

## Analisis Integrasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya terhadap Kestabilan Frekuensi pada Sistem Kelistrikan 150 kV Lombok Nusa Tenggara Barat

Decky Satrio Pamungkas, I Made Wartana, Irrine Budi Sulistiawati  
Teknik Elektro S1 Institut Teknologi Nasional, Malang, Indonesia

<sup>1</sup>[Deckysatrio25@gmail.com](mailto:Deckysatrio25@gmail.com), <sup>2</sup>[m.wartana@lecturer.itn.ac.id](mailto:m.wartana@lecturer.itn.ac.id), <sup>3</sup>[irrine@lecturer.itn.ac.id](mailto:irrine@lecturer.itn.ac.id)

**Abstrak**— Penelitian ini akan menganalisis integrasi Pembangkit energi baru terbarukan (EBT) terhadap kondisi kestabilan frekuensi pada sistem, akibat gangguan – gangguan yang terjadi pada sistem kelistrikan. Pembahasannya ditekankan pada permasalahan kestabilan frekuensi akibat penambahan beban, lepasnya generator yang menyebabkan sistem mengalami gangguan sesaat dan kembali pada kondisi *steady state* serta integrasi Pembangkit EBT ke dalam grid. Salah satu tipe perangkat *FACTS*, *static Synchronous compensator* (STATCOM) digunakan pada penelitian ini untuk memperbaiki stabilitas frekuensi karena dapat memasok daya reaktif yang dibutuhkan, untuk memperbaiki perubahan tegangan yang bermasalah. Untuk menguji keberhasilan metode yang diusulkan maka simulasi dilakukan pada sistem uji standard IEEE 39-bus dan sistem kelistrikan 150 kV, Lombok NTB, yang terintegrasi dengan salah satu jenis pembangkitan EBT yaitu pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) menggunakan *software DigSILENT PowerFactory*. Integrasi PLTS pada sistem uji standard IEEE 39-bus New England 345 –kV dan sistem kelistrikan 150 kV, Lombok NTB dapat memperburuk respon frekuensi sistem dan dengan pemasangan STATCOM dapat mengurangi penurunan frekuensi pada sistem. Pada sistem kelistrikan 150 kV, Lombok NTB pemasangan STATCOM dapat memperbaiki kestabilan frekuensi yang semula 49.82 Hz menjadi 49.99 Hz, dan pemasangan STATCOM dilakukan pada bus Sengkol dikarenakan pada bus tersebut yang mendekatinilai kritis.

**Kata kunci** - Integrasi Pembangkit Energi Baru Terbarukan, Stabilitas Frekuensi, STATCOM

### I. PENDAHULUAN

Dewasa ini dunia sedang menghadapi kekurangan energi karena cadangan bahan bakar fosil yang semakin

menipis. Untuk menyelesaikan masalah kekurangan energi, sumber energi alternatif yang paling banyak digunakan seperti pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) atau pembangkit listrik tenaga angin (PLTB) atau pembangkit kombinasi dari dua sistem generasi ini diintegrasikan kedalam jaringan listrik [1]. Seiring dengan perkembangan zaman, perkembangan teknologi era globalisasi dan digitalisasi yang semakin canggih, kebutuhan tenaga listrik dirasakan semakin penting. Oleh karena listrik merupakan kebutuhan sekunder yang sangat berpengaruh bagi kehidupan manusia, maka hal ini menyebabkan permintaan akan energi listrik semakin meningkat, sehingga kualitas energi listrik yang baik semakin dibutuhkan [2]. Perubahan beban yang bervariasi berdampak pada kestabilan sistem. Perubahan yang signifikan dapat menyebabkan sistem melebihi batas stabilitasnya, hal ini akan mengakibatkan kebutuhan listrik meningkat tajam sehingga mengharuskan pihak penyedia jasa layanan listrik untuk menambah kapasitas pembangkit, sehingga sistem dapat memenuhi kebutuhan konsumen. Dalam sistem skala besar, menjaga kontinuitas dan ketersediaan pasokan listrik untuk para konsumen menjadi tujuan utama pada sistem interkoneksi agar tidak menyebabkan melemahnya stabilitas performa sistem [3].

Kualitas yang menyatakan stabilitas performa sistem ditentukan berdasarkan nilai – nilai berikut: Ketidakseimbangan tegangan, Gelombang distorsi, Fluktuasi tegangan, Deviasi frekuensi daya

- Ketidak seimbangan tegangan ini merupakan

deviasi maksimum dari rata-rata tegangan atau arus tiga fase, dinyatakan dalam persen. Besarnya deviasi adalah 0,5 sampai 2%.

- Gelombang distorsi yang umumnya disebabkan oleh perilaku beban elektronika daya. Hal yang perlu diperhatikan adalah efek harmonik karena berdampak negatif terhadap sumber tegangan (sisi kirim) maupun beban (sisi terima).
- Fluktuasi tegangan adalah perubahan tegangan secara random 0,9 sampai 1,1 pu. Dampak dari fluktuasi ini adalah terjadinya kedip pada lampu. Hal ini umumnya terjadi karena perubahan beban listrik secara tiba-tiba.
- Deviasi frekuensi daya merupakan deviasi dari frekuensi dasarnya. Untuk deviasi yang diijinkan adalah  $\pm 0,5\text{Hz}$  sampai  $\pm 2\text{Hz}$ . [4].

Perubahan kondisi pembebanan sangat mempengaruhi kestabilan frekuensi, dimana suatu frekuensi sistem yang ditetapkan memiliki standar batas yaitu 4% dari frekuensi nominal yaitu tidak boleh kurang dari 48 Hz ataupun tidak boleh lebih dari 52 Hz. Perubahan titik operasi yang signifikan dapat menyebabkan permasalahan kestabilan. Dalam sistem skala besar, menjaga kontinuitas dan ketersediaan pasokan listrik untuk para konsumen menjadi tujuan utama pada sistem interkoneksi agar tidak mengganggu stabilitas performa sistem [5], [6].

Penelitian ini akan membahas tentang analisis kestabilan frekuensi akibat integrasi Pembangkit EBT pada sistem kelistrikan 150 kV, Lombok NTB menggunakan *software Power factory DigSilent*. Untuk menganalisis kestabilan frekuensi akibat integrasi PLTS ke dalam sistem, maka simulasi dilakukan menggunakan studi kasus pada sistem kelistrikan 150 kV, Lombok NTB yang dilakukan dengan simulasi *Load Flow* dan *RMS Simulation*. Simulasi tersebut bertujuan untuk menganalisis peningkatan kestabilan frekuensi pada sistem kelistrikan 150 kV, Lombok NTB sesudah diintegrasikan PLTS berkapasitas 3x5MW terletak pada bus Paokmotong, Sengkol dan Pringgabaya yang dapat mempengaruhi kestabilan frekuensi pada sistem kelistrikan tersebut, dan dilakukan pengujian penambahan beban di semua beban sebelum dan sesudah integrasi PLTS, Lepasnya salah satu generator pada sistem dan melihat respon frekuensi dari generator dengan total pembangkitan yang terbesar dan terkecil dan di bandingkan kedua pembangkitan tersebut bagaimana respon frekuensinya setelah integrasi PLTS ke sistem, di lanjutkan pemasangan STATCOM diantara perangkat *FACTS*, STATCOM

dilihat yang paling memadai untuk memperbaiki stabilitas frekuensi karena dapat memasok daya reaktif yang dibutuhkan, untuk memperbaiki perubahan tegangan yang bermasalah dan meningkatkan stabilitas sistem. STATCOM dikategorikan sebagai teknologi dalam bidang kompensator daya reaktif yang mempunyai kelebihan yaitu menghasilkan nilai harmonik yang kecil dan nilai tegangan AC yang terkendali sebagai *outputnya* karena kemampuannya dalam menyalurkan daya reaktif induktif maupun kapasitif sehingga kenaikan atau penurunan tegangan saat terjadi kenaikan beban dan pelepasan beban [15],[16].

Sebelum dilakukan Pengujian pada sistem kelistrikan 150 kV, Lombok NTB, dilakukan uji coba pemasangan PLTS pada Sistem uji standard IEEE 39-bus New England 345 –kV

## II. KAJIAN PUSTAKA

### A. Stabilitas Sistem Tenaga

Stabilitas sistem tenaga dapat didefinisikan sesuai dengan IEEE / CIGRE sebagai, kemampuan sistem tenaga listrik, dengan kondisi pengoperasian awal yang diberikan, untuk mendapatkan Kembali keadaan keseimbangan operasi setelah mengalami gangguan fisik dengan sebagian besar variabel sistem dibatasi, sehingga praktis seluruh sistem kembali ke kondisi awal yang *steady state* [7]–[9].

Keandalan, kualitas dan stabilitas adalah persyaratan untuk sistem tenaga listrik yang dapat dikatakan sebagai sistem yang baik [10], [11]. Sistem harus menjaga ketiga syarat tersebut selalu terpenuhi, baik dalam keadaan aman, gangguan, maupun pasca gangguan.

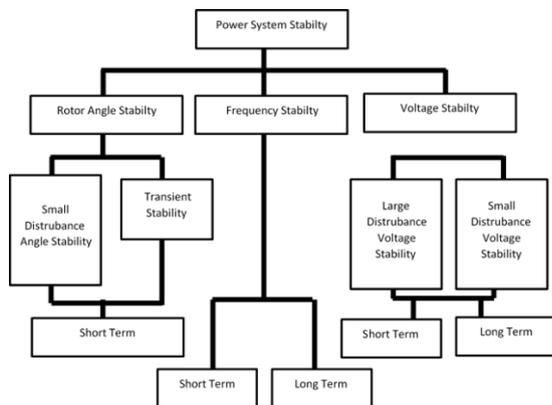
Adapun syarat yang dimaksud adalah :

- a. Reliabiliti adalah kemampuan suatu sistem untuk menyalurkan daya atau energi secara terus menerus.
- b. Kualitas adalah kemampuan sistem tenaga listrik untuk menghasilkan besaran-besaran standar yang ditetapkan untuk tegangan dan frekuensi.
- c. Stabilitas adalah kemampuan dari sistem untuk kembali bekerja secara normal setelah mengalami gangguan – gangguan seperti hubung singkat, kehilangan generator, perubahan beban mendadak, dan lain – lain.

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 [12]. Kestabilan sistem tenaga secara keseluruhan dibagi menjadi :

- Kestabilan sudut rotor adalah kemampuan dari mesin-mesin sinkron yang saling interkoneksi pada sistem tenaga listrik untuk menjaga kesinkronan setelah mengalami gangguan.
- Kestabilan frekuensi mengacu pada kemampuan dari sistem tenaga untuk kembali menuju keadaan steady state setelah mengalami gangguan yang mengakibatkan tidak seimbangan yang signifikan antara pembangkitan dan beban.
- Kestabilan tegangan adalah kemampuan dari sistem tenaga untuk menjaga tegangan steady disemua bus dalam sistem setelah mengalami gangguan. Klasifikasi tersebut diperlihatkan pada gambar 1 [13].



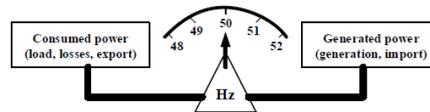
Gambar 1. Klasifikasi Stabilitas Sistem Tenaga  
Sumber. Power System Stability And Control

### B. Stabilitas Frekuensi

Stabilitas frekuensi mengacu pada kemampuan sistem tenaga untuk mempertahankan frekuensi yang stabil ketika sistem mengalami suatu ketidak seimbangan daya antara pembangkit dan permintaan beban. Berkurangnya daya aktif yang dihasilkan akan menyebabkan penurunan frekuensi sistem dan pembangkitan tidak memenuhi permintaan daya beban. Frekuensi sistem harus kembali ke normal dengan nilai rilis jumlah seperti beban sistem [11].

Sistem tenaga listrik harus dapat memenuhi kebutuhan tenaga listrik dari para konsumen dari waktu ke waktu. Untuk itu daya yang dibangkitkan dalam sistem tenaga listrik harus selalu sama dengan beban sistem, hal ini diamati melalui frekuensi sistem. Adapun

batas yang diijinkan oleh sistem untuk batas frekuensi adalah  $\pm 4\%$  . [14]



Gambar 2. Batas frekuensi yang diijinkan

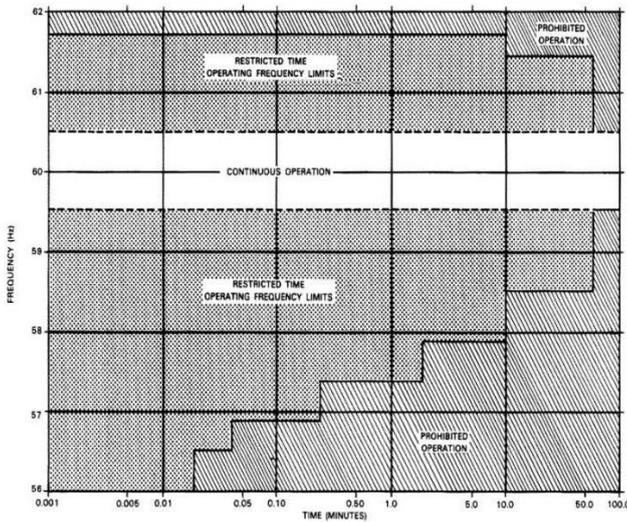
Sumber. Issues of inertia response and rate of change of frequency in power systems with different penetration of variable speed wind turbines

Jika daya yang dibangkitkan dalam sistem lebih kecil dari pada beban sistem maka frekuensi turun dan sebaliknya apabila daya yang dibangkitkan lebih besar dari pada beban maka frekuensi naik. Pada sistem tenaga listrik keseimbangan antara pembangkit dan beban harus dijaga setiap saat agar kestabilan pasokan listrik tetap berlangsung. Untuk melihat keseimbangan ini digunakan frekuensi sebagai parameternya. Kenaikan dan penurunan frekuensi sangat bergantung pada kondisi pembangkit dan beban. Adapun perubahan frekuensi sebagai akibat perubahan beban sistem dapat dilihat pada gambar di atas [14].

### C. Standar Frekuensi

Standart yang digunakan untuk menentukan operasi frekuensi yang diizinkan pada steam turbin generator adalah IEEE Std.106-2003. IEEE Std.106-2003

menggunakan frekuensi 60 Hz. Namun dalam penelitian kali ini menggunakan frekuensi 50 Hz. Oleh karena itu perlu mengubah satuan dalam bentuk % agar dapat digunakan untuk frekuensi 50 Hz. Batas frekuensi maksimal ketika terjadi gangguan transien 61.7 Hz. Untuk sistem dengan frekuensi 50 Hz, maka  $(61.7/50) \times 100\% = 123.4\%$ . Frekuensi diharapkan tidak sampai menyentuh 103% saat *steady state*. Operasi frekuensi yang diijinkan dapat dilihat pada gambar 2.4 [19]:



Gambar 3. Standar Frekuensi untuk *Steam Turbin Generator* (IEEE Std C37.106-2003)

Pada Gambar 3, terdapat 3 daerah operasi untuk

*steam turbin generator*, yakni:

1. *Restricted time operating frequency limits* merupakan daerah frekuensi yang masih diijinkan namun hanya bersifat sementara (tergantung besar frekuensi dan waktu). Semakin besar penurunan frekuensinya maka semakin pendek waktu yang diijinkan frekuensi pada kondisi tersebut.
2. *Prohibited operation* merupakan daerah frekuensi terlarang, sehingga frekuensi tidak diijinkan mencapai daerah tersebut.
3. *Continuous operation* merupakan daerah frekuensi normal [19].

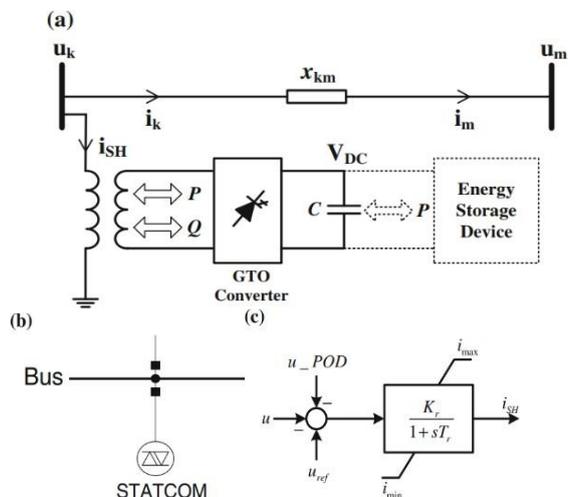
#### D. Penurunan Frekuensi Gangguan Unit Pembangkit

