

# Magnetika

## ANALISIS SMALL SIGNAL STABILITY AKIBAT INTEGRASI PLTS DI SISTEM KELISTRIKAN LOMBOK

<sup>1</sup> Deva Herdiyanto Putra, <sup>2</sup> Awan Uji Krismanto, <sup>3</sup> Abraham Lomi

<sup>1,2,3</sup> Teknik Elektro S1 ITN Malang, Malang, Indonesia

<sup>1</sup> devaherdiyantoputra@gmail.com, <sup>2</sup> awan\_uji\_krismanto@lecturer.itn.ac.id, <sup>3</sup> abraham@lecturer.itn.ac.id

**Abstrak**— PLTS adalah salah satu jenis sumber Energi Baru Terbarukan (EBT) termurah dan paling ramah lingkungan. Integrasi PLTS ke dalam sistem kelistrikan berdampak signifikan pada stabilitas sistem tenaga, terutama pada stabilitas sinyal kecil. Salah satu masalah utama dalam mengintegrasikan PLTS adalah terjadinya gangguan – gangguan kecil dalam bentuk osilasi elektromekanik. Osilasi ini sangat disarankan untuk diredam dengan baik, karena dapat mengacaukan sistem tenaga. Dalam skenario terburuk, osilasi elektromekanik yang tidak teredam dapat membatasi aliran daya sehingga dapat mempengaruhi kondisi operasi sistem tenaga dan bahkan dapat menyebabkan sistem menjadi padam. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dampak pengintegrasian PLTS terhadap kestabilan sinyal kecil dalam studi kasus sistem kelistrikan Lombok. Analisis nilai eigen digunakan sebagai metode penelitian ini, sehingga kinerja stabilitas sinyal kecil dari sistem dapat diketahui dan dipelajari dengan bantuan software DigSILENT PowerFactory 15.1. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa integrasi PLTS ke dalam sistem kelistrikan Lombok memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kestabilan sinyal kecil sistem.

**Kata Kunci:** PLTS, Kestabilan Sistem, Stabilitas Sinyal Kecil, Analisa Eigenvalue

### I. PENDAHULUAN

Bahan bakar fosil sebagai sumber energi primer di masa sebelumnya sudah mulai ditinggalkan oleh umat manusia. Banyak negara mulai berlomba untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil dengan beralih menggunakan Energi Baru Terbarukan (EBT). Indonesia juga mulai menerapkan hal tersebut, salah satunya ada di Pulau Lombok. Salah satu jenis Pembangkit Energi Baru Terbarukan (EBT) yang paling diminati sekarang adalah tenaga angin dan Sel Surya / Photovoltaic (PV).[1] Hal ini didasari oleh sifat pembangkitan energi angin dan PV sangat ramah lingkungan dan tidak meninggalkan limbah.[2] Saat

ini di Pulau Lombok sudah terpasang 4 buah PLTS meliputi PLTS Sengkol, PLTS Selong, PLTS Pringgabaya, dan PLTS Sambelia.

Penginjeksian PLTS ke dalam jaringan kelistrikan yang sudah ada dapat menyebabkan sistem kelistrikan tersebut mengalami ketidakstabilan. *Photovoltaic* (PV) sebagai salah satu komponen utama dalam sebuah PLTS memiliki karakteristik yaitu pembangkitan energi yang tidak menentu. Adanya variasi daya dari sumber Energi Baru Terbarukan (EBT) memberikan dampak negative terhadap stabilitas sinyal kecil.[3] Dalam pandangan yang lebih luas, penambahan sumber tenaga baru ke dalam sebuah sistem interkoneksi akan menimbulkan sebuah osilasi lokal dalam area frekuensi rendah yang biasa disebut dengan osilasi elektromekanik. Osilasi ini menjadi sebuah masalah utama bagi stabilitas sinyal kecil sebuah sistem tenaga. Fenomena gangguan kecil yang terjadi dalam sebuah sistem tenaga memiliki rentang frekuensi diantara 0 hingga 2 Hz.[4][5] Terdapat dua jenis modus osilasi yaitu osilasi lokal yang terjadi di rentang frekuensi dari 1 hingga 2 Hz serta modus osilasi antar area (interlokal) yang terjadi di rentang frekuensi di bawah 1 Hz.

Kestabilan sistem tenaga sangat wajib untuk dijaga. Kestabilan sistem tenaga merupakan kemampuan dari suatu sistem tenaga untuk menjaga kondisi operasinya dalam keadaan yang seimbang dan akan sesegera mungkin kembali ke keadaan normal atau seimbang ketika mengalami gangguan. Gangguan yang dimaksud dapat berupa gangguan yang berhubungan dengan kestabilan sudut rotor, kestabilan frekuensi, serta kestabilan tegangan. [6] Stabilitas sinyal kecil merupakan salah satu jenis kestabilan sistem tenaga dari gangguan gangguan kecil dalam bentuk osilasi elektromekanik yang teredam karena osilasi ini membatasi aliran daya, sehingga akan berpengaruh terhadap operasi sistem tenaga.

Pengintegrasian PLTS kedalam sistem yang sudah ada akan berpengaruh terhadap kestabilan sinyal kecil, namun perlu digarisbawahi bahwa pengaruh yang diakibatkan akan

sangat beragam karena bergantung dengan perubahan kondisi operasi sistem.[7] Untuk mengetahui hal tersebut dalam sistem kelistrikan Lombok, maka perlu diadakan kajian berupa analisa pengaruh dari adanya pengintegrasian PLTS kedalam sistem kelistrikan Lombok terhadap stabilitas sinyal kecil. Pemilihan lokasi tersebut dikarenakan saat ini sudah diintegrasikannya 4 buah PLTS kedalam sistem kelistrikan Lombok dengan total daya dibangkitkan sebesar 20 MW yang dapat berpengaruh terhadap stabilitas sistem.

## II. KAJIAN PUSTAKA

### A. Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Energi surya merupakan salah satu sumber Energi Baru Terbarukan (EBT) yang mempunyai prospek besar untuk lebih dikembangkan kedepannya. PLTS sebagai media untuk mengkonversi energi surya diharapkan dapat membantu mengurangi titik ketergantungan umat manusia terhadap bahan bakar fosil yang sudah mulai kritis jumlahnya. Pertumbuhan PLTS di seluruh dunia terjadi secara sangat variatif sesuai dengan kondisi geografi dan regulasi di setiap negaranya.[8] Selain sifatnya yang ramah lingkungan, PV sebagai salah satu komponen utama dari PLTS mempunyai karakteristik lain yaitu pembangkitannya yang tidak menentu, hal ini didasarkan bahwa PV sangat terpengaruh oleh kondisi cuaca di sekitarnya untuk membangkitkan listrik. [9]

Sehingga PLTS ketika di integrasi kedalam sistem jaringan listrik konvensional akan membawa dampak seperti berubahnya profil tegangan sistem, memvariasi produksi daya, meningkatkan harmonisa jaringan, merendahkan inersia jaringan serta mengecilkan arus hubung singkat nya akibat adanya inverter yang terhubung ke grid. [8]

### B. Kestabilan Sistem Tenaga Listrik

Kestabilan sistem tenaga menunjukkan kemampuan sebuah sistem tenaga untuk mempertahankan kondisi operasi sinkronnya, bahkan ketika sistem tersebut terjadi gangguan maka ia harus dengan sesegera mungkin kembali ke kondisi seimbang nya. Oleh karena itu sistem dituntut untuk mampu merespon dengan cepat sebuah gangguan. Gangguan tersebut dapat digolongkan menjadi gangguan kecil maupun besar. Gangguan kecