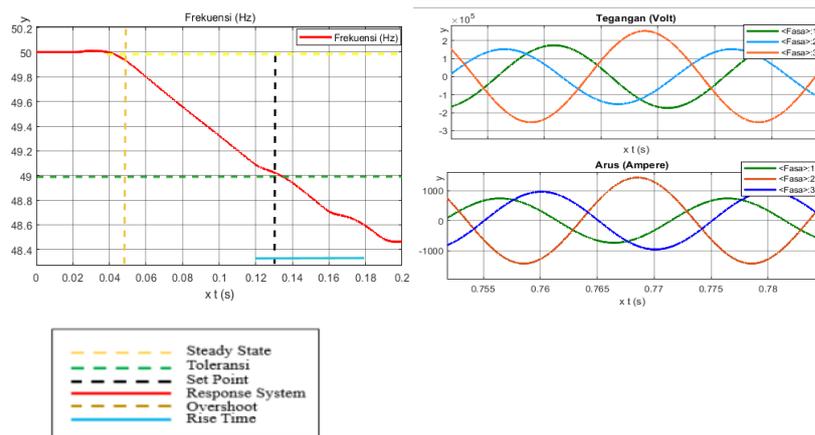
Gambar 4. 8 Hasil pengujian dari bus 7

Gambar 4.8 merupakan keluaran dari frekuensi, tegangan, dan arus pada bus 7 dengan tanggapan awal sistem IEEE 14 BUS yang tidak terintegrasi dengan pembangkit energi terbarukan dan *load frequency control*. Dengan nilai keluaran pada frekuensi 50Hz, dan turun sampai dengan 48,4Hz pada *set time* 0,04 detik.

Dimana kondisi *steady state* yaitu 50Hz dengan batas toleransi 49Hz sampai dengan 51Hz. untuk nilai keluaran dari tegangan mencapai 200kVA dan arus mencapai 1kA.

8. Bus 8

Pada Gambar 4.9 terdapat hasil pengujian yang mencakup nilai frekuensi, tegangan, dan arus pada bus 8.

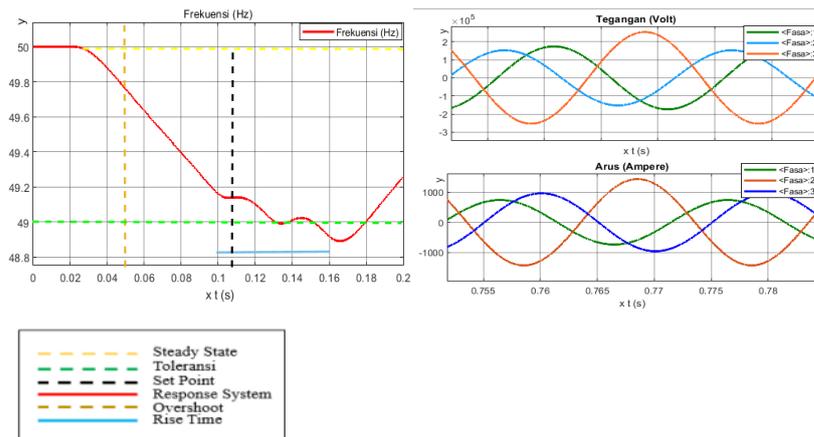


Gambar 4. 9 Hasil pengujian dari bus 8

Gambar 4.9 merupakan keluaran dari frekuensi, tegangan, dan arus pada bus 8 dengan tanggapan awal sistem IEEE 14 BUS yang tidak terintegrasi dengan pembangkit energi terbarukan dan *load frequency control*. Dengan nilai keluaran pada frekuensi 50Hz, dan turun sampai dengan 48,4Hz pada *set time* 0,04 detik. Dimana kondisi *steady state* yaitu 50Hz dengan batas toleransi 49Hz sampai dengan 51Hz. untuk nilai keluaran dari tegangan mencapai 200kVA dan arus mencapai 1kA.

9. Bus 9

Pada Gambar 4.10 terdapat hasil pengujian yang mencakup nilai frekuensi, tegangan, dan arus pada bus 9.

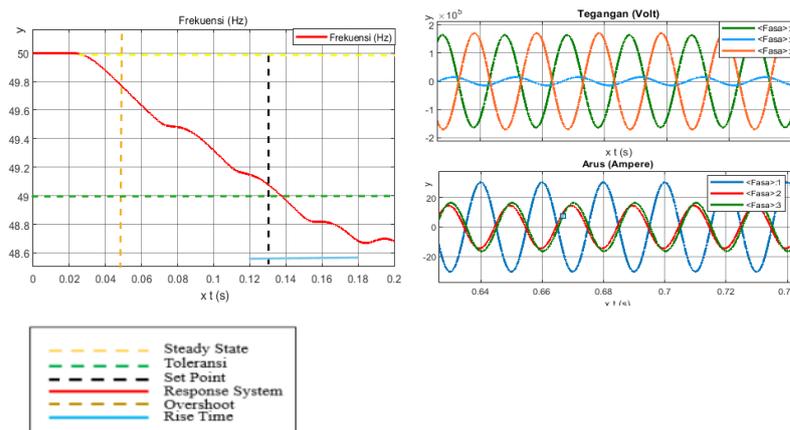


Gambar 4. 10 Hasil pengujian dari bus 9

Gambar 4.10 merupakan keluaran dari frekuensi, tegangan, dan arus pada bus 9 dengan tanggapan awal sistem IEEE 14 BUS yang tidak terintegrasi dengan pembangkit energi terbarukan dan *load frequency control*. Dengan nilai keluaran pada frekuensi 50Hz, dan turun sampai dengan 48,8Hz pada *set time* 0,04 detik. Dimana kondisi *steady state* yaitu 50Hz dengan batas toleransi 49Hz sampai dengan 51Hz. untuk nilai keluaran dari tegangan mencapai 200kVA dan arus mencapai 1kA.

10. Bus 10

Pada Gambar 4.11 terdapat hasil pengujian yang mencakup nilai frekuensi, tegangan, dan arus pada bus 10.



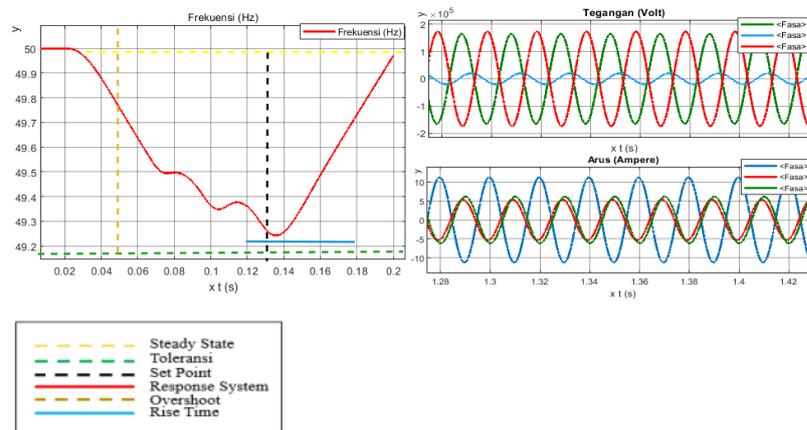
Gambar 4. 11 Hasil pengujian dari bus 10

Gambar 4.11 merupakan keluaran dari frekuensi, tegangan, dan arus pada bus 10 dengan tanggapan awal sistem IEEE 14 BUS yang tidak terintegrasi dengan

pembangkit energi terbarukan dan *load frequency control*. Dengan nilai keluaran pada frekuensi 50Hz, dan turun sampai dengan 48,6Hz pada *set time* 0,04 detik. Dimana kondisi *steady state* yaitu 50Hz dengan batas toleransi 49Hz sampai dengan 51Hz. untuk nilai keluaran dari tegangan mencapai 200kVA dan arus mencapai 20A.

11. Bus 11

Pada Gambar 4.12 terdapat hasil pengujian yang mencakup nilai frekuensi, tegangan, dan arus pada bus 11.

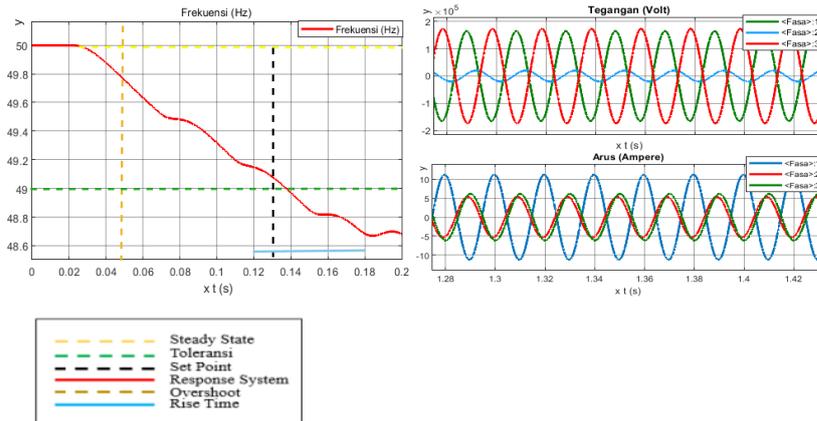


Gambar 4. 12 Hasil pengujian dari bus 11

Gambar 4.12 merupakan keluaran frekuensi, tegangan, dan arus pada bus 11 dengan tanggapan awal sistem IEEE 14 BUS yang tidak terintegrasi dengan pembangkit energi terbarukan dan *load frequency control*. Dengan nilai keluaran pada frekuensi 0Hz, dan turun sampai dengan 49.2Hz pada *set time* 0.04 detik. Kembali ke kondisi *steady state* pada *set time* 0.14 sampai dengan 0.2 detik. Dimana kondisi *steady state* yaitu 50Hz dengan batas toleransi 49Hz sampai dengan 51Hz. untuk nilai keluaran dari tegangan mencapai 200kVA dan arus mencapai 10A.

12. Bus 12

Pada Gambar 4.13 terdapat hasil pengujian yang mencakup nilai frekuensi, tegangan, dan arus pada bus 12.

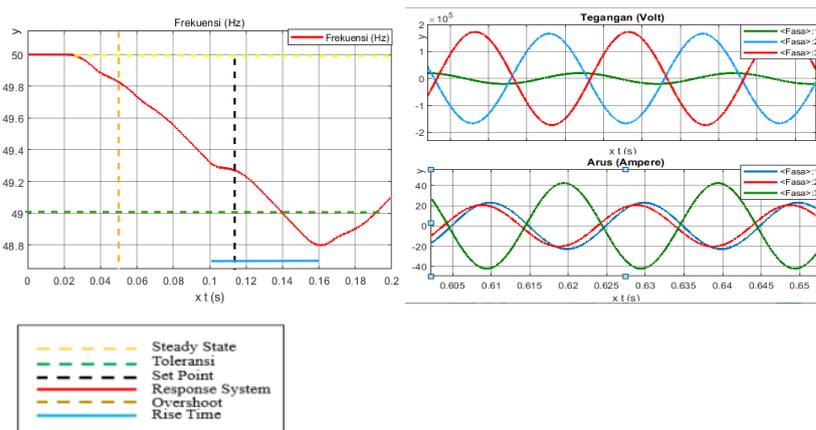


Gambar 4. 13 Hasil pengujian dari bus 12

Gambar 4.13 merupakan keluaran dari frekuensi, tegangan, dan arus pada bus 12 dengan tanggapan awal sistem IEEE 14 BUS yang tidak terintegrasi dengan pembangkit energi terbarukan dan *load frequency control*. Dengan nilai keluaran pada frekuensi 50Hz, dan turun sampai dengan 48,6Hz pada *set time* 0,04 detik. Dimana kondisi *steady state* yaitu 50Hz dengan batas toleransi 49Hz sampai dengan 51Hz. untuk nilai keluaran dari tegangan mencapai 200kVA dan arus mencapai 10A.

13. Bus 13

Gambar 4.14 merupakan keluaran dari frekuensi, tegangan, dan arus pada bus 13.



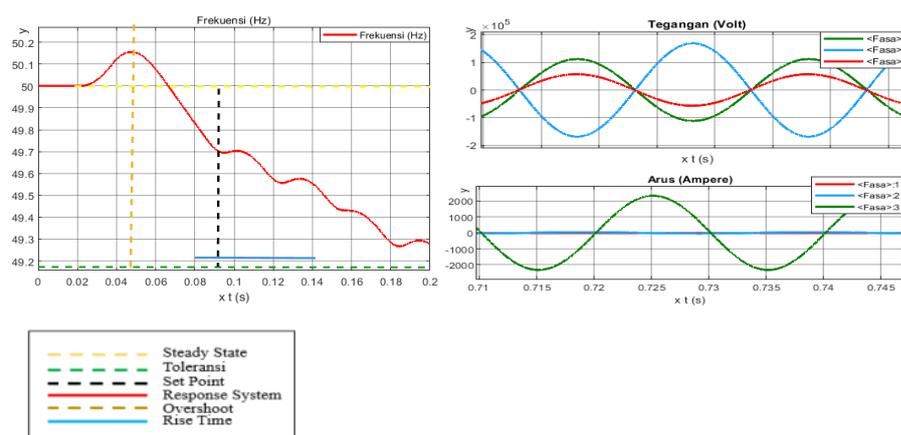
Gambar 4. 14 Hasil pengujian dari bus 13

Gambar 4.14 merupakan hasil pengujian di bus 13 dengan tanggapan awal sistem IEEE 14 BUS yang tidak terintegrasi dengan pembangkit energi terbarukan

dan *load frequency control*. Dengan nilai keluaran pada frekuensi 50Hz, dan turun sampai dengan 48,8Hz pada *set time* 0,02 detik. Dimana kondisi *steady state* yaitu 50Hz dengan batas toleransi 49Hz sampai dengan 51Hz. untuk nilai keluaran dari tegangan mencapai 200kVA dan arus mencapai 40A.

14. Bus 14

Gambar 4.15 merupakan keluaran dari frekuensi, tegangan, dan arus pada bus 14.



Gambar 4. 15 Hasil pengujian dari bus 14

Gambar 4.15 hasil pengujian pada bus 14 dengan tanggapan awal sistem IEEE 14 BUS yang tidak terintegrasi dengan pembangkit energi terbarukan dan *load frequency control*. Dengan nilai keluaran pada frekuensi 50Hz, dan mengalami kenaikan pada saat *set time* 0,03 dengan nilai frekuensi 50,2Hz turun sampai dengan 49.2Hz pada *set time* 0,04 detik. Dimana kondisi *steady state* yaitu 50Hz dengan batas toleransi 49Hz sampai dengan 51Hz. untuk nilai keluaran dari tegangan mencapai 200kVA dan arus mencapai 2kA.

Tabel 4. 3 Hasil Simulasi Dari Bus 1 sampai dengan Bus 14.