Penambahan frekuensi sebagai fungsi waktu akan berlangsung apabila ada penambahan beban secara mendadak (step function). Ditinjau dari respons governor. Penambahan beban secara mendadak mempunyai dampak terhadap penurunan frekuensi sistem, begitu pula apabila ada unit pembangkit yang terganggu dan trip (jatuh) akan berdampak terhadap penurunan frekuensi. Perhitungan penurunan frekuensi sebagai akibat tripnya salah satu unit pembangkit dimaksudkan untuk merencanakan pelepasan beban dengan menggunakan Under Frekuensi Relay (UFR) untuk menghindarkan gangguan (semi) total dalam sistem yang disebabkan

terlalu banyak unit pembangkit yang ikut trip karena menjadi berbeban lebih

#### E. Pemodelan *Static Synchronous Compensator (STATCOM)*

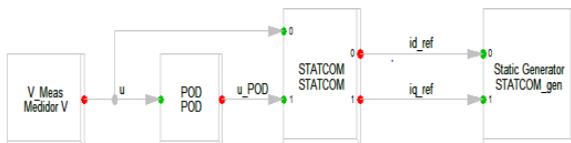
STATCOM dikategorikan sebagai teknologi baik dalam bidang kompensator daya reaktif. STATCOM mampu menghasilkan nilai harmonik yang kecil dan nilai tegangan AC yang terkendali sebagai outputnya. Nilai-nilai tersebut dapat mempengaruhi nilai-nilai daya reaktif. Selain itu STATCOM juga berfungsi untuk mengkompensasi beberapa masalah lain seperti flicker, impedansi saluran pada sistem transmisi, dan perbedaan sudut fasa. Kendali daya reaktif oleh STATCOM [15]. STATCOM dimodelkan dalam *DIGSILENT PowerFactory* melalui suatu elemen perpustakaan yang disebut *Static Generator ElmGenstat*. Generator statis adalah sebuah item sangat mudah digunakan, yang aplikasinya bisa sebagai kompensator daya reaktif [15].



Gambar 4. Permodelan STATCOM: a. Skema konektivitas, b. implementasi di PowerFactory, c. diagram blok control [16]

STATCOM beroperasi sebagai sumber daya reaktif terkontrol (juga memungkinkan untuk bertukar daya aktif menggunakan perangkat penyimpanan energi, tetapi operasi ini adalah tidak dipertimbangkan dalam implementasi yang disajikan). Fitur utama STATCOM adalah untuk memberikan dukungan tegangan tanpa menggunakan kapasitor bank besar dan reactor dalam. STATCOM dapat menghasilkan tegangan sinkron di terminalnya menggunakan konverter GTO dan penyimpanan energi arus searah (DC). Dengan demikian, STATCOM memiliki kemampuan untuk mengendalikan ini arus kapasitif atau arus induktif terlepas dari

tegangan sistem Gambar 4. a menggambarkan skema ilustrasi dasar STATCOM, sedangkan Gambar 4. b menunjukkan implementasi di PowerFactory. Ketika tegangan bus di bawah tegangan referensi, STATCOM akan menyerap arus yang mengarah ke tegangan 90°. Dengan cara ini, STATCOM menyuntikkan daya reaktif ke dalam jaringan untuk meningkatkan tegangan, menghadirkan perilaku kapasitif. Di sisi lain, ketika tegangan bus di atas tegangan referensi, STATCOM harus menyerap arus yang tertinggal tegangan 90°. Jadi, STATCOM mengkonsumsi daya reaktif dari jaringan untuk mengurangi tegangan bus. Di dalam kasus, STATCOM menyajikan perilaku induktif. Dalam hal ini, pengontrol STATCOM sederhana digunakan untuk menggambarkan prosedur termasuk model dalam PowerFactory DiGILENT. Gambar 4. c menunjukkan pengontrol yang digunakan untuk memodelkan kinerja dinamis STATCOM. Ini kontroler sederhana. Dimana Kr adalah gain pengontrol, Tr adalah konstanta waktu tunda pengontrol, u\_POD adalah sinyal output dari POD, uref adalah tegangan referensi pengontrol, u adalah tegangan bus yang dikendalikan, ish adalah arus yang disuntikkan oleh STATCOM di pu, dan daya maks dan imin adalah nilai maksimum dan minimum dari arus dalam pu. Dalam kasus di mana u dan uref sama, sinyal output ish adalah nol. Ini berarti bahwa STATCOM tidak menyuntikkan, tidak mengkonsumsi arus dari jaringan, karena sistem tidak perlu dikompensasi [15].



Gambar 5. STATCOM\_controller Diagram Blok PowerFactory [16]

Diagram Blok PowerFactory yang lengkap STATCOM\_controller. BlkDef ada dalam Model FACTS yang Ditentukan Pengguna. Ini diagram blok disusun oleh dua blok dan memiliki dua sinyal input (u, dan u\_POD) dan dua sinyal keluaran (iq\_ref dan id\_ref). Gambar 5. menunjukkan Kontroler STATCOM diimplementasikan dalam DSL [15].

#### F. Penentuan Lokasi dan Parameter STATCOM

Untuk menentukan lokasi pemasangan STATCOM, ialah pada beban yang mendekati nilai kritis dan untuk Penentuan parameter nilai kVar pada STATCOM ditentukan dengan rumus [17];

$$\Delta V = \frac{\Delta Q}{S_{sc}} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana ΔQ = kVar STATCOM; Ssc = kVA hubung singkat; ΔV = fluktuasi tegangan. Batasan daya reaktif kapasitif menggunakan maksimal 5% dan batasan daya reaktif induktif minimum 2%.

### III. METODOLOGI PENELITIAN

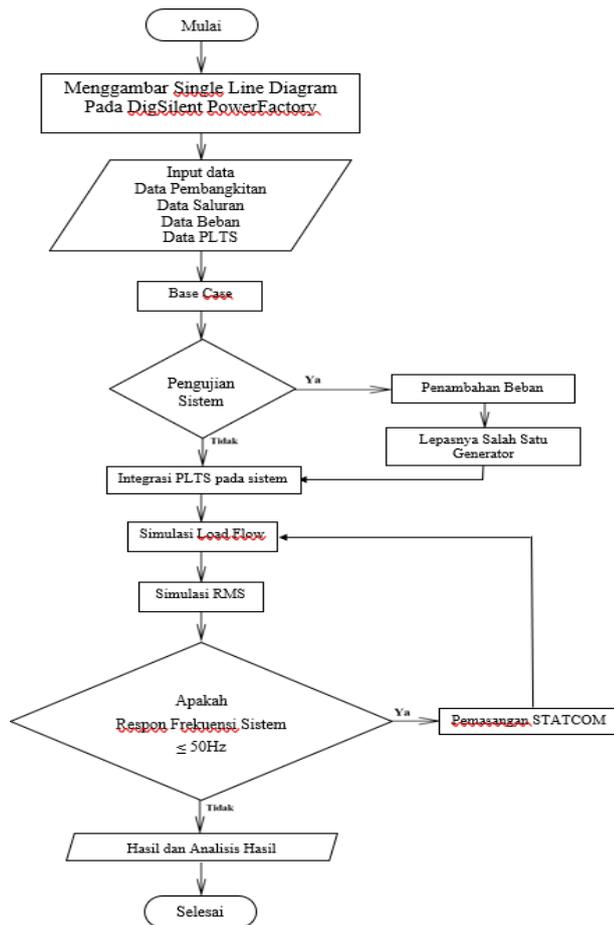
Simulasi dalam penelitian yaitu menggunakan data uji standard IEEE 39-bus New England selanjutnya diuji pada data *real* yaitu sistem kelistrikan 150 kV Lombok, NTB.

#### A. Algoritma Penyelesaian Masalah:

1. Mulai
2. Menggambar *single line diagram* sistem kelistrikan yang akan diuji pada *software DigSilent PowerFactory 15.1*
3. Input data pembangkitan, data saluran, data beban dan data PLTS pada *software DigSilent PowerFactory 15.1*
4. Simulasi pada kondisi *base case* system.
5. Dilakukan proses pengujian sistem jika Ya maka menuju langkah 6, jika Tidak lanjutkan menuju ke langkah 8
6. Dilakukan Simulasi penambahan beban di semua beban dari kondisi *base case* hingga terjadinya penurunan respon frekuensi sistem, sehingga terlihat sampai di kenaikan beban berapa persen sistem tahan terhadap gangguan kenaikan pada semua beban.
7. Dilakukan pengujian lepasnya salah satu generator pada sistem, dan lanjutkan ke langkah 8
8. Dilakukan integrasi PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya). Untuk integrasi PLTS pada sistem uji standard IEEE 39-bus New England 345 –kV di pasang pada bus beban yang mendekati nilai kritis. Pada sistem kelistrikan 150 kV, Lombok NTB, integrasi PLTS di bus paokmotong, bus sengkol,

dan bus pringabaya sesuai data *real*

9. Simulasi Load Flow untuk melihat aliran daya pada sistem
10. Simulasi RMS / *time domain simulation* untuk melihat respon frekuensi sistem
11. Apakah respon frekuensi kurang dari 50Hz jika Ya maka menuju langkah 12, jika Tidak lanjutkan ke langkah 13
12. Ditambahkan pemasangan STATCOM pada beban yang mendekati nilai kritis dan menentukan parameter nilai pada STATCOM, dan lanjutkan ke langkah 9
13. Hasil dan Analisis Hasil
14. Selesai



Gambar 6. Diagram Alir (flowchart) PemecahanMasalah

### B. Algoritma Pengujian

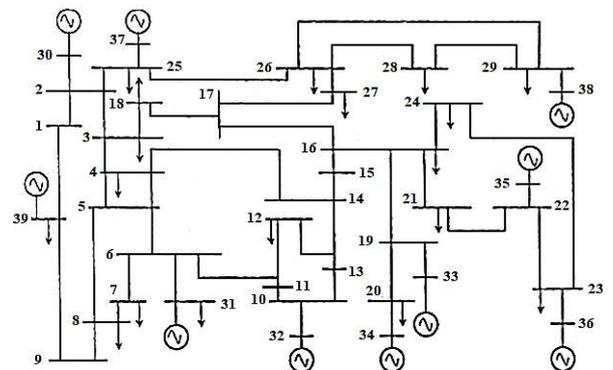
1. Pengujian dilakukan dengan kondisi *basecase* yaitu tanpa integrasi PLTS ke sistemkemudian dilihat bagaimana respon frekuensi sistem.