Bus	Frekuensi (Hz)	Set Time	Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)
Bus 1	48,4 Hz	0,04 Detik	200kVA	1kA
Bus 2	49 Hz	0,06 Detik	200kVA	1kA
Bus 3	48,8 Hz	0,04 Detik	200kVA	1kA
Bus 4	48,8 Hz	0,04 Detik	200kVA	1kA
Bus 5	48,4 Hz	0,05 Detik	200kVA	20A
Bus 6	48,8 Hz	0,04 Detik	200kVA	1kA
Bus 7	48,4 Hz	0,04 Detik	200kVA	1kA
Bus 8	48,4 Hz	0,04 Detik	200kVA	1kA
Bus 9	48,8 Hz	0,04 Detik	200kVA	1kA
Bus 10	48,6 Hz	0,04 Detik	200kVA	20A
Bus 11	49,2 Hz	0,04 Detik	200kVA	10A
Bus 12	48,6 Hz	0,04 Detik	200kVA	10A
Bus 13	48,8 Hz	0,02 Detik	200kVA	40A
Bus 14	49,2 Hz	0,04 Detik	200kVA	2KA
Rata-Rata	49 Hz	0.04 Detik	200kVA	1kA

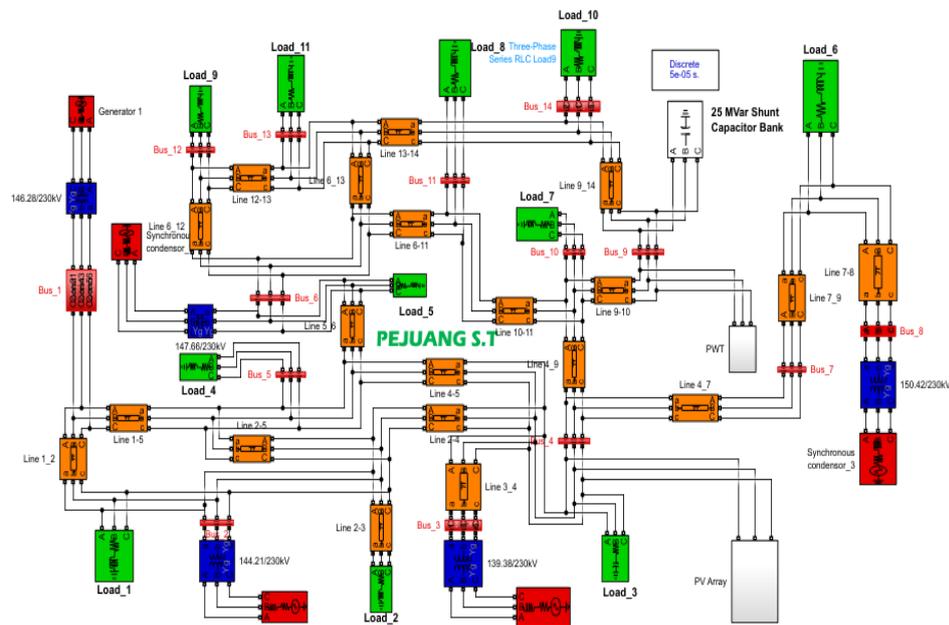
Pada tabel 4.3 Hasil dari simulasi sistem IEEE 14 BUS yang tidak terintegrasi dengan pembangkit listrik energi terbarukan dan LFC. Dengan nilai rata-rata frekuensi sebesar 49Hz dan tegangan sebesar 200kVA serta nilai arus 1kA dengan *set time* 0,04 detik.

4.1.3 Kesimpulan Hasil Pengujian Dari Simulasi Bus 1 Sampai Dengan Bus 14

Berdasarkan hasil pengujian dari bus 1 sampai dengan bus 14 pada sistem IEEE 14 BUS yang tidak terintegrasi dengan pembangkit energi terbarukan dan pengendali frekuensi, diperoleh hasil rata-rata untuk nilai frekuensinya masi berada pada batas toleransi yaitu 49Hz sampai dengan 50Hz. Dengan nilai tegangan sebesar 200kVA dan nilai arus sebesar 1k sampai 2kA.

4.2 Analisa Pemodelan Sistem Pembangkit IEEE 14 BUS Yang Terintegrasi Dengan Pembangkit Listrik Energi Terbarukan (PLTS dan PLTB)

Pada tahap ini merupakan pemodelan sistem pembangkit IEEE 14 BUS yang terintegrasi dengan pembangkit Energi Terbarukan. Dengan sumber Energi Terbarukan yang digunakan adalah Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu atau Angin (PLTB). Sistem IEEE 14 BUS yang terintegrasi dengan pembangkit listrik energi terbarukan dapat dilihat pada Gambar 4.16.



Gambar 4. 16 Sistem IEEE 14 BUS yang terintegrasi dengan pembangkit listrik energi terbarukan. (PLTS) dan (PLTB)

Pada Gambar 4.16 pembangkit energi terbarukan terintegrasi dengan IEEE 14 BUS yang terletak pada bus 4 yang terintegrasi dengan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) dan pada bus 9 yang terintegrasi dengan pembangkit listrik energi bayu atau angin (PLTB).

4.2.1 Parameter Sistem

Parameter sistem IEEE 14 BUS yang terintegrasi dengan pembangkit listrik energi terbarukan (PLTS) dan (PLTB) berdasarkan standar yang digunakan sebagai bahan uji coba analisa sistem tenaga listrik. Dapat dilihat pada tabel 4.4.

Tabel 4. 4 Nilai Parameter Pembangkit IEEE 14 BUS

Pembangkit	Parameter P (KVA)	Parameter f (Hz)
Pembangkit 1	146.3 KVA	50 Hz
Pembangkit 2	144.2 KVA	50 Hz
Pembangkit 3	139.3 KVA	50 Hz
Pembangkit 4	150.4 KVA	50 Hz
Pembangkit 5	147.6 KVA	50 Hz
Pembangkit PLTS	50 KVA	50 Hz
Pembangkit PLTB	50 KVA	50 Hz

Tabel 4.4 menunjukkan kapasitas parameter untuk setiap pembangkit yang terdapat dalam sistem IEEE 14 BUS yang terdiri dari lima pembangkit dan pembangkit energi terbarukan (PLTS) dan (PLTB) Masing-masing pembangkit memiliki kapasitasnya sendiri, dengan pembangkit pertama memiliki kapasitas sebesar 146.3 KVA, pembangkit kedua memiliki kapasitas 144.2 KVA, pembangkit ketiga memiliki kapasitas 139.3 KVA, pembangkit keempat memiliki kapasitas 150.4 KVA, dan pembangkit kelima memiliki kapasitas 147.6 KVA. PLTS dengan kapasitas 50KVA dan PLTB dengan kapasitas 50KVA Dengan parameter frekuensi masing-masing pembangkit sebesar 50Hz.

Tabel 4. 5 Nilai Parameter Beban

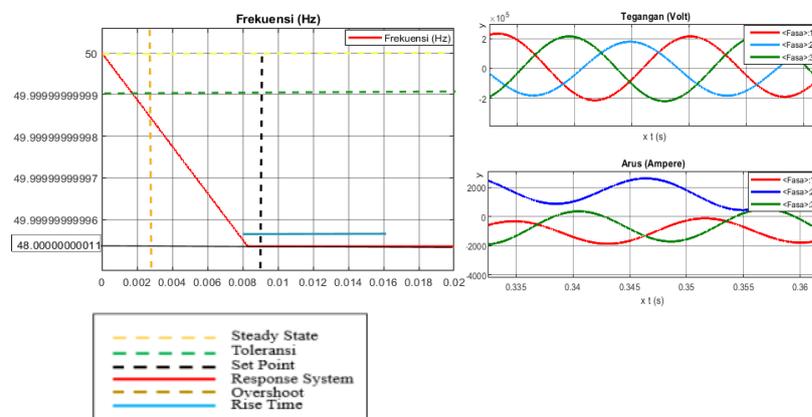
Beban	ΔP (KVA)
Beban 1	230.000
Beban 2	230.000
Beban 3	230.000
Beban 4	230.000
Beban 5	230.000
Beban 6	230.000
Beban 7	230.000
Beban 8	230.000
Beban 9	230.000
Beban 10	230.000
Beban 11	230.000

Pada tabel 4.5 merupakan masing-masing nilai dari parameter setiap beban yang dimiliki oleh sistem IEEE 14 BUS, dengan rata-rata beban sebesar 230.000 KVA. Berdasarkan pengujian simulasi sistem IEEE 14 BUS pada *software Matlab Simulink 2021a* dari bus 1 sampai bus 14 yang diujikan sebagai berikut:

4.2.2 Hasil Simulasi Dari Sistem IEEE 14 BUS Yang Terintegrasi Dengan Pembangkit Listrik Energi Terbarukan (PLTS) dan (PLTB)

1. Bus 1

Pada Gambar 4.17 adalah hasil dari tanggapan pengujian bus 1

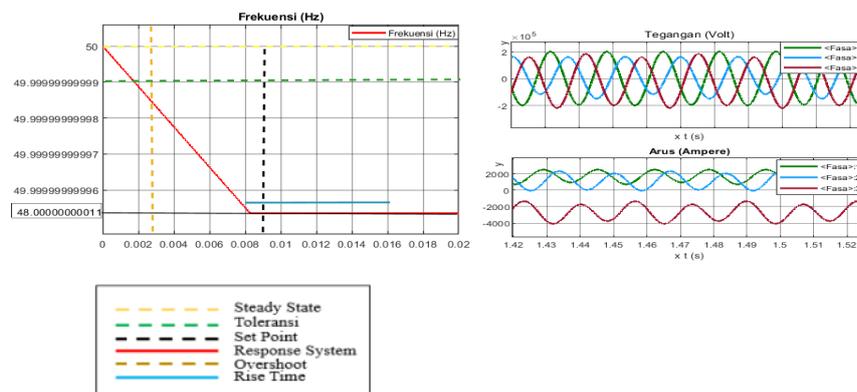


Gambar 4. 17 Hasil pengujian pada bus 1

Pada Gambar 4.17. merupakan hasil keluaran dari bus 1 pada sistem IEEE 14 BUS yang terintegrasi dengan pembangkit energi terbarukan (PLTS) dan (PLTB), dengan tanggapan awal keluaran frekuensi 50Hz pada *set time* 0, detik dan langsung mengalami penurunan frekuensi sampai dengan 48Hz pada *set time* 0,008 detik secara kontinu masi berada pada 48Hz sampai dengan *set time* 0,02. Ini terjadi akibat penambahan pembangkit energi terbarukan, yang dimana energi terbarukan ini dianggap beban oleh sistem IEEE 14 BUS. Oleh karena itu, ini melebihi kapasitas beban yang mengakibatkan frekuensi tidak stabil atau *drop* hal ini mempengaruhi kestabilan pada sistem pembangkit. untuk nilai keluaran dari tegangan mencapai 200kVA dan nilai dari keluaran arus sebesar 2kA.

2. Bus 2

Pada Gambar 4.18 adalah hasil dari tanggapan pengujian bus 2

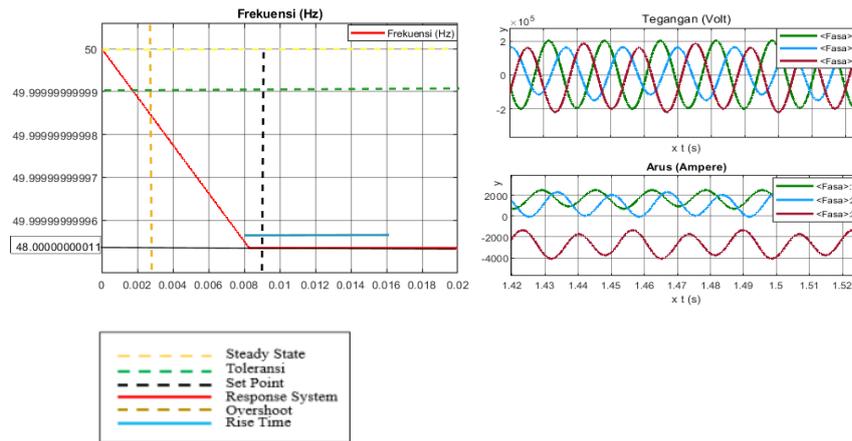


Gambar 4. 18 Hasil pengujian pada bus 2

Berdasarkan Gambar 4.18, hasil pengujian dari bus 2 yaitu dengan keluaran frekuensi 50Hz pada *set time* 0, detik dan langsung mengalami penurunan frekuensi sampai dengan 48Hz pada *set time* 0,008 detik secara kontinu masi berada pada 48Hz sampai dengan *set time* 0,02. hal ini terjadi akibat penambahan pembangkit energi terbarukan, yang dimana energi terbarukan ini dianggap beban oleh sistem IEEE 14 BUS. Oleh karena itu, ini melebihi kapasitas beban yang mengakibatkan frekuensi tidak stabil atau *drop*, untuk nilai keluaran dari tegangan mencapai 200kVA dan nilai dari keluaran arus sebesar 2kA.

3. Bus 3

Pada Gambar 4.19 adalah hasil dari tanggapan pengujian bus 3

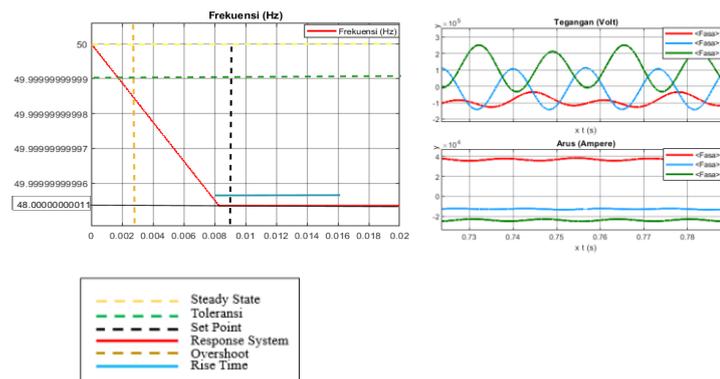


Gambar 4. 19 Hasil pengujian pada bus 3

Berdasarkan Gambar 4.19, Hasil pengujian pada bus 3 menunjukkan bahwa pada saat *set time* 0 detik, frekuensinya 50Hz. Namun, dalam *set time* 0,008 sampai 0,02 detik, frekuensi tersebut mengalami penurunan kontinu hingga mencapai 48Hz. Penurunan ini disebabkan oleh penambahan pembangkit listrik energi terbarukan yang dianggap sebagai beban tambahan oleh sistem IEEE 14 BUS. Hal ini mengakibatkan beban sistem melebihi kapasitasnya, yang menyebabkan ketidakstabilan frekuensi serta frekuensi turun atau *drop*. Untuk nilai keluaran tegangan sebesar 200kVA dan arus keluaran sebesar 2kA.