2. Pengujian penambahan beban di semua beban sebelum integrasi PLTS dari kondisi *base case* hingga terjadinya penurunan respon frekuensi sistem, sehingga terlihat sampai di kenaikan beban berapa persen sistem tahan terhadap gangguan kenaikan pada semua beban.
3. Pengujian penambahan beban di semua beban sesudah integrasi PLTS dari kondisi *base case* hingga terjadinya penurunan respon frekuensi sistem, sehingga terlihat sampai di kenaikan beban berapa persen sistem tahan terhadap gangguan kenaikan pada semua beban.
4. Pengujian lepasnya salah satu generator pada sistem kemudian dilihat bagaimana respon frekuensi sistem setelah terjadi lepasnya salah satu generatorBagian ini berisi tentang alur penelitian yang anda gunakan. Jelaskan juga terkait data yang anda gunakan, scenario yang anda tempuh untuk penelitian ini. Jika terkait software maka anda jelaskan tampilan awal software anda disini. Jika anda melakukan perancangan, anda dapat menyampaikan langkah-langkah yang anda tempuh untuk proses perancangan anda.

## IV. SIMULASI DAN ANALISA

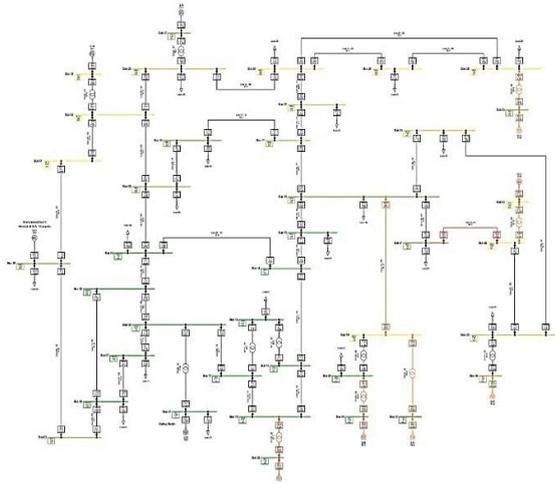
### A. Simulasi pada *sistem uji standard IEEE 39-bus New England 345 –kV*

Sistem kelistrikan yang di gunakan untuk uji coba adalah Sistem uji standard IEEE 39-bus New England 345 –kV pada example software DigSILENT.



Gambar 7. Single Line diagram Sistem uji standard IEEE39-bus New England 345 –kV

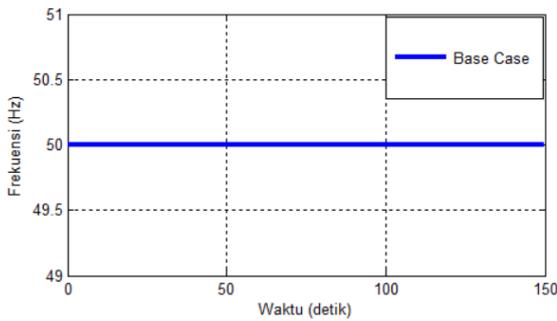
Melakukan simulasi aliran daya (Load Flow) pada Sistem uji standard IEEE 39-bus New England 345 –kV. Simulasi ini bertujuan untuk mengetahui kondisi sistem tersebut apakah sudah dapat dijalankan secara normal atau belum. Berikut adalah hasil simulasi Load Flow.



Gambar 8. Load flow Single Line Diagram Sistem uji standard IEEE 39-bus New England 345 –kV menggunakan DigSilent PowerFactory 15.1

1) Respon Frekuensi Sistem Sebelum Integrasi PLTS

Simulasi awal dilakukan *RMS / time domain simulation* yang bertujuan untuk melihat respon frekuensi pada sistem. Dapat dilihat pada gambar 9.

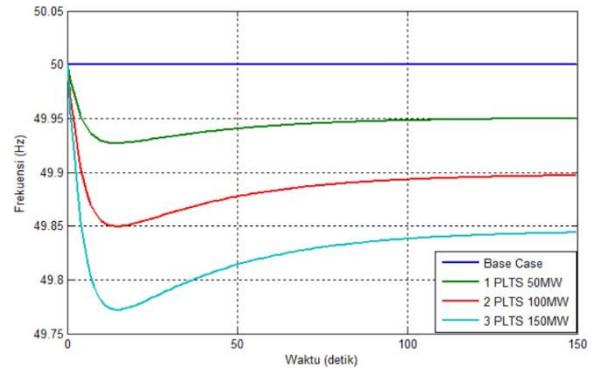


Gambar 9. Grafik frekuensi base case pada Generator

Pada Gambar 9. hal ini menunjukkan respon frekuensi dalam kondisi *base case* sebelum integrasi PLTS 3x50MW ke sistem.

2) Analisis Integrasi PLTS 3x50MW

Study case pertama untuk IEEE 39-bus New England yang dilakukan adalah integrasi PLTS 3x50MW di bus 08, bus 15, dan bus 17 di karenakan bus tersebut profil tegangannya yang terendah dari semua bus.

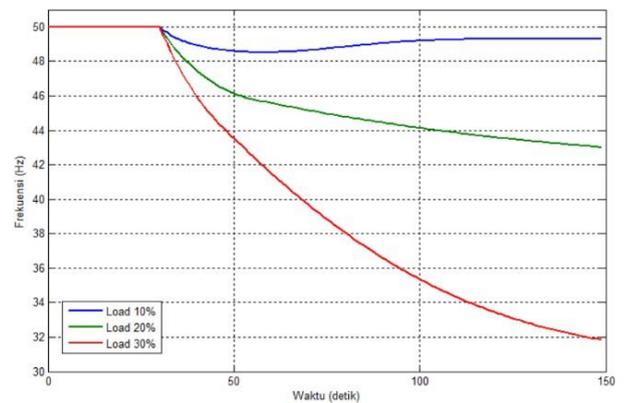


Gambar 10. Grafik Integrasi PLTS 3x50MW

Pada Gambar 10. menjelaskan bahwa integrasi PLTS pada Sistem uji standard IEEE 39-bus NewEngland 345 –kV memperburuk respon frekuensi sehingga frekuensi *steady state* baru berada dinilai 49.8439 Hz ketika integrasi 3 PLTS ke sistem. seperti dapat dilihat pada Tabel 2. Hal ini menyatakan bahwadengan integrasi PLTS sebesar 150 MW dapatmemperburuk respon frekuensi sistem

3) Analisis Penambahan Beban 10% - 30% sebelum integrasi PLTS

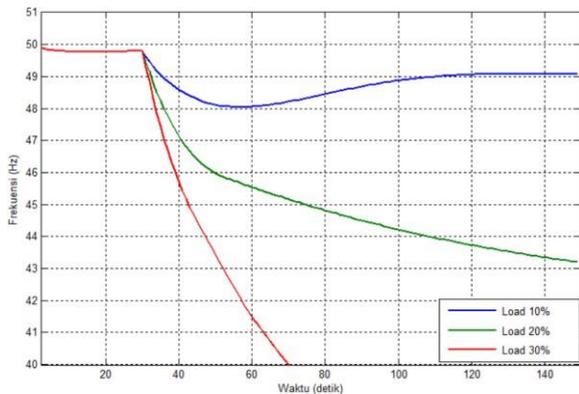
Untuk peningkatan persentase beban sebesar 10% - 30% pada seluruh beban ketika sebelum integrasi PLTS kedalam sistem pada detik ke 30s. Pada Gambar 11. penambahan beban lebih dari 10% menunjukan bahwa system tidak mampu bertahan dan frekuensi terus turun.



Gambar 11. Grafik Frekuensi Generator 1-10 sebelum integrasi PLTS

#### 4) Analisis Penambahan Beban 10% - 30% sesudah integrasi PLTS

Untuk peningkatan persentase beban sebesar 10% - 30% pada seluruh beban ketika sesudah integrasi PLTS kedalam sistem pada detik ke 30s. Pada gambar 12. penambahan beban lebih dari 10% menunjukkan bahwa system tidak mampu bertahan dan frekuensi terus turun.

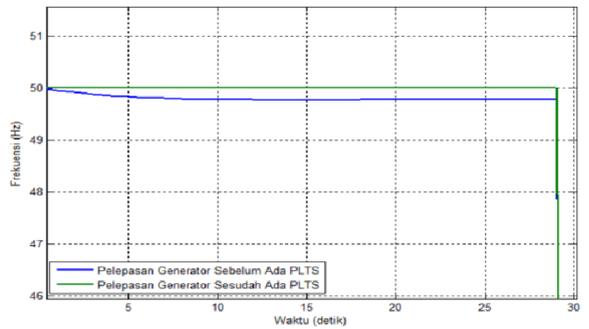
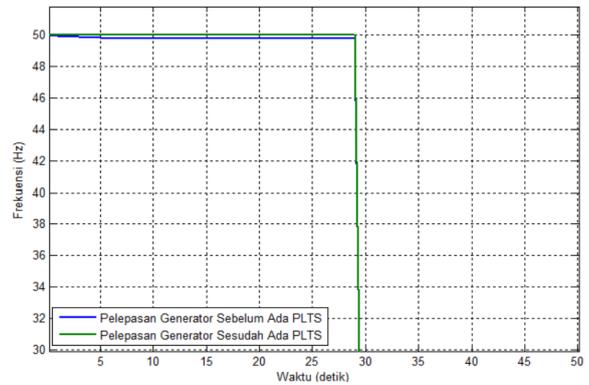


Gambar 12. Grafik Frekuensi Generator 1-10 sesudah integrasi PLTS

Pada Gambar 12. menjelaskan bahwa integrasi PLTS pada Sistem uji standard IEEE 39-bus New England 345 – kV pada kenaikan beban lebih dari 10% memperburuk respon frekuensi sehingga frekuensi *steady state* baru berada dibawah nilai kritis (48.00). Hal ini menyatakan bahwa dengan integrasi PLTS sebesar 3x50MW dapat memperburuk respon frekuensi system.

#### 5) Analisis Lepasnya Generator

Pada analisis ini generator 1 yang berkapasitas 10000 MVA yang di lepas dari sistem.



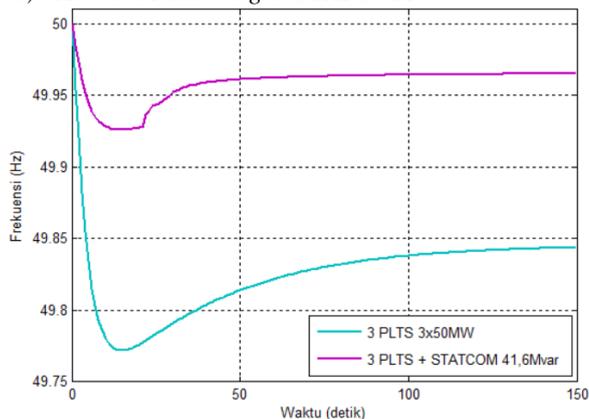
Gambar 13. Grafik Frekuensi lepasnya Generator

Tabel 1. Perbandingan Perubahan Frekuensi Setelah Lepasnya Generator

No	Keadaan	Frekuensi	
		Awal	Nadir
1.	Sebelum Ada PLTS	50	-
2.	Sesudah Ada PLTS	49.8439	-

Pada Gambar 13. hal ini menunjukkan bahwa saat terjadi lepasnya generator 1, pada kondisi tanpa PLTS (Normal) frekuensi dari 50 Hz melonjak turun dan tidak mampu kembali ke nominal awal. Pada kondisi dengan PLTS 3x50MW frekuensi dari 49.8439 Hz juga melonjak turun tidak mampu kembali ke nominal awal seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

6) Analisis Pemasangan STATCOM

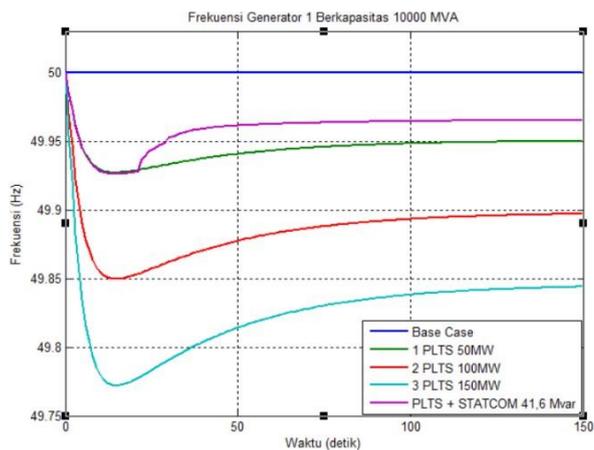


Gambar 14. Grafik Frekuensi Integrasi PLTS dan Pemasangan STATCOM

Pada Gambar 14. Hal ini dapat dilihat 3 PLTS 3x50MW dan Pemasangan STATCOM pada bus 07 yang mendekati nilai kritis, dengan kapasitas STATCOM 41,6 Mvar yang telah ditentukan parameter nilai kVar pada STATCOM dengan rumus (1), dan STATCOM mampu memperbaiki kestabilan frekuensi yang semula 49.8439 Hz menjadi 49.9652 Hz.

7) Respon Frekuensi Generator Dengan TotalPembangkitan Paling Besar

Generator dengan total pembangkitan terbesar pada sistem uji standard IEEE 39-bus New England 345 –kV ialah generator 1 yang berkapasitas 10000MVA.



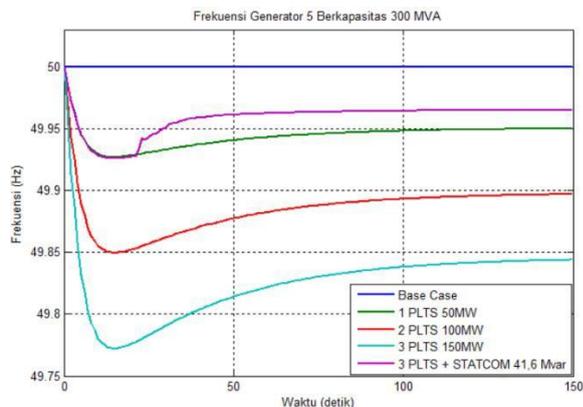
Gambar 15. Grafik Frekuensi pada Generator 1 dengan total pembangkitan paling besar

Respon frekuensi generator 1 dapat dilihat pada Gambar 15. respon frekuensi generator 1 saat kondisi *base case* stabil di 50 Hz setelah masuk 1 PLTS, 2 PLTS dan 3 PLTS yang masing – masing berkapasitas 50 MW respon frekuensi terus menurun kurang dari 50 Hz. Lalu dilakukan pemasangan STATCOM yang berkapasitas 41,6 Mvar pada

bus 07, STATCOM mampu memperbaiki respon frekuensi dapat dilihat pada Gambar 15. dengan 3 PLTS 3x50MW + STATCOM 41,6 Mvar dengan frekuensi *steady state* baru 49,9651Hz.

8) Respon Frekuensi Generator dengan TotalPembangkitan Paling Kecil

Generator dengan total pembangkitan Paling kecil pada sistem uji standard IEEE 39-bus New England 345 –kV ialah generator 5 yang berkapasitas 300MVA.