4. Bus 4

Pada Gambar 4.20 adalah hasil dari tanggapan pengujian bus 4



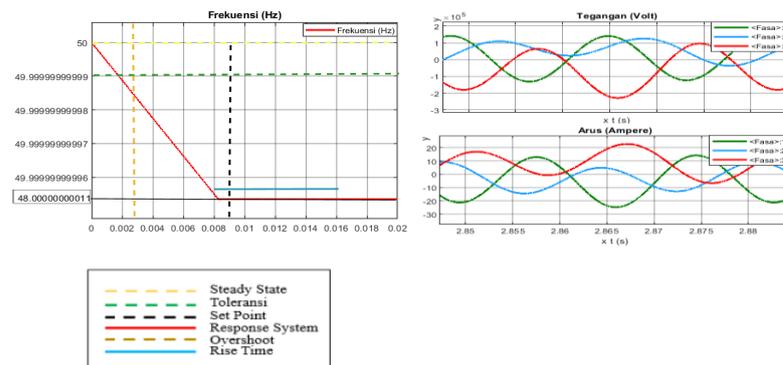
Gambar 4. 20 Hasil pengujian pada bus 4

Berdasarkan Gambar 4.20. hasil pengujian dari bus 4 menunjukkan bahwa pada saat *set time* 0 detik, frekuensinya 50Hz. Namun, dalam *set time* 0,008 sampai 0,02 detik, frekuensi tersebut mengalami penurunan kontinu hingga mencapai

48Hz. Penurunan ini disebabkan oleh penambahan pembangkit listrik energi terbarukan yang dianggap sebagai beban tambahan oleh sistem IEEE 14 BUS. Hal ini mengakibatkan beban sistem melebihi kapasitasnya, yang menyebabkan ketidakstabilan frekuensi dan mengalami fluktuasi atau penurunan yang tidak diinginkan. Untuk nilai keluaran tegangan sebesar 200kVA dan arus keluaran sebesar 40kA.

5. Bus 5

Pada Gambar 4.21 adalah hasil dari tanggapan pengujian bus 5

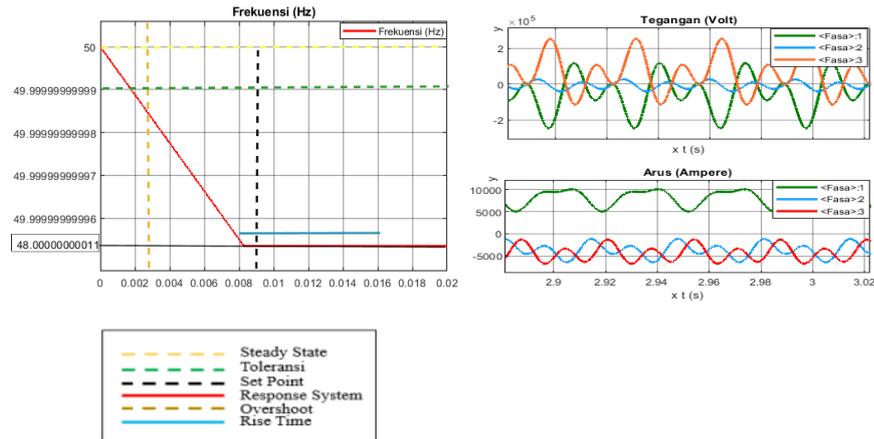


Gambar 4. 21 Hasil pengujian pada bus 5

Berdasarkan Gambar 4.21. hasil pengujian dari bus 5 menunjukkan bahwa pada saat *set time* 0 detik, frekuensinya 50Hz. Namun, dalam *set time* 0,008 sampai 0,02 detik, frekuensi tersebut mengalami penurunan secara kontinu hingga mencapai 48Hz. Penurunan ini disebabkan oleh penambahan pembangkit listrik energi terbarukan yang dianggap sebagai beban tambahan oleh sistem IEEE 14 BUS. Hal ini mengakibatkan beban sistem melebihi kapasitasnya, yang menyebabkan ketidakstabilan frekuensi dan mengalami fluktuasi atau penurunan yang tidak diinginkan. Untuk nilai keluaran tegangan sebesar 200kVA dan arus keluaran sebesar 20A.

6. Bus 6

Pada Gambar 4.22 adalah hasil dari tanggapan pengujian bus 6

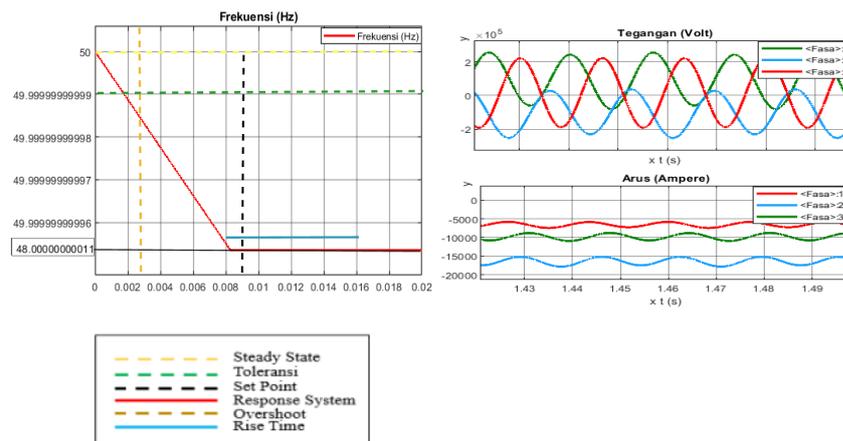


Gambar 4. 22 Hasil pengujian pada bus 6

Berdasarkan Gambar 4.22. hasil pengujian dari bus 6 menunjukkan bahwa pada saat *set time* 0 detik, frekuensinya 50Hz. Namun, dalam *set time* 0,008 sampai 0,02 detik, frekuensi tersebut mengalami penurunan secara kontinu hingga mencapai 48Hz. Penurunan ini disebabkan oleh penambahan pembangkit listrik energi terbarukan yang dianggap sebagai beban tambahan oleh sistem IEEE 14 BUS. Hal ini mengakibatkan beban sistem melebihi kapasitasnya, yang menyebabkan ketidakstabilan frekuensi dan mengalami fluktuasi atau penurunan yang tidak diinginkan. Untuk nilai keluaran tegangan sebesar 200kVA dan arus keluaran sebesar 1kA.

7. Bus 7

Pada Gambar 4.23 adalah hasil dari tanggapan pengujian bus 7



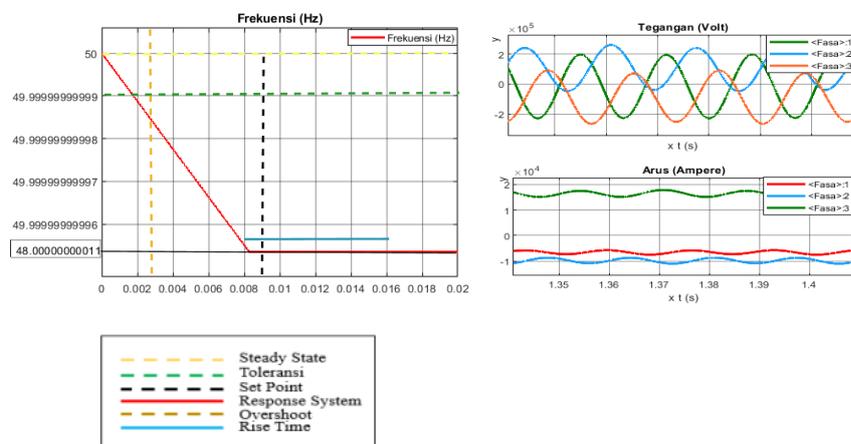
Gambar 4. 23 Hasil pengujian pada bus 7

Berdasarkan Gambar 4.23. hasil pengujian dari bus 7 menunjukkan bahwa pada saat *set time* 0 detik, frekuensinya 50Hz. Namun, dalam *set time* 0,008 sampai

0,02 detik, frekuensi tersebut mengalami penurunan secara kontinu hingga mencapai 48Hz. Penurunan ini disebabkan oleh penambahan pembangkit listrik energi terbarukan yang dianggap sebagai beban tambahan oleh sistem IEEE 14 BUS. Hal ini mengakibatkan beban sistem melebihi kapasitasnya, yang menyebabkan ketidakstabilan frekuensi dan mengalami fluktuasi atau penurunan yang tidak diinginkan. Untuk nilai keluaran tegangan sebesar 200kVA dan arus keluaran sebesar 1kA.

8. Bus 8

Pada Gambar 4.24 adalah hasil dari tanggapan pengujian bus 8

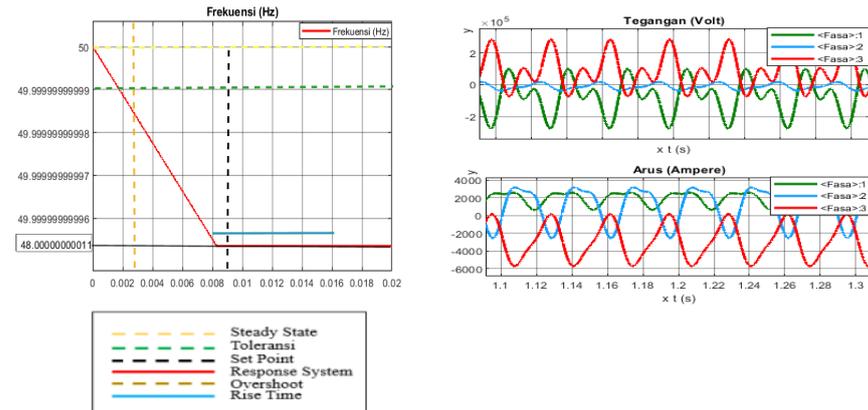


Gambar 4. 24 Hasil pengujian pada bus 8

Berdasarkan Gambar 4.24. hasil pengujian dari bus 8 menunjukkan bahwa pada saat *set time* 0 detik, frekuensinya 50Hz. Namun, dalam *set time* 0,008 sampai 0,02 detik, frekuensi tersebut mengalami penurunan secara kontinu hingga mencapai 48Hz. Penurunan ini disebabkan oleh penambahan pembangkit listrik energi terbarukan yang dianggap sebagai beban tambahan oleh sistem IEEE 14 BUS. Hal ini mengakibatkan beban sistem melebihi kapasitasnya, yang menyebabkan ketidakstabilan frekuensi dan mengalami fluktuasi atau penurunan yang tidak diinginkan. Untuk nilai keluaran tegangan sebesar 200kVA dan arus keluaran sebesar 2A.

9. Bus 9

Pada Gambar 4.25 adalah hasil dari tanggapan pengujian bus 9

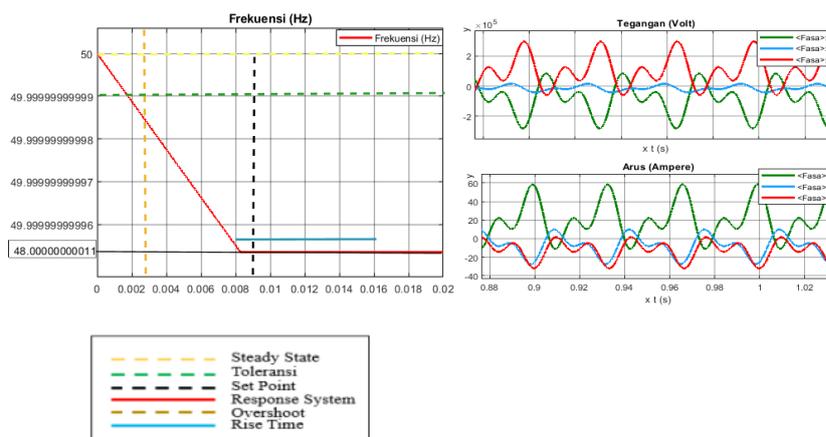


Gambar 4. 25 Hasil pengujian pada bus 9

Berdasarkan Gambar 4.25. hasil pengujian dari bus 9 menunjukkan bahwa pada saat *set time* 0 detik, frekuensinya 50Hz. Namun, dalam *set time* 0,008 sampai 0,02 detik, frekuensi tersebut mengalami penurunan secara kontinu hingga mencapai 48Hz. Penurunan ini disebabkan oleh penambahan pembangkit listrik energi terbarukan yang dianggap sebagai beban tambahan oleh sistem IEEE 14 BUS. Hal ini mengakibatkan beban sistem melebihi kapasitasnya, yang menyebabkan ketidakstabilan frekuensi dan mengalami fluktuasi atau penurunan yang tidak diinginkan. Untuk nilai keluaran tegangan sebesar 200kVA dan arus keluaran sebesar 4kA.

10. Bus 10

Pada Gambar 4.26 adalah hasil dari tanggapan pengujian bus 10

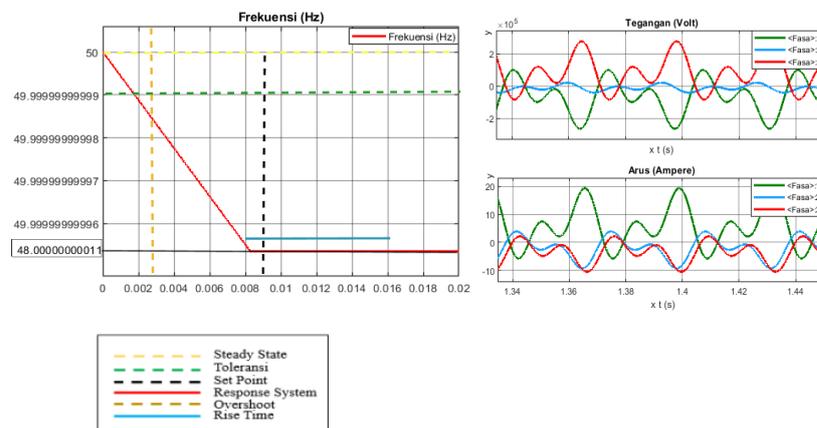


Gambar 4. 26 Hasil pengujian pada bus 10

Berdasarkan Gambar 4.26. hasil pengujian dari bus 10 menunjukkan bahwa pada saat *set time* 0 detik, frekuensinya 50Hz. Namun, dalam *set time* 0,008 sampai 0,02 detik, frekuensi tersebut mengalami penurunan secara kontinu hingga mencapai 48Hz. Penurunan ini disebabkan oleh penambahan pembangkit listrik energi terbarukan yang dianggap sebagai beban tambahan oleh sistem IEEE 14 BUS. Hal ini mengakibatkan beban sistem melebihi kapasitasnya, yang menyebabkan ketidakstabilan frekuensi dan mengalami fluktuasi atau penurunan yang tidak diinginkan. Untuk nilai keluaran tegangan sebesar 200kVA dan arus keluaran sebesar 60A.