Gambar 16. Grafik Frekuensi pada Generator 5 dengan total pembangkitan paling kecil

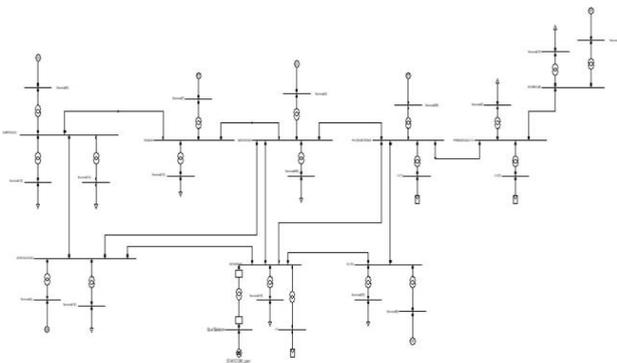
Respon frekuensi generator 5 dapat dilihat pada Gambar 16. respon frekuensi generator 5 saat kondisi *base case* stabil di 50 Hz setelah integrasi 1 PLTS, 2 PLTS dan 3 PLTS yang masing – masing berkapasitas 50 MW respon frekuensi terus menurun kurang dari 50 Hz. Lalu dilakukan pemasangan STATCOM yang berkapasitas 41,6 Mvar pada Bus 07, STATCOM mampu memperbaiki respon frekuensi dapat dilihat pada gambar 16. 3 PLTS 3x50MW + STATCOM 41,6 Mvar dengan frekuensi *steady state* baru 49,9651 Hz. Selanjutnya dapat dilakukan analisa tingkat perubahan frekuensi yang terjadi saat integrasi PLTS dilakukan terhadap sistem kelistrikan 150 kV, Lombok NTB.

Tabel 2. Perbandingan Perubahan Frekuensi Nadir dan *Steady State* Baru

No.	Keadaan	Frekuensi Nadir	Frekuensi Steady State Baru
1	Base Case	50	50
2	1 PLTS	49.9271	49.95
3	2 PLTS	49.8497	49.897
4	3 PLTS	49.7720	49.8439
5	3 PLTS + STATCOM	49.926	49.9652

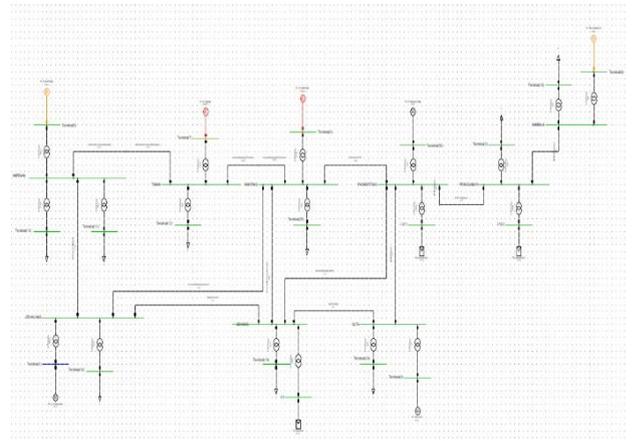
B. Simulasi pada Sistem kelistrikan 150 kV, Lombok NTB.

Sistem kelistrikan yang digunakan adalah Sistem kelistrikan 150 kV, Lombok NTB yang terdiri dari 7 unit pembangkit, yang beroperasi pada tegangan 150 kV, serta terdiri dari 27 Bus.



Gambar 17. Single Line diagram sistem kelistrikan 150kV, Lombok NTB

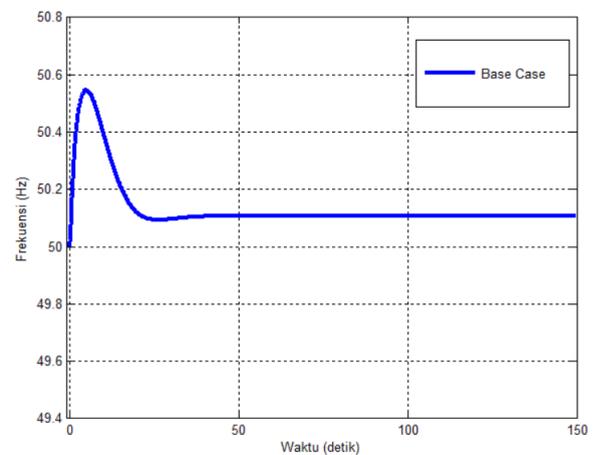
Melakukan simulasi aliran daya (Load Flow) pada sistem kelistrikan 150 kV, Lombok NTB. Simulasi ini bertujuan untuk mengetahui kondisi sistem tersebut apakah sudah dapat dijalankan secara normal atau belum. Berikut adalah hasil simulasi Load Flow.



Gambar 18. Load flow Single Line Diagram sistem kelistrikan 150 kV, Lombok NTB menggunakan DigSilent PowerFactory 15.1

1) Respon Frekuensi Sistem Sebelum Integrasi PLTS

Simulasi awal dilakukan *RMS / time domain simulation* yang bertujuan untuk melihat respon frekuensi pada sistem. Dapat dilihat pada gambar 19

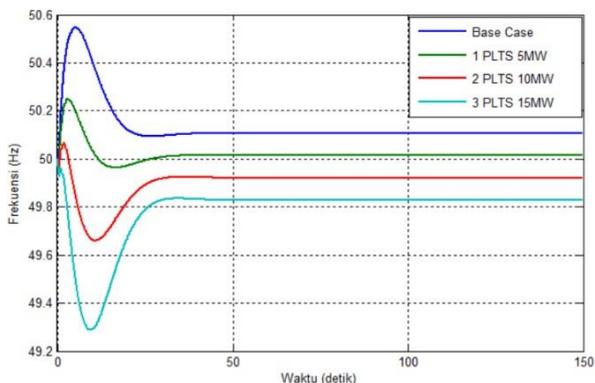


Gambar 19. Grafik frekuensi base case pada Generator

Pada Gambar 19. hal ini menunjukkan respon frekuensi dalam kondisi *base case* sebelum integrasi PLTS 3x5MW ke sistem.

### 2) Analisis Integrasi PLTS 3x5MW

Study case pertama untuk sistem kelistrikan 150 kV, Lombok NTB adalah integrasi PLTS 3x5MW di bus paokmotong, bus sengkol, dan pringgabaya.

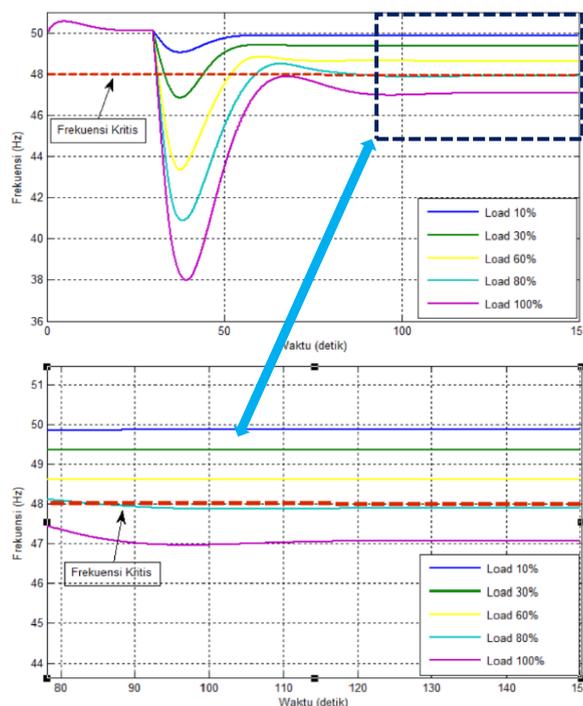


Gambar 20. Grafik Integrasi PLTS 3x5MW (Paokmotong, Sengkol, dan Pringgabaya)

Pada gambar 20. menjelaskan bahwa integrasi PLTS pada sistem Lombok Nusa Tenggara Barat memperburuk respon frekuensi sehingga frekuensi *steady state* baru berada dinilai 49.82 Hz seperti dapat dilihat pada Tabel 4. Hal ini menyatakan bahwa dengan integrasi PLTS sebesar 3x5MW dapat memperburuk respon frekuensi sistem.

### 3) Analisis Penambahan Beban 10% -100% sebelum integrasi PLTS

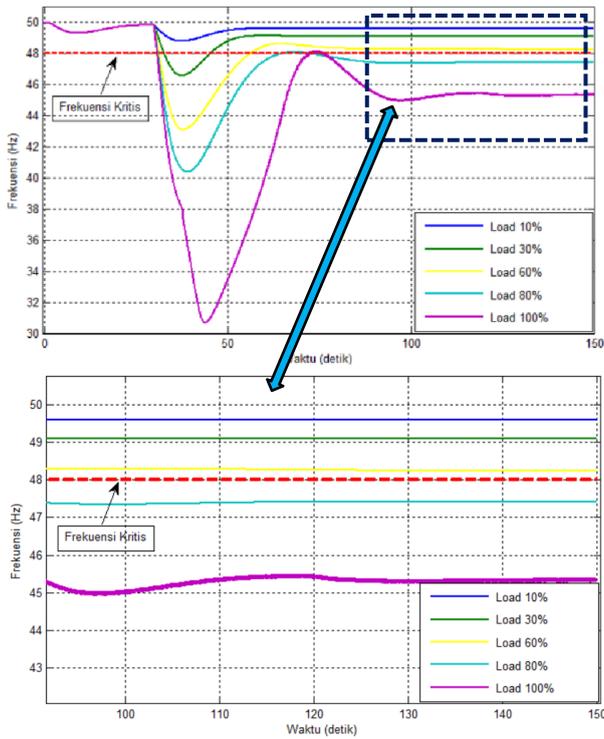
Untuk peningkatan persentase beban sebesar 10% - 100% pada seluruh beban ketika sebelum integrasi PLTS kedalam sistem pada detik ke 30s. Pada Gambar 21. penambahan beban lebih dari 75% menunjukkan bahwa system tidak mampu bertahan dan frekuensi terus turun.