11. Bus 11

Pada Gambar 4.27 adalah hasil dari tanggapan pengujian bus 11

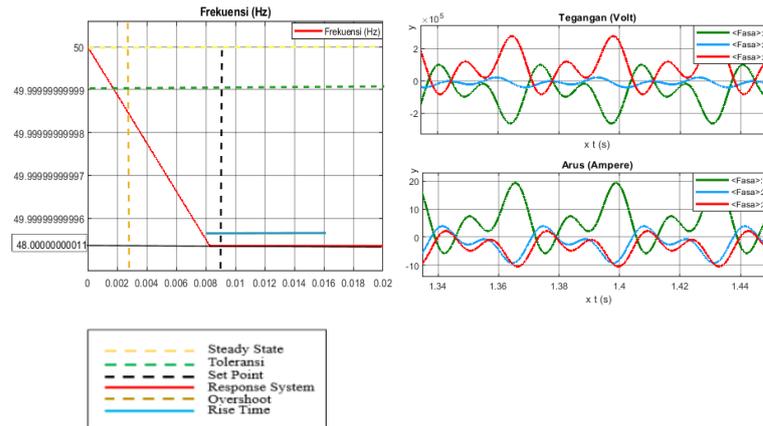


Gambar 4. 27 Hasil pengujian pada bus 11

Berdasarkan Gambar 4.27. hasil pengujian dari bus 11 menunjukkan bahwa pada saat *set time* 0 detik, frekuensinya 50Hz. Namun, dalam *set time* 0,008 sampai 0,02 detik, frekuensi tersebut mengalami penurunan secara kontinu hingga mencapai 48Hz. Penurunan ini disebabkan oleh penambahan pembangkit listrik energi terbarukan yang dianggap sebagai beban tambahan oleh sistem IEEE 14 BUS. Hal ini mengakibatkan beban sistem melebihi kapasitasnya, yang menyebabkan ketidakstabilan frekuensi dan mengalami fluktuasi atau penurunan yang tidak diinginkan. Untuk nilai keluaran tegangan sebesar 200kVA dan arus keluaran sebesar 20A.

12. Bus 12

Pada Gambar 4.28 adalah hasil dari tanggapan pengujian bus 12

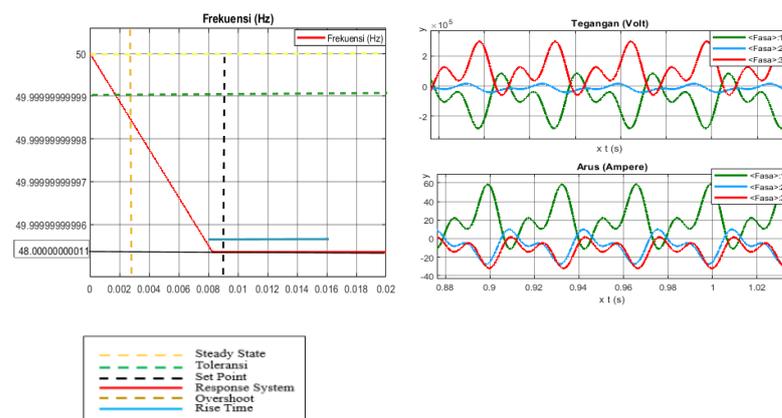


Gambar 4. 28 Hasil pengujian pada bus 12

Berdasarkan Gambar 4.28. hasil pengujian dari bus menunjukkan bahwa pada saat *set time* 0 detik, frekuensinya 50Hz. Namun, dalam *set time* 0,008 sampai 0,02 detik, frekuensi tersebut mengalami penurunan secara kontinu hingga mencapai 48Hz. Penurunan ini disebabkan oleh penambahan pembangkit listrik energi terbarukan yang dianggap sebagai beban tambahan oleh sistem IEEE 14 BUS. Hal ini mengakibatkan beban sistem melebihi kapasitasnya, yang menyebabkan ketidakstabilan frekuensi dan mengalami fluktuasi atau penurunan yang tidak diinginkan. Untuk nilai keluaran tegangan sebesar 200kVA dan arus keluaran sebesar 20A.

13. Bus 13

Pada Gambar 4.29 adalah hasil dari tanggapan pengujian bus 13



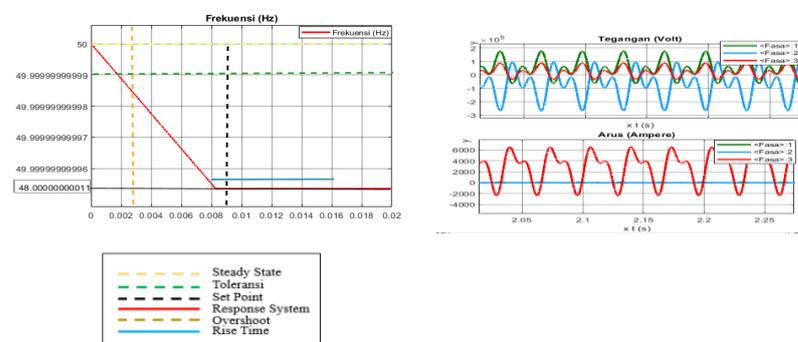
Gambar 4. 29 Hasil pengujian pada bus 13

Berdasarkan Gambar 4.29. hasil pengujian dari bus 13 menunjukkan bahwa pada saat *set time* 0 detik, frekuensinya 50Hz. Namun, dalam *set time* 0,008 sampai

0,02 detik, frekuensi tersebut mengalami penurunan secara kontinu hingga mencapai 48Hz. Penurunan ini disebabkan oleh penambahan pembangkit listrik energi terbarukan yang dianggap sebagai beban tambahan oleh sistem IEEE 14 BUS. Hal ini mengakibatkan beban sistem melebihi kapasitasnya, yang menyebabkan ketidakstabilan frekuensi dan mengalami fluktuasi atau penurunan yang tidak diinginkan. Untuk nilai keluaran tegangan sebesar 200kVA dan arus keluaran sebesar 60A.

14. Bus 14

Pada Gambar 4.30 adalah hasil dari tanggapan pengujian bus 14



Gambar 4. 30 Hasil pengujian pada bus 14

Berdasarkan Gambar 4.30 hasil dari pengujian bus 14 menunjukkan bahwa pada saat *set time* 0 detik, frekuensinya 50Hz. Namun, dalam *set time* 0,008 sampai 0,02 detik, frekuensi tersebut mengalami penurunan secara kontinu hingga mencapai 48Hz. Penurunan ini disebabkan oleh penambahan pembangkit listrik energi terbarukan yang dianggap sebagai beban tambahan oleh sistem IEEE 14 BUS. Hal ini mengakibatkan beban sistem melebihi kapasitasnya, yang menyebabkan ketidakstabilan frekuensi dan mengalami fluktuasi atau penurunan yang tidak diinginkan. Untuk nilai tegangan 200kVA dan nilai arus sendiri yaitu 6kA. ini terjadi dikarenakan jauhnya bus 14 dari sistem pembangkit yang mengakibatkan rugi-rugi daya, yang menimbulkan fluktuasi pada frekuensi.

Tabel 4. 6 Hasil Simulasi Dari Bus 1 sampai dengan Bus 14.

Bus	Frekuensi (Hz)	Set Time	Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)
Bus 1	48,01 Hz	0,008 Detik	200kVA	2kA
Bus 2	48,01 Hz	0,008 Detik	200kVA	2kA
Bus 3	48,01 Hz	0,008 Detik	200kVA	2kA
Bus 4	48,01 Hz	0,008 Detik	200kVA	40kA
Bus 5	48,01 Hz	0,008 Detik	200kVA	20A
Bus 6	48,01 Hz	0,008 Detik	200kVA	1kA
Bus 7	48,01 Hz	0,008 Detik	200kVA	1kA
Bus 8	48,01 Hz	0,008 Detik	200kVA	20kA
Bus 9	48,01 Hz	0,008 Detik	200kVA	4kA
Bus 10	48,01 Hz	0,008 Detik	200kVA	60A
Bus 11	48,01 Hz	0,008 Detik	200kVA	20A
Bus 12	48,01 Hz	0,008 Detik	200kVA	20A
Bus 13	48,01 Hz	0,008 Detik	200kVA	60A
Bus 14	48,01 Hz	0,008 Detik	200kVA	6kA
Rata-Rata	48,01 Hz	0.008 Detik	200kVA	1k-2kA

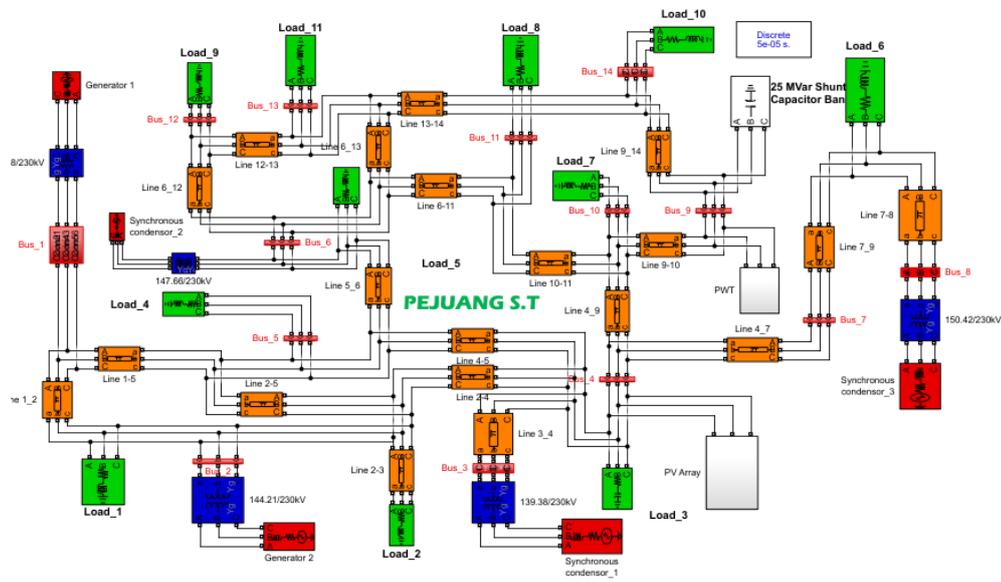
Berdasarkan tabel 4.6 hasil dari bus 1 sampai dengan bus 14 pada sistem IEEE 14 BUS yang terintegrasi dengan pembangkit listrik energi terbarukan, diperoleh frekuensi yang tidak stabil yaitu pada 48,01Hz dengan keluaran tegangan sebesar 200kVA dan arus rata-rata sebesar 1kA sampai dengan 2kA.

4.2.3 Kesimpulan Hasil Simulasi Dari Sistem IEEE 14 BUS Yang Terintegrasi Dengan Pembangkit Energi Terbarukan (PLTS) dan (PLTB).

Berdasarkan hasil dari pengujian dari bus 1 sampai dengan bus 14 pada *set time* 0,008 sampai 0,02 detik. Frekuensi mengalami penurunan sebesar 48Hz, secara terus menerus dengan nilai tegangan yang sama yaitu 200kVA dan nilai arus yang turun mencapai 20A. Ini menunjukkan jika sistem IEEE 14 BUS yang terintegrasi dengan pembangkit listrik energi terbarukan mengalami gangguan yang sangat serius hal ini perlu adanya mekanisme pengaturan frekuensi dalam sistem IEEE 14 BUS yang terintegrasi dengan pembangkit listrik energi terbarukan.

4.3 Analisa Pemodelan Sistem Pembangkit IEEE 14 BUS Yang Terintegrasi Dengan Pembangkit Listrik Energi Terbarukan (PLTB dan PLTS) Dengan Sistem Kontrol Frekuensi, *Load Frequency Control* (LFC).

Pada tahap ini merupakan pemodelan sistem pembangkit IEEE 14 BUS yang terintegrasi dengan pembangkit Energi Terbarukan. Yang terkontrol dengan *Load Frequency Control* (LFC). Dengan sumber Energi Terbarukan yang digunakan adalah Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu atau Angin (PLTB). Sistem IEEE 14 BUS yang terintegrasi dengan pembangkit listrik energi terbarukan dan LFC dapat dilihat pada Gambar 4.31.



Gambar 4. 31 Pemodelan IEEE 14 BUS dan pembangkit energi terbarukan dengan LFC

Berdasarkan Gambar 4.31 tentang pemodelan IEEE 14 BUS yang terintegrasi dengan pembangkit energi terbarukan dan *Load Frequency Control* (LFC). *Load Frequency Control* (LFC), juga dikenal sebagai *Frequency Control* atau *Frequency Regulation*, adalah sistem kontrol dalam jaringan listrik yang bertanggung jawab menjaga frekuensi jaringan listrik tetap dalam batas yang diinginkan. Tujuan utama dari LFC adalah menjaga keseimbangan antara pasokan dan permintaan listrik sehingga frekuensi tetap dalam nilai yang diinginkan 50Hz. *Load Frequency Control* (LFC) pada sebuah pembangkit listrik bertujuan untuk menjaga keseimbangan antara daya listrik yang dihasilkan oleh pembangkit dengan permintaan atau beban listrik yang ada dalam sistem pembangkit kelistrikan.

4.3.1 Parameter sistem

Parameter sistem IEEE 14 BUS yang terintegrasi dengan pembangkit listrik energi terbarukan (PLTS) dan (PLTB) dengan *Load Frequency Control* (LFC) berdasarkan standar yang digunakan sebagai bahan uji coba analisa sistem tenaga listrik. Dapat dilihat pada tabel 4.7.

Tabel 4. 7 Nilai Parameter Pembangkit IEEE 14 BUS

Pembangkit	Parameter P (KVA)	Parameter f (Hz)
Pembangkit 1	146.3 KVA	50 Hz
Pembangkit 2	144.2 KVA	50 Hz
Pembangkit 3	139.3 KVA	50 Hz
Pembangkit 4	150.4 KVA	50 Hz
Pembangkit 5	147.6 KVA	50 Hz
Pembangkit PLTS	50 KVA	50 Hz
Pembangkit PLTB	50 KVA	50 Hz

Tabel 4.7 menunjukkan kapasitas parameter untuk setiap pembangkit yang terdapat dalam sistem IEEE 14 BUS yang terdiri dari lima pembangkit dan pembangkit energi terbarukan (PLTS) dan (PLTB) Masing-masing pembangkit memiliki kapasitasnya sendiri, dengan pembangkit pertama memiliki kapasitas sebesar 146.3 KVA, pembangkit kedua memiliki kapasitas 144.2 KVA, pembangkit ketiga memiliki kapasitas 139.3 KVA, pembangkit keempat memiliki kapasitas 150.4 KVA, dan pembangkit kelima memiliki kapasitas 147.6 KVA. PLTS dengan kapasitas 50KVA dan PLTB dengan kapasitas 50KVA Dengan parameter frekuensi masing-masing pembangkit sebesar 50Hz.

Tabel 4. 8 Nilai Parameter Beban

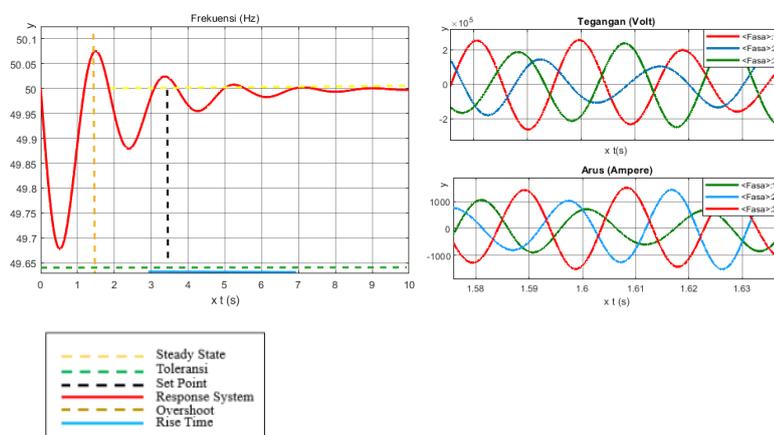
Beban	ΔP (KVA)
Beban 1	230.000
Beban 2	230.000
Beban 3	230.000
Beban 4	230.000
Beban 5	230.000
Beban 6	230.000
Beban 7	230.000
Beban 8	230.000
Beban 9	230.000
Beban 10	230.000
Beban 11	230.000

Pada tabel 4.8 merupakan masing-masing nilai dari parameter setiap beban yang dimiliki oleh sistem IEEE 14 BUS, dengan rata-rata beban sebesar 230.000 KVA. Berdasarkan pengujian simulasi sistem IEEE 14 BUS pada *software Matlab Simulink 2021a* dengan ke-14 bus yang diujikan sebagai berikut:

4.3.2 Hasil Simulasi Dari Sistem IEEE 14 BUS Yang Terintegrasi Dengan Pembangkit Energi Terbarukan (PLTS) dan (PLTB) Dengan LFC.

1. Bus 1

Pada Gambar 4.32 adalah hasil dari tanggapan pengujian bus 1.

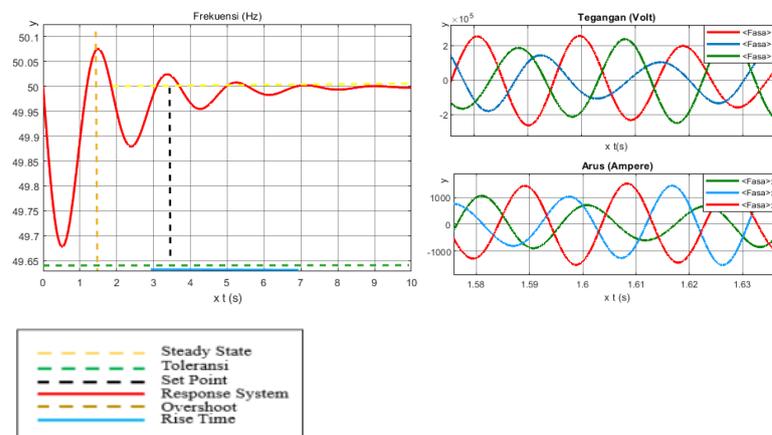


Gambar 4. 32 Hasil pengujian pada bus 1

Berdasarkan Gambar 4.32 hasil dari pengujian bus 1 dengan keluaran nilai frekuensi pada *set time* 0.5 detik. Sempat turun 49,7Hz Namun mengalami *Overshoot* pada *set time* 1 detik. Mencapai 50,05Hz. membutuhkan waktu selama 8 detik untuk Kembali pada kondisi stabil 50Hz. Saat *set time* 9 sampai 10 detik secara kontinu, Untuk keluran dari nilai tegangan 200kVA dan nilai arus sendiri yaitu 1kA. Ini terjadi dikarenakan pada sistem IEEE 14 BUS dan pembangkit listrik energi terbarukan yang telah terintegrasi dengan *Load Frequency Control* (LFC) yang mampu mengontrol frekuensi agar tetap stabil.

2. Bus 2

Pada Gambar 4.33 adalah hasil dari tanggapan pengujian bus 2

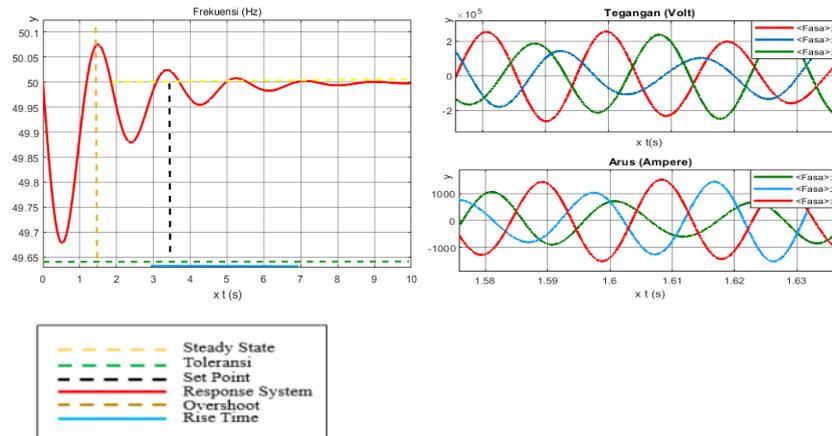


Gambar 4. 33 Hasil pengujian pada bus 2

Berdasarkan Gambar 4.33 hasil dari pengujian bus 2 dengan keluaran nilai frekuensi pada *set time* 0.5 detik. Sempat turun 49,7Hz Namun mengalami *Overshoot* pada *set time* 1 detik. Mencapai 50,05Hz. membutuhkan waktu selama 8 detik untuk kembali pada kondisi stabil 50Hz. Saat *set time* 9 sampai 10 detik secara kontinu. Untuk keluran dari nilai tegangan 200kVA dan nilai arus sendiri yaitu 1kA. Ini terjadi dikarenakan pada sistem IEEE 14 BUS dan pembangkit listrik energi terbarukan telah terintegrasi dengan *Load Frequency Control* (LFC) yang mampu mengontrol frekuensi agar tetap stabil.

3. Bus 3

Pada Gambar 4.34 adalah hasil dari tanggapan pengujian bus 3

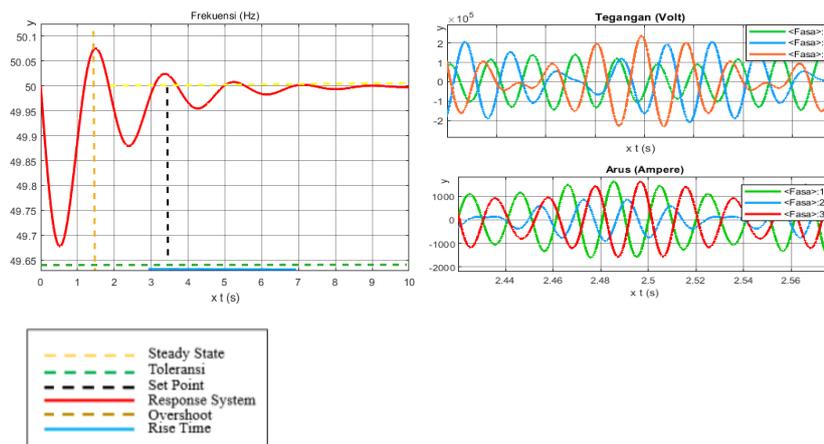


Gambar 4. 34 Hasil pengujian pada bus 3

Berdasarkan Gambar 4.34 hasil dari pengujian bus 3 dengan keluaran nilai frekuensi pada *set time* 0.5 detik. Sempat turun 49,7Hz Namun mengalami *Overshoot* pada *set time* 1 detik. Mencapai 50,05Hz. membutuhkan waktu selama 8 detik untuk kembali pada kondisi stabil 50Hz. Saat *set time* 9 sampai 10 detik secara kontinu. Untuk keluran dari nilai tegangan 200kVA dan nilai arus sendiri yaitu 1kA. Ini terjadi dikarenakan pada sistem IEEE 14 BUS dan pembangkit listrik energi terbarukan telah terintegrasi dengan *Load Frequency Control (LFC)* yang mampu mengontrol frekuensi agar tetap stabil.

4. Bus 4

Pada Gambar 4.35 adalah hasil dari tanggapan pengujian bus 4



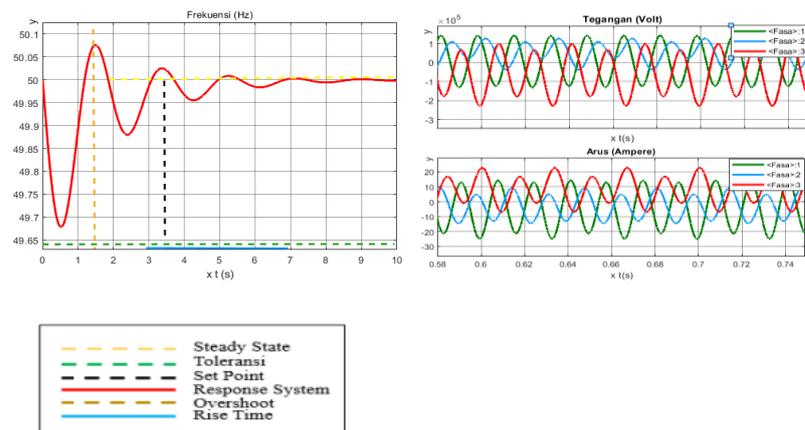
Gambar 4. 35 Hasil pengujian pada bus 4

Berdasarkan Gambar 4.35 hasil dari pengujian bus 4 dengan keluaran nilai frekuensi pada *set time* 0.5 detik. Sempat turun 49,7Hz Namun mengalami *Overshoot* pada *set time* 1 detik. Mencapai 50,05Hz. membutuhkan waktu selama

8 detik untuk kembali pada kondisi stabil 50Hz. Saat *set time* 9 sampai 10 detik secara kontinu. Untuk keluran dari nilai tegangan 200kVA dan nilai arus sendiri yaitu 1kA. Ini terjadi dikarenakan pada sistem IEEE 14 BUS dan pembangkit listrik energi terbarukan telah terintegrasi dengan *Load Frequency Control* (LFC) yang mampu mengontrol frekuensi agar tetap stabil.

5. Bus 5

Pada Gambar 4.36 adalah hasil dari tanggapan pengujian bus 5

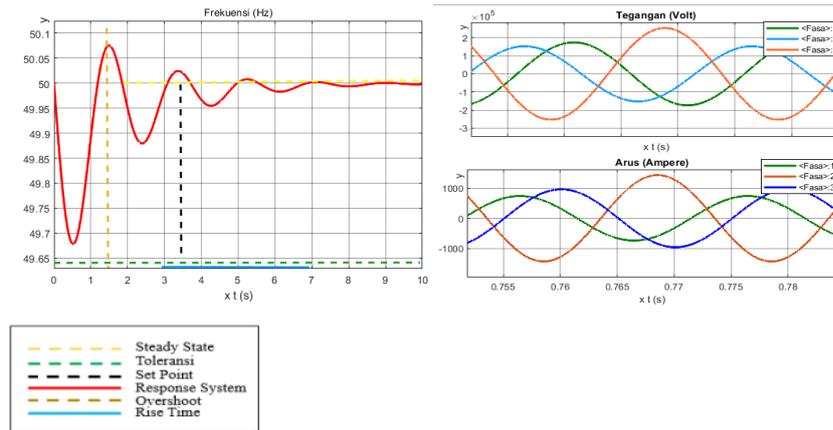


Gambar 4. 36 Hasil pengujian pada bus 5

Berdasarkan Gambar 4.36 hasil dari pengujian bus 5 dengan keluaran nilai frekuensi pada *set time* 0.5 detik. Sempat turun 49,7Hz Namun mengalami *Overshoot* pada *set time* 1 detik. Mencapai 50,05Hz. membutuhkan waktu selama 8 detik untuk kembali pada kondisi stabil 50Hz. Saat *set time* 9 sampai 10 detik secara kontinu. Untuk keluran dari nilai tegangan 200kVA dan nilai arus sendiri yaitu 20A. Ini terjadi dikarenakan pada sistem IEEE 14 BUS dan pembangkit listrik energi terbarukan telah terintegrasi dengan *Load Frequency Control* (LFC) yang mampu mengontrol frekuensi agar tetap stabil.

6. Bus 6

Pada Gambar 4.37 adalah hasil dari tanggapan pengujian bus 6

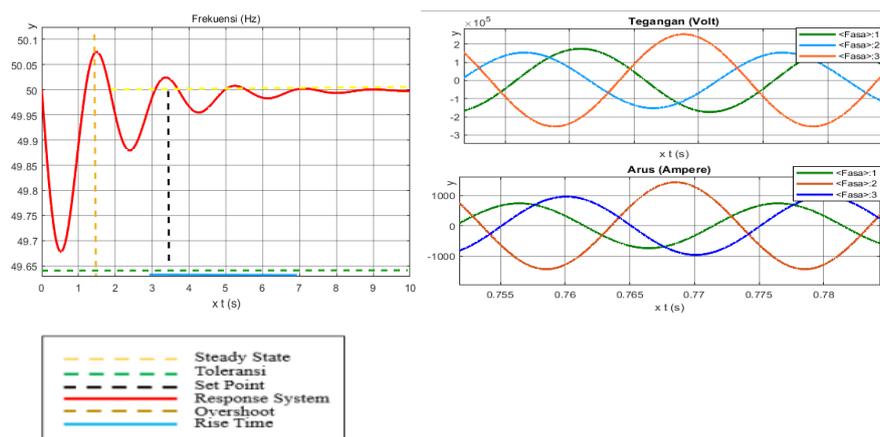


Gambar 4. 37 Hasil pengujian pada bus 6

Berdasarkan Gambar 4.37 hasil dari pengujian bus 6 dengan keluaran nilai frekuensi pada *set time* 0.5 detik. Sempat turun 49,7Hz Namun mengalami *Overshoot* pada *set time* 1 detik. Mencapai 50,05Hz. membutuhkan waktu selama 8 detik untuk kembali pada kondisi stabil 50Hz. Saat *set time* 9 sampai 10 detik secara kontinu. Untuk keluran dari nilai tegangan 200kVA dan nilai arus sendiri yaitu 1kA. Ini terjadi dikarenakan pada sistem IEEE 14 BUS dan pembangkit listrik energi terbarukan telah terintegrasi dengan *Load Frequency Control (LFC)* yang mampu mengontrol frekuensi agar tetap stabil.