Gambar 21. Grafik Frekuensi Generator 1-7 sebelum integrasi PLTS

### 4) Analisis Penambahan Beban 10% - 100% sesudah integrasi PLTS

Untuk peningkatan persentase beban sebesar 10% - 100% pada seluruh beban ketika sesudah integrasi PLTS kedalam sistem pada detik ke 30s. Pada gambar 22. penambahan beban lebih dari 75% menunjukkan bahwa system tidak mampu bertahan dan frekuensi terus turun.

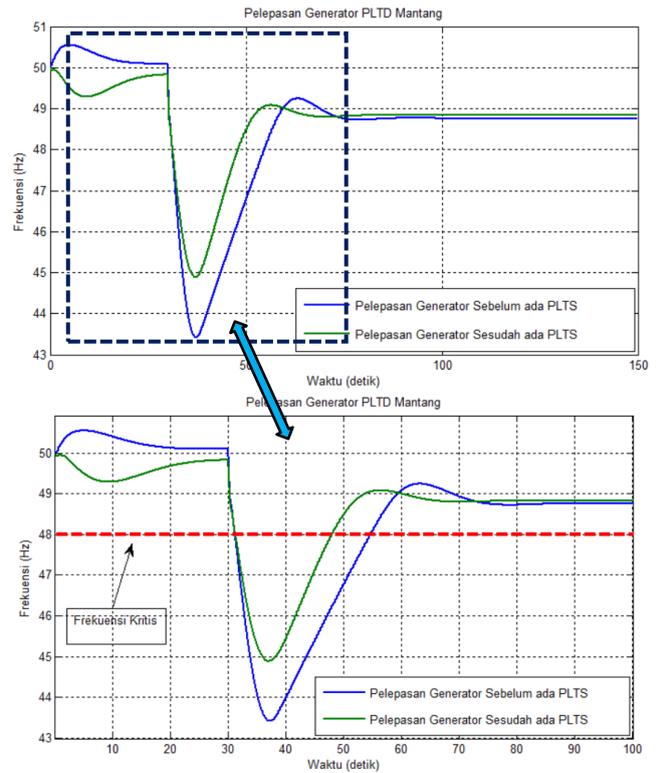


Gambar 22. Grafik Frekuensi Generator 1-7 sesudah integrasi PLTS

Pada Gambar 22. menjelaskan bahwa integrasi PLTS pada Sistem Lombok Nusa Tenggara Barat pada kenaikan beban lebih dari 75% memperburuk respon frekuensi sehingga frekuensi *steady state* baru berada dibawah nilai kritis (48.00). Hal ini menyatakan bahwa dengan integrasi PLTS sebesar 3x5MW dapat memperburuk respon frekuensi system.

5) Analisis Lepasnya Generator

Pada analisis ini generator PLTD Mantang yang berkapasitas 167 MVA yang di lepas dari sistem.



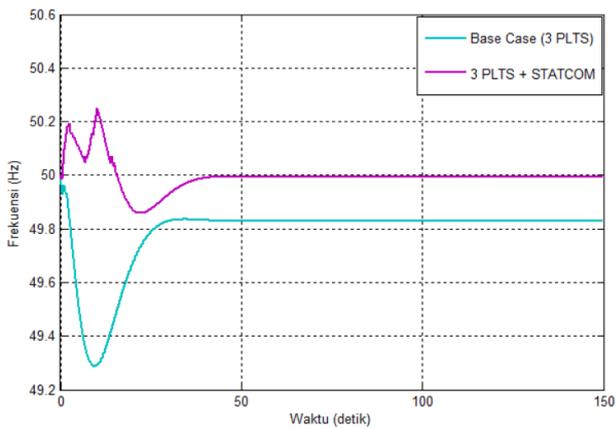
Gambar 23. Grafik Frekuensi lepasnya Generator

Tabel 3. Perbandingan Perubahan Frekuensi Setelah Lepasnya Generator

No	Keadaan	Frekuensi	
		Awal	Nadir
1.	Sebelum Ada PLTS	50.10	43.41
2.	Sesudah Ada PLTS	49.82	44.88

Pada Gambar 23. hal ini menunjukkan bahwa saat terjadi lepasnya generator PLTD Mantang, pada kondisi tanpa PLTS (Normal) frekuensi dari 50.10 Hz turun menjadi 43.41 Hz. Pada kondisi dengan PLTS 3x5MW frekuensi dari 49.82 Hz turun menjadi 44.88 Hz seperti ditunjukkan pada Tabel 3.

6) Analisis Pemasangan STATCOM

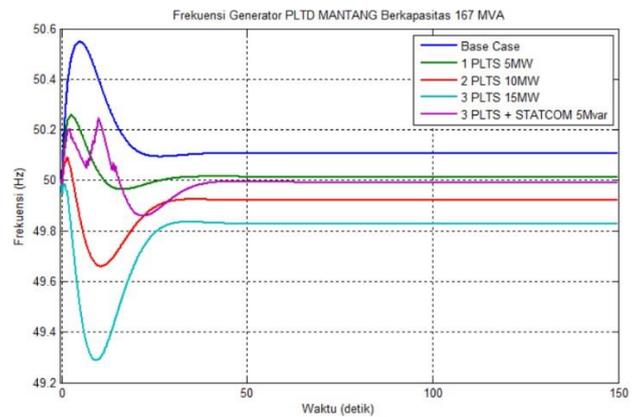


Gambar 24. Grafik Frekuensi Integrasi PLTS dan Pemasangan STATCOM

Pada gambar 24. Hal ini dapat dilihat dengan integrasi PLTS 3x5MW ditambah pemasangan STATCOM pada bus Sengkol yang mendekati nilai kritis, dengan kapasitas STATCOM 5 Mvar yang telah ditentukan parameter nilai kVar pada STATCOM dengan rumus (1), dan STATCOM mampu memperbaiki kestabilan frekuensi yang semula 49.82 Hz menjadi 49.99 Hz.

7) Respon Frekuensi Generator Dengan TotalPembangkitan Paling Besar

Generator dengan total pembangkitan terbesar pada sistem kelistrikan 150 kV, Lombok NTB ialah generator PLTD Mantang yang berkapasitas 167 MVA.

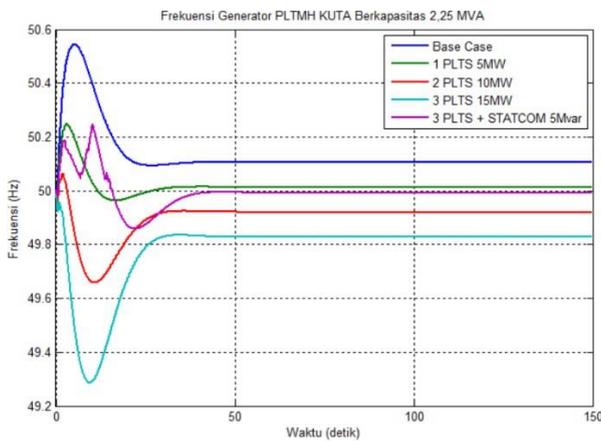


Gambar 25. Grafik Frekuensi pada Generator PLTD Mantang dengan total pembangkitan paling besar

Respon frekuensi generator PLTD Mantang dapat dilihat pada Gambar 25. respon frekuensi generator PLTD Mantang saat kondisi *base case* stabil di 50.10 Hz setelah masuk 1 PLTS, 2 PLTS dan 3 PLTS yang masing – masing berkapasitas 5 MW respon frekuensi terus menurun menjadi 49.82 Hz. Lalu dilakukan pemasangan STATCOM yang berkapasitas 5 Mvar pada bus Sengkol, STATCOM mampu memperbaiki respon frekuensi dapat di lihat pada Gambar 25. dengan 3 PLTS 3x5MW + STATCOM 5 Mvar dengan frekuensi *steady state* baru 49,99Hz.

8) Respon Frekuensi Generator Dengan TotalPembangkitan Paling Kecil

Generator dengan total pembangkitan terkecil pada sistem kelistrikan 150 kV, Lombok NTB ialah generator PLTMH Kuta yang berkapasitas 2,25MVA.