7. Bus 7

Pada Gambar 4.38 adalah hasil dari tanggapan pengujian bus 7



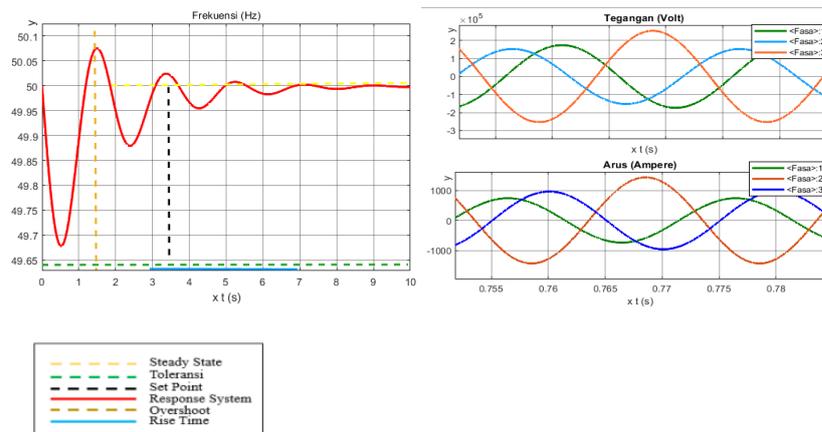
Gambar 4. 38 Hasil pengujian pada bus 7

Berdasarkan Gambar 4.38 hasil dari pengujian bus 7 dengan keluaran nilai frekuensi pada *set time* 0.5 detik. Sempat turun 49,7Hz Namun mengalami *Overshoot* pada *set time* 1 detik. Mencapai 50,05Hz. membutuhkan waktu selama

8 detik untuk kembali pada kondisi stabil 50Hz. Saat *set time* 9 sampai 10 detik secara kontinu. Untuk keluran dari nilai tegangan 200kVA dan nilai arus sendiri yaitu 1kA. Ini terjadi dikarenakan pada sistem IEEE 14 BUS dan pembangkit listrik energi terbarukan telah terintegrasi dengan *Load Frequency Control* (LFC) yang mampu mengontrol frekuensi agar tetap stabil.

8. Bus 8

Pada Gambar 4.39 adalah hasil dari tanggapan pengujian bus 8

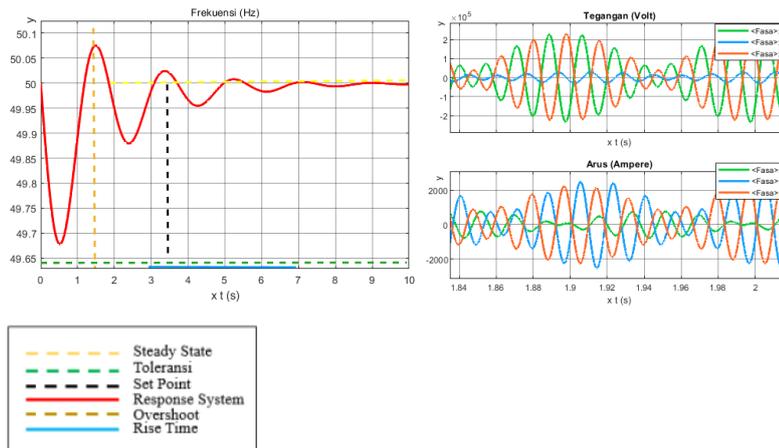


Gambar 4. 39 Hasil pengujian pada bus 8

Berdasarkan Gambar 4.39 hasil dari pengujian bus 8 dengan keluaran nilai frekuensi pada *set time* 0.5 detik. Sempat turun 49,7Hz Namun mengalami *Overshoot* pada *set time* 1 detik. Mencapai 50,05Hz. membutuhkan waktu selama 8 detik untuk kembali pada kondisi stabil 50Hz. Saat *set time* 9 sampai 10 detik secara kontinu. Untuk keluran dari nilai tegangan 200kVA dan nilai arus sendiri yaitu 1kA. Ini terjadi dikarenakan pada sistem IEEE 14 BUS dan pembangkit listrik energi terbarukan telah terintegrasi dengan *Load Frequency Control* (LFC) yang mampu mengontrol frekuensi agar tetap stabil.

9. Bus 9

Pada Gambar 4.40 adalah hasil dari tanggapan pengujian bus 9

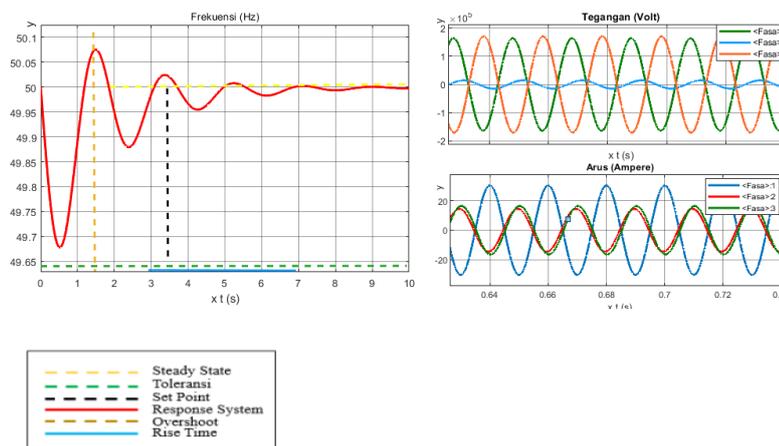


Gambar 4. 40 Hasil pengujian pada bus 9

Berdasarkan Gambar 4.40 hasil dari pengujian bus 9 dengan keluaran nilai frekuensi pada *set time* 0.5 detik. Sempat turun 49,7Hz Namun mengalami *Overshoot* pada *set time* 1 detik. Mencapai 50,05Hz. membutuhkan waktu selama 8 detik untuk kembali pada kondisi stabil 50Hz. Saat *set time* 9 sampai 10 detik secara kontinu. Untuk keluran dari nilai tegangan 200kVA dan nilai arus sendiri yaitu 2kA. Ini terjadi dikarenakan pada sistem IEEE 14 BUS dan pembangkit listrik energi terbarukan telah terintegrasi dengan *Load Frequency Control* (LFC) yang mampu mengontrol frekuensi agar tetap stabil.

10. Bus 10

Pada Gambar 4.41 adalah hasil dari tanggapan pengujian bus 10



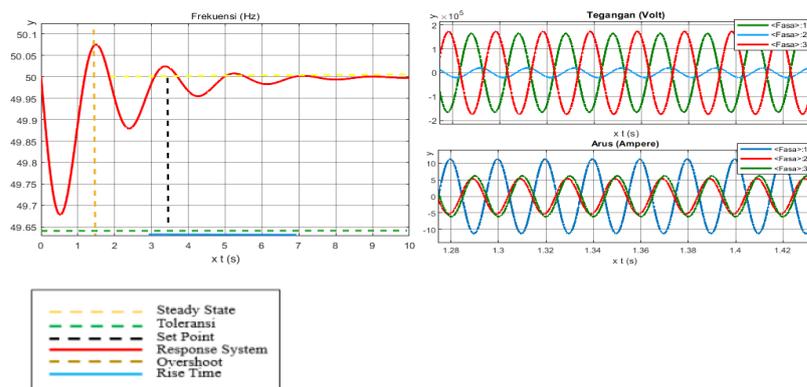
Gambar 4. 41 Hasil pengujian pada bus 10

Berdasarkan Gambar 4.41 hasil dari pengujian bus 10 dengan keluaran nilai frekuensi pada *set time* 0.5 detik. Sempat turun 49,7Hz Namun mengalami *Overshoot* pada *set time* 1 detik. Mencapai 50,05Hz. membutuhkan waktu selama

8 detik untuk kembali pada kondisi stabil 50Hz. Saat *set time* 9 sampai 10 detik secara kontinu. Untuk keluran dari nilai tegangan 200kVA dan nilai arus sendiri yaitu 20A. Ini terjadi dikarenakan pada sistem IEEE 14 BUS dan pembangkit listrik energi terbarukan telah terintegrasi dengan *Load Frequency Control* (LFC) yang mampu mengontrol frekuensi agar tetap stabil.

11. Bus 11

Pada Gambar 4.42 adalah hasil dari tanggapan pengujian bus 11

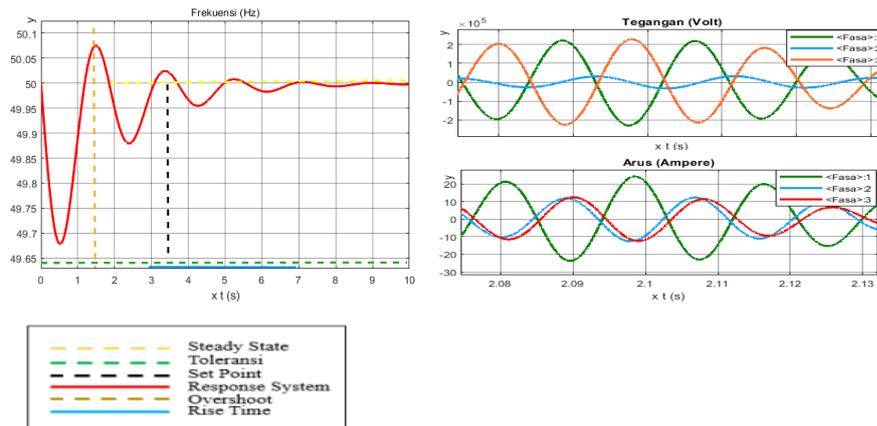


Gambar 4. 42 Hasil pengujian pada bus 11

Berdasarkan Gambar 4.42 hasil dari pengujian bus 11 dengan keluaran nilai frekuensi pada *set time* 0.5 detik. Sempat turun 49,7Hz Namun mengalami *Overshoot* pada *set time* 1 detik. Mencapai 50,05Hz. membutuhkan waktu selama 8 detik untuk kembali pada kondisi stabil 50Hz. Saat *set time* 9 sampai 10 detik secara kontinu. Untuk keluran dari nilai tegangan 200kVA dan nilai arus sendiri yaitu 10A. Ini terjadi dikarenakan pada sistem IEEE 14 BUS dan pembangkit listrik energi terbarukan telah terintegrasi dengan *Load Frequency Control* (LFC) yang mampu mengontrol frekuensi agar tetap stabil.

12. Bus 12

Pada Gambar 4.43 adalah hasil dari tanggapan pengujian bus 12

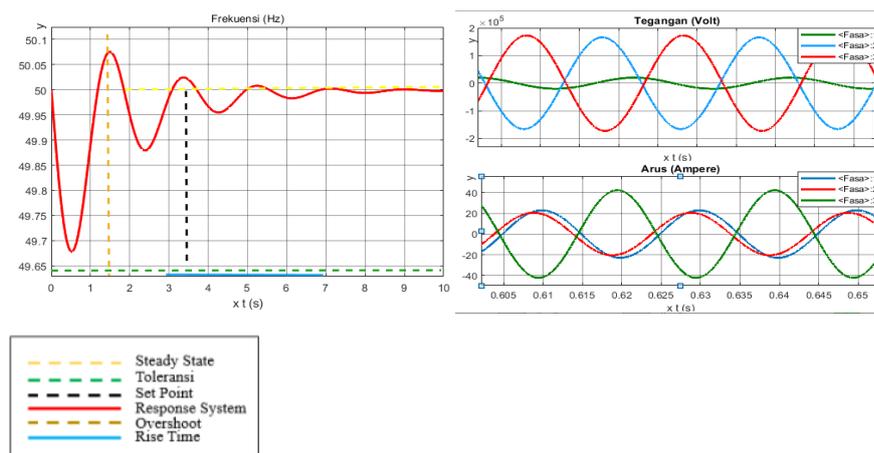


Gambar 4. 43 Hasil pengujian pada bus 12

Berdasarkan Gambar 4.43 hasil dari pengujian bus 12 dengan keluaran nilai frekuensi pada *set time* 0.5 detik. Sempat turun 49,7Hz Namun mengalami *Overshoot* pada *set time* 1 detik. Mencapai 50,05Hz. membutuhkan waktu selama 8 detik untuk kembali pada kondisi stabil 50Hz. Saat *set time* 9 sampai 10 detik secara kontinu. Untuk keluran dari nilai tegangan 200kVA dan nilai arus sendiri yaitu 20A. Ini terjadi dikarenakan pada sistem IEEE 14 BUS dan pembangkit listrik energi terbarukan telah terintegrasi dengan *Load Frequency Control (LFC)* yang mampu mengontrol frekuensi agar tetap stabil.

13. Bus 13

Pada Gambar 4.43 adalah hasil dari tanggapan pengujian bus 13



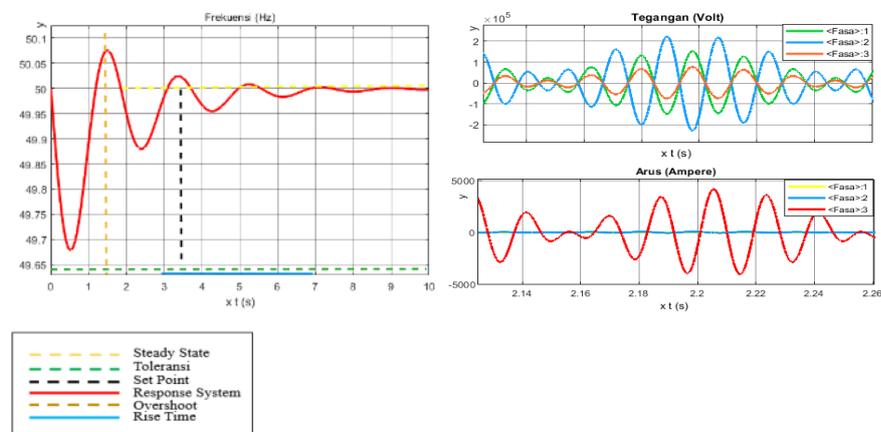
Gambar 4. 44 Hasil pengujian pada bus 13

Berdasarkan Gambar 4.43 hasil dari pengujian bus 13 dengan keluaran nilai frekuensi pada *set time* 0.5 detik. Sempat turun 49,7Hz Namun mengalami

Overshoot pada *set time* 1 detik. Mencapai 50,05Hz. membutuhkan waktu selama 8 detik untuk kembali pada kondisi stabil 50Hz. Saat *set time* 9 sampai 10 detik secara kontinu. Untuk keluran dari nilai tegangan 200kVA dan nilai arus sendiri yaitu 40A. Ini terjadi dikarenakan pada sistem IEEE 14 BUS dan pembangkit listrik energi terbarukan telah terintegrasi dengan *Load Frequency Control* (LFC) yang mampu mengontrol frekuensi agar tetap stabil.

14. Bus 14

Pada Gambar 4.44 adalah hasil dari tanggapan pengujian bus 14



Gambar 4. 45 Hasil pengujian pada bus 14

Berdasarkan Gambar 4.44 hasil dari pengujian bus 14 dengan keluaran nilai frekuensi pada *set time* 0.5 detik. Sempat turun 49,7Hz Namun mengalami *Overshoot* pada *set time* 1 detik. Mencapai 50,05Hz. membutuhkan waktu selama 8 detik untuk kembali pada kondisi stabil 50Hz. Saat *set time* 9 sampai 10 detik secara kontinu. Untuk keluran dari nilai tegangan 200kVA dan nilai arus sendiri yaitu 5kA. Ini terjadi dikarenakan pada sistem IEEE 14 BUS dan pembangkit listrik energi terbarukan telah terintegrasi dengan *Load Frequency Control* (LFC) yang mampu mengontrol frekuensi agar tetap stabil.

Tabel 4. 9 Hasil Simulasi Dari Bus 1 sampai dengan Bus 14

Bus	Frekuensi (Hz)	Set Time	Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)
Bus 1	50 Hz	9-10 Detik	200kVA	1kA
Bus 2	50 Hz	9-10 Detik	200kVA	1kA
Bus 3	50 Hz	9-10 Detik	200kVA	1kA
Bus 4	50 Hz	9-10 Detik	200kVA	1kA
Bus 5	50 Hz	9-10 Detik	200kVA	20A
Bus 6	50 Hz	9-10 Detik	200kVA	1kA
Bus 7	50 Hz	9-10 Detik	200kVA	1kA
Bus 8	50 Hz	9-10 Detik	200kVA	1kA
Bus 9	50 Hz	9-10 Detik	200kVA	2kA
Bus 10	50 Hz	9-10 Detik	200kVA	20A
Bus 11	50 Hz	9-10 Detik	200kVA	10A
Bus 12	50 Hz	9-10 Detik	200kVA	20A
Bus 13	50 Hz	9-10 Detik	200kVA	40A
Bus 14	50 Hz	9-10 Detik	200kVA	5kA
Rata-Rata	50 Hz	9-10 Detik	200kVA	1kA

Berdasarkan tabel 4.9 hasil dari sistem IEEE 14 BUS yang terintegrasi dengan pembangkit listrik energi terbarukan dan LFC, dengan keluaran frekuensi 50Hz dan tegangan sebesar 200kVA dan keluaran Arus rata-rata sebesar 1kA.

4.3.3 Kesimpulan Hasil Simulasi Dari Sistem IEEE 14 BUS Yang Terintegrasi Dengan Pembangkit Energi Terbarukan (PLTS) dan (PLTB) Dengan LFC

Berdasarkan hasil pengujian pada sistem IEEE 14 BUS yang terintegrasi dengan pembangkit listrik energi terbarukan dan kendali frekuensi beban *Load Frequency Control* (LFC), frekuensi tetap dalam kondisi yang diinginkan, yaitu 50Hz pada saat *set time* 9 sampai 10 detik. Ini menunjukkan stabilitas yang baik. Hasil ini menunjukkan efektivitas LFC dalam menjaga stabilitas frekuensi.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan dari penelitian ini adalah :

1. Pada penelitian ini pemodelan sistem IEEE 14 BUS yang tidak terintegrasi dengan pembangkit listrik energi terbarukan dan LFC, Menghasilkan keluaran frekuensi yang dalam rentan stabil yaitu di 49Hz sampai dengan 50Hz. Ini dikarenakan pada pemodelan sistem IEEE 14 BUS yang tidak terintegrasi dengan pembangkit listrik energi terbarukan dan LFC. Sudah sesuai dengan standar parameter yang digunakan untuk pengujian Analisa kesetabilan frekuensi pada IEEE.
2. Untuk pemodelan sistem IEEE 14 BUS yang terintegrasi dengan Pembangkit energi terbarukan, dapat disimpulkan bahwasanya terjadi fluktuasi terhadap frekuensi yang dapat dilihat pada bus 1 pada Gambar 4.17. terjadi penurunan frekuensi sebesar 48Hz secara kontinu pada *set time* 0.008 sampai dengan 0.02 detik. hal ini dikarenakan penambahan pada sistem IEEE 14 BUS yang terintegrasi dengan pembangkit listrik energi terbarukan, yang dimana pembangkit listrik energi terbarukan ini dianggap beban oleh sistem, dikarenakan pada pembangkit listrik energi terbarukan tidak memiliki inersia terutama pada pembangkit PLTS sedangkan pada pembangkit PLTB memiliki inersia namun tidak stabil. Hal ini menyebabkan kedua pembangkit tersebut dianggap beban dan mengganggu kesetabilan sistem pembangkit.
3. Pada sistem IEEE 14 BUS yang terintegrasi dengan pembangkit listrik energi terbarukan (PLTS) dan (PLTB) dengan LFC. Dapat disimpulkan bahwa *Load Frequency Control* sangat efisien dalam memperbaiki gangguan fluktuasi frekuensi, kondisi pada frekuensi stabil yaitu 50Hz. Secara kontinu pada *set time* 9 sampai 10 detik.dengan nilai tegangan yaitu sebesar 200kVA dan arus sebesar 1kA sampai dengan 2kA.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat dipertimbangkan sebagai tambahan Penelitian selanjutnya terkait penelitian yang sama, yaitu sebagai berikut:

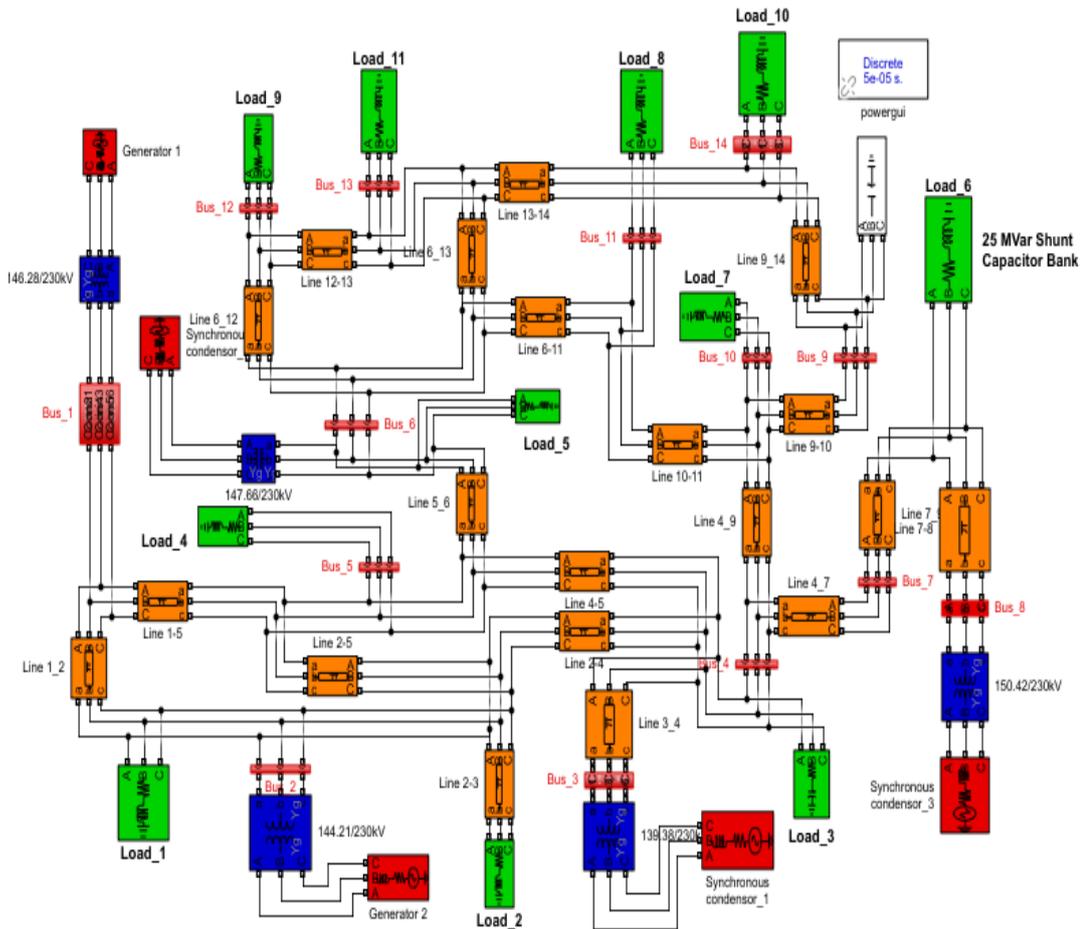
1. Untuk penelitian selanjutnya diharapkan mampu menghasilkan control frekuensi yang lebih kompetible dengan menambahkan beberapa komponen elektronika daya agar kebutuhan sistem dan kesetabilan sistem dapat lebih cepat dipenuhi.
2. Diperlukannya pertimbangan dan perhitungan beserta metode yang dapat memecahkan masalah analisis kebutuhan daya, dimana dapat mengganggu kesetabilan sistem tenaga listrik.

DAFTAR PUSTAKA

- Andrik, M., Farul, M., & Cahyono, I. (2018). OPTIMASI LOAD FREQUENCY CONTROL (LFC) PADA SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO BERBASIS PID-ANFIS. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 9(1), 61–64.
- Bharath Kumar, T., & Uma Vani, M. (2014). *PENGENDALIAN FREKUENSI BEBAN PADA SISTEM POWER DUA AREA MENGGUNAKAN ANFIS* (Vol. 4).
- Boudreaux, J. A. (n.d.). *Design, Simulation, and Construction of an IEEE 14-Bus Power System*. *Design, Simulation, and Construction of an IEEE 14-Bus Power System System*. https://digitalcommons.lsu.edu/gradschool_theses
- Putri, N. U., Sembiring, J. P., Rossi, F., Maulana, H., & Jayadi, A. (n.d.). *Analysis of Frequency Stability with SCES's type of Virtual Inertia Control for The IEEE 9 Bus System*.
- Sutjiadi, E., Soewono, S., Elektro, T., Tinggi, S., & Pln, T. (n.d.). *PEMODELAN KONTROL FREKUENSI BEBAN DAN STRATEGI PEMUTUSAN BEBAN PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GAS* (Vol. 8, Issue 2).
- Wicaksono, B. B., Wati, T., & Pengarang, A. (n.d.). *Kontrol Frekuensi Beban Pada Sistem Tenaga Satu Area Menggunakan Kontrol Integral dan Integral Proporsional*. <https://doi.org/10.17977/um048v2i1p7-10>
- Haekal Maulana. *Analisis Stabilitas Frekuensi Sistem Tenaga Listrik Berinersia Rendah Menggunakan Virtual Inertia Control Tipe Super Capacitive Energy Storage*.