Gambar 26. Grafik Frekuensi pada Generator PLTMH Kuta dengan total pembangkitan paling kecil

Respon frekuensi generator PLTMH Kuta dapat dilihat pada Gambar 26. respon frekuensi generator PLTMH Kuta saat kondisi *base Case* stabil di 50.10 Hz setelah integrasi 1 PLTS, 2 PLTS dan 3 PLTS yang masing – masing berkapasitas 5 MW respon frekuensi terus menurun menjadi 49.82 Hz. Lalu dilakukan pemasangan STATCOM yang berkapasitas 5 Mvar pada bus Sengkol, STATCOM mampu memperbaiki respon frekuensi dapat di lihat pada Gambar 26. dengan 3 PLTS 3x5MW + STATCOM 5 Mvar dengan frekuensi *steady state* baru 49,99 Hz.

Tabel 4. Perbandingan Perubahan Frekuensi Nadir dan *Steady State* Baru

No	Keadaan	Frekuensi	
		Nadir	Steady State Baru
1.	Base Case	50.54	50.10
2.	1 PLTS	50.25	50.01
3.	2 PLTS	50.06	49.92
4.	3 PLTS	49.28	49.82
5.	3 PLTS + STATCOM	50.24	49.99

## V. KESIMPULAN

### A. KESIMPULAN

- Integrasi PLTS pada sistem uji standard IEEE 39- bus New England 345 –kV dan sistem kelistrikan 150 kV, Lombok NTB hal ini menyatakan bahwa dengan integrasi PLTS dapat memperburuk respon frekuensi system yaitu nilai frekuensi turun dari nominal awal, pada sistem uji standard IEEE 39- bus New England 345 –kV frekuensi *steady state* baru berada dinilai 49.8439 Hz yang semula 50 Hz., dan pada sistem kelistrikan 150 kV, Lombok NTB frekuensi *steady state* baru berada dinilai

49.82 Hz yang semula 50.10 Hz

- Pada sistem kelistrikan 150 kV, Lombok NTB pemasangan STATCOM pada bus Sengkol, dengan kapasitas STATCOM 5 Mvar dapat memperbaiki kestabilan frekuensi yang semula

49.82 Hz menjadi 49.99 Hz dan pada sistem uji standard IEEE 39-bus New England 345 –kV pemasangan STATCOM pada bus 07, dengan kapasitas STATCOM 41,6 Mvar mampumemperbaiki kestabilan frekuensi yang semula 49.8439 Hz menjadi 49.9652 Hz.

- Dalam analisis penambahan beban pada sistem kelistrikan 150 kV, Lombok NTB dapat dilihat bahwa pada kenaikan beban lebih dari 75% memperburuk respon frekuensi sehingga frekuensi *steady state* baru berada dibawah nilai kritis (48.00 Hz).

- Dalam analisis lepasnya generator dapat di lihat bahwa dengan lepasnya salah satu generator respon frekuensi melonjak turun yaitu pada Sistem uji standard IEEE 39-bus New England 345 –kV kondisi tanpa PLTS (Normal) frekuensi dari 50 Hz melonjak turun dan tidak mampu kembali ke nominal awal, pada kondisi dengan PLTS 3x50MW frekuensi dari 49.8439 Hz juga melonjak turun tidak mampu kembali ke nominal awal. Pada sistem kelistrikan 150 kV, Lombok NTB kondisi tanpa PLTS (Normal) frekuensi dari

50.10 Hz turun menjadi 43.41 Hz. Pada kondisi dengan PLTS 3x5MW frekuensi dari 49.82 Hz turun menjadi 44.88 Hz.

### B. Saran

Optimasi penentuan lokasi pemasangan STATCOM yang lebih tepat agar lebih efisien sistem kerja dari STATCOM tersebut.

## VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] G. Shankar, S. Lakshmi, and N. Nagarjuna, "Optimal load frequency control of hybrid renewable energy system using PSO and LQR," *Proc. 2015 IEEE Int. Conf. Power Adv. Control Eng. ICPACE 2015*, pp. 195–199, 2015.
- [2] N. Nguyen and J. Mitra, "An analysis of the effects and dependency of wind power penetration on system frequency regulation," *IEEE Trans. Sustain. Energy*, vol. 7, no. 1, pp. 354–363, 2016.
- [3] J. Dong, A. B. Attya, and O. Anaya-Lara, "Frequency stability analysis in low frequency AC systems for renewables power transmission," *2017 6th Int. Conf. Clean Electr. Power Renew. Energy Resour. Impact, ICCEP 2017*, pp. 275–279, 2017.
- [4] E. Reid, "Power Quality Issues - Standards and Guidelines," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 32, no. 3, pp. 625–632, 1996.
- [5] C. Marinescu and I. Şerban, "Analysis of frequency stability in a residential autonomous microgrid based on a wind turbine and a microhydro power plant," *2009 IEEE Power Electron. Mach. Wind Appl. PEMWA 2009*, 2009.
- [6] P. Bhasaputra, C. Sansilah, and W. Pattaraprakorn, "Impact of solar and wind power development plan in Thailand by considering frequency response of power system," *ECTI-CON 2015 - 2015 12th Int. Conf. Electr. Eng. Comput. Telecommun. Inf. Technol.*, 2015.
- [7] P. M. Musau, B. O. Ojwang, and M. Kiprotich, "Improving Frequency Stability for Renewable Energy Power Plants with Disturbances," *2019 IEEE PES GTD Gd. Int. Conf. Expo. Asia, GTD Asia 2019*, pp. 394–399, 2019.
- [8] U. Datta, A. Kalam, and J. Shi, "Battery energy storage system for transient frequency stability enhancement of a large-scale power system," *2017 Australas. Univ. Power Eng. Conf. AUPEC 2017*, vol. 2017-Novem, pp. 1–5, 2018.
- [9] B. S. Abdulraheem and C. K. Gan, "Power system frequency stability and control: Survey," *Int. J. Appl. Eng. Res.*, vol. 11, no. 8, pp. 5688–5695, 2016.
- [10] I. S. Budi, A. Nurdiansyah, and A. Lomi, "Impact of load shedding on frequency and voltage system," *2017 Int. Semin. Intell. Technol. Its Appl. Strength. Link Between Univ. Res. Ind. to Support ASEAN Energy Sect. ISITIA 2017 - Proceeding*, vol. 2017-Janua, pp. 110–115, 2017.
- [11] I. B. Sulistiawati, A. Nurdiansyah, A. Lomi, A. Priyadi, and I. B. G. Manuaba, "Analysis of the Frequency and Voltage Changes while Load Shedding in the Multimachine System," *Proceeding- 2018 Int. Semin. Intell. Technol. Its Appl. ISITIA 2018*, pp. 45–49, 2018.
- [12] I. B. Sulistiawati, K. M. Rosidin, and A. Lomi, "Dynamic stability modified IEEE 3 generator 9 bus with 50 MW power injection of generator XY," *2017 Int. Semin. Intell. Technol. Its Appl. Strength. Link Between Univ. Res. Ind. to Support ASEAN Energy Sect. ISITIA 2017 - Proceeding*, vol. 2017-Janua, no. 2, pp. 104–109, 2017.
- [13] P. Kundur, "Power System Stability And Control," p. 1201.
- [14] M. S. Sehedra and O. B. Dudurych, "Issues of inertia response and rate of change of frequency in power systems with different penetration of variable speed wind turbines," *Proc. - EPNet 2016, Electr. Power Networks*, pp. 1–4, 2017.
- [15] F. Ditya and A. U. Krismanto, "Implementasi Statcom Untuk Meningkatkan Kestabilan Tegangan Pada Sistem 150Kv Pt . Pln Sulselbar ( Sulawesi Selatan Dan," 2019.
- [16] Francisco M. Gonzalez-Longatt, José Luis Rueda. *PowerFactory Applications for Power System Analysis* Springer Cham Heidelberg New York Dordrecht London © Springer International Publishing Switzerland 2014
- [17] S.S.Wibowo, H.Suyono, dan R.Nurhasanah., Analisis Implementasi Fixed Capacitor, SVC, STATCOM untuk Perbaikan Performansi Tegangan pada Sistem Petrochina., Jurnal EECCIS Vol. 1 No. 1 Juni 2013, pp. 147-152.
- [18] I. K. Bachtiar, "Rancangan Implementasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya," *JURNAL SUSTAINABLE*, Vol. 5, No. 02, Oktober 2016 ISSN 2087-5347, no. 2016, 2016.
- [19] IEEE, "Guide for Abnormal Frequency Protection for Power Generating Plants", 1987. IEEE Std C37.106-2003 (Revision of ANSI/IEEE C37.106-1987).