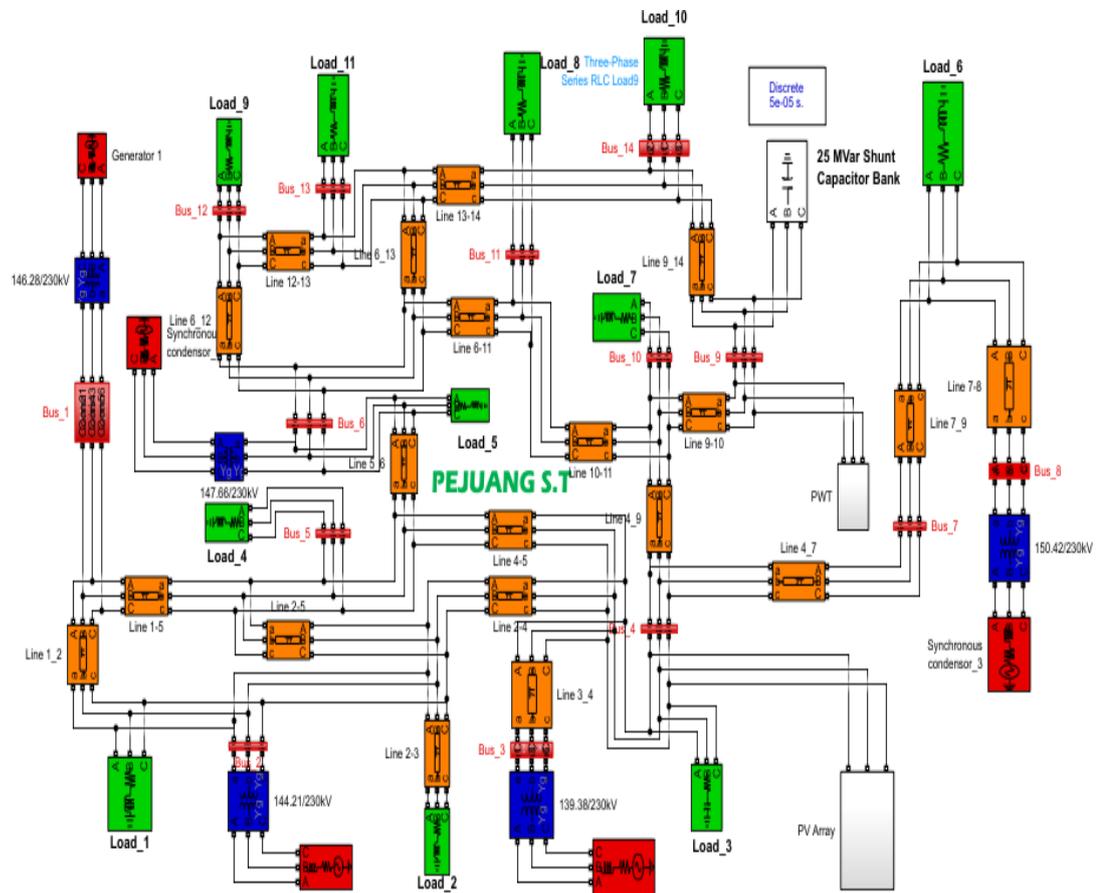
DAFTAR LAMPIRAN

1. Lampiran 1



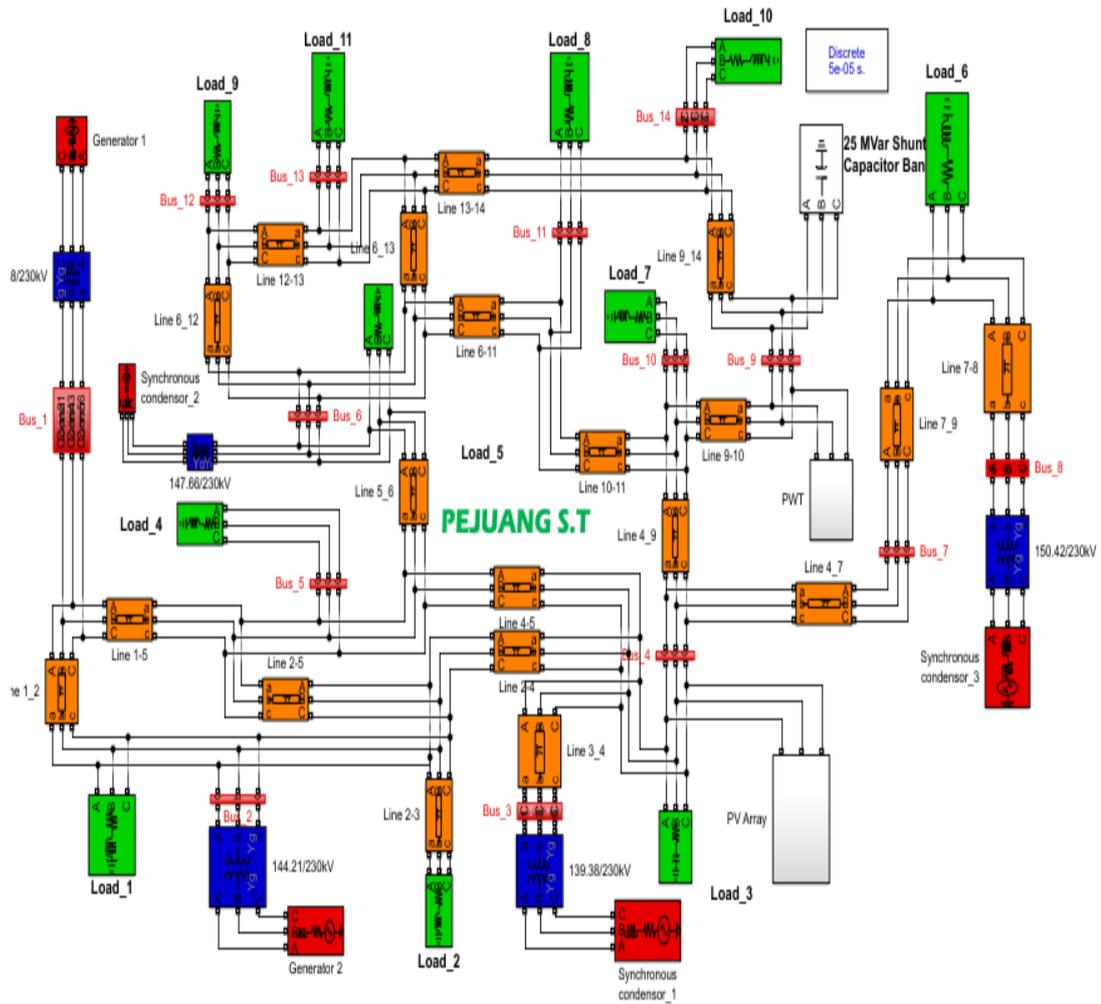
Lampiran 1 Pemodelan Sistem IEEE 14 BUS

2. Lampiran 2



Gambar Lampiran 2. Sistem IEEE 14 BUS dengan pembangkit energi Terbarukan (PLTS) & (PLTB)

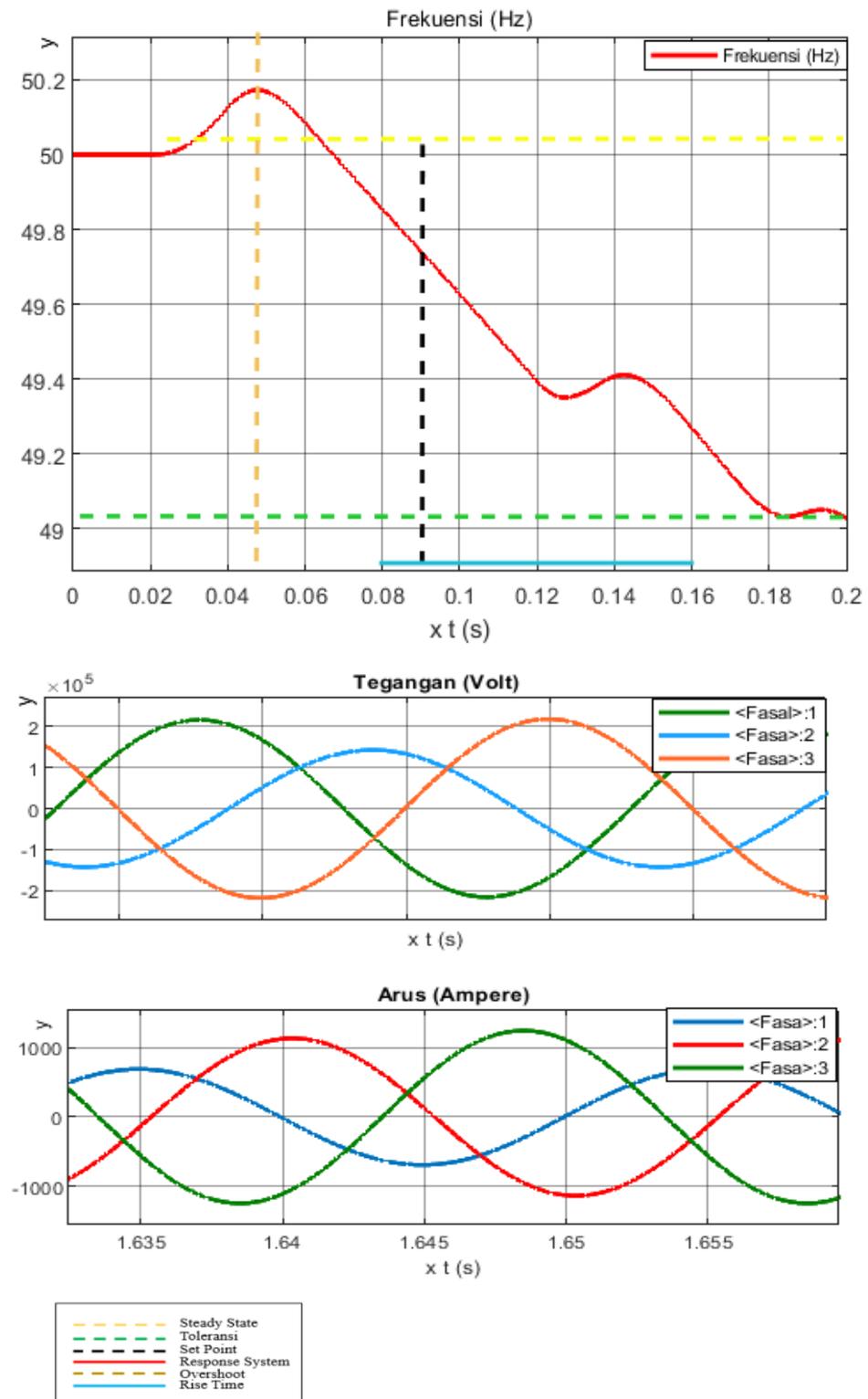
3. Lampiran 3



Gambar Lampiran 3, Pemodelan IEEE 14 BUS dan Pembangkit Energi terbarukan dengan LFC

4. Lampiran 4

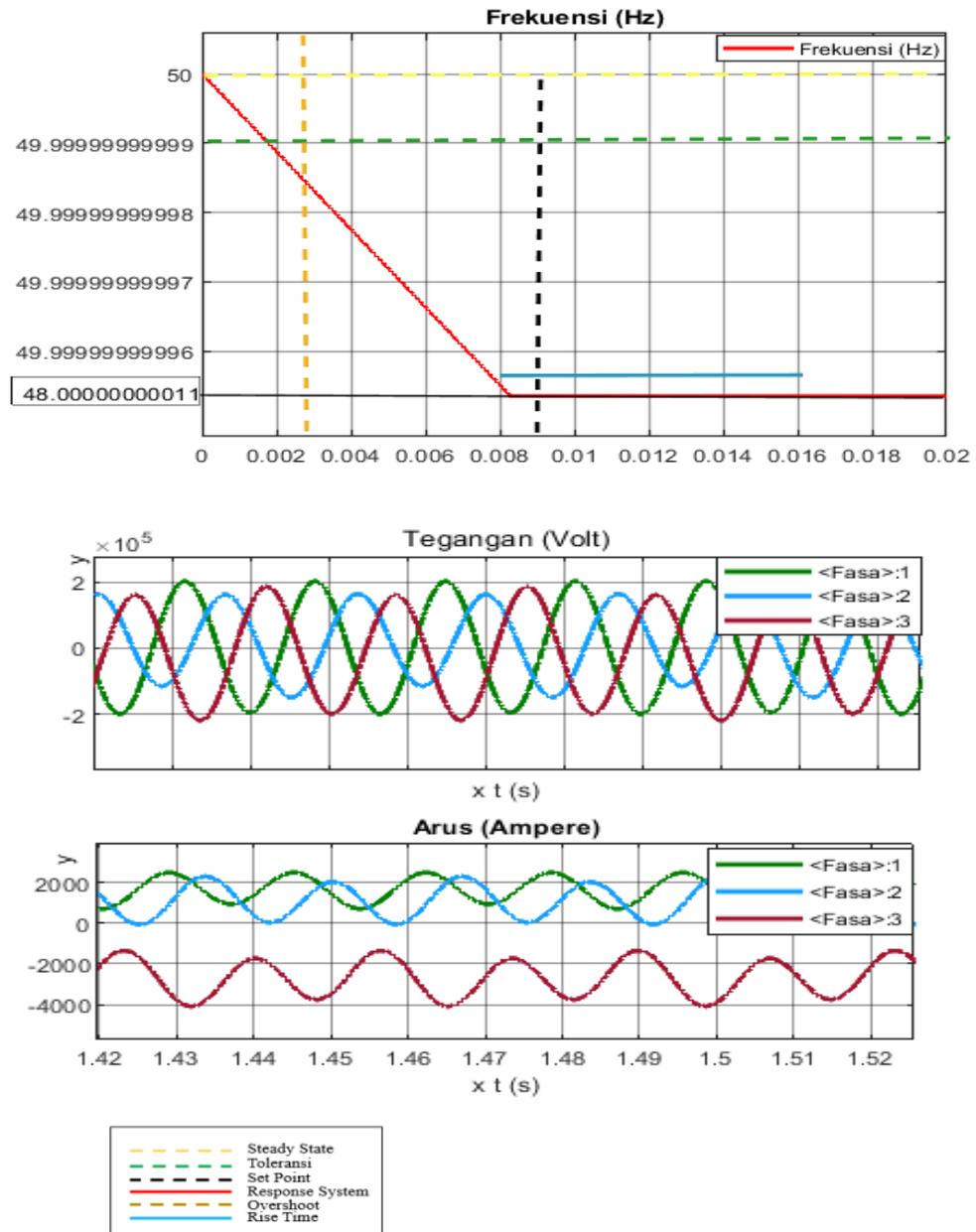
Pada lampiran 4 terdapat hasil pengujian yang mencakup nilai frekuensi, tegangan, dan arus pada salah satu bus diantara bus 1-14 pada sistem IEEE 14 BUS yang lebih tepatnya pada bus 2



Gambar Lampiran 4 Hasil pengujian dari bus 2

5. Lampiran 5

Pada lampiran 5 terdapat hasil pengujian yang mencakup nilai frekuensi, tegangan, dan arus pada salah satu bus diantara bus 1-14 pada sistem IEEE 14 BUS yang terintegrasi dengan pembangkit listrik Energi Terbarukan lebih tepatnya pada bus 2. Pada Lampiran adalah hasil dari tanggapan pengujian bus 2.

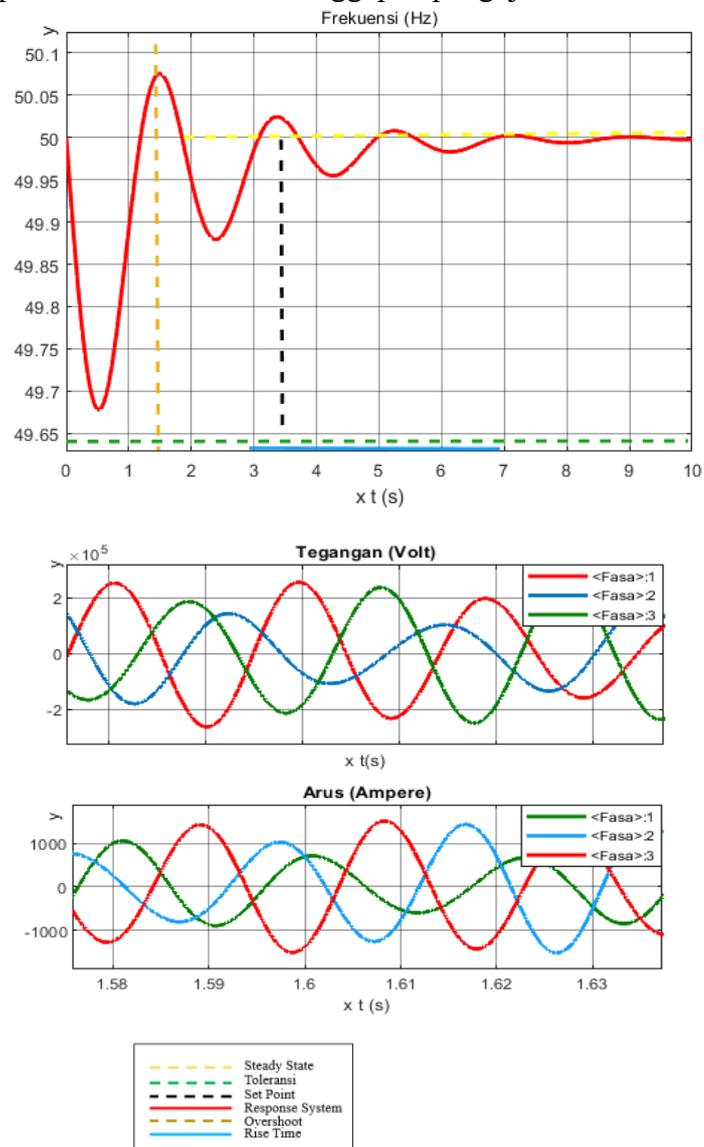


Lampiran 5 Hasil pengujian pada bus 2

6. Lampiran 6

Pada lampiran 5 terdapat hasil pengujian yang mencakup nilai frekuensi, tegangan, dan arus pada salah satu bus diantara bus 1-14 pada sistem IEEE 14 BUS yang terintegrasi dengan pembangkit listrik Energi Terbarukan dan dengan *Load Frequency Control* (LFC) lebih tepatnya pada bus 2. Pada Lampiran adalah hasil dari tanggapan pengujian bus 2.

Pada Lampiran adalah hasil dari tanggapan pengujian bus 2



Lampiran 6 Hasil pengujian pada bus 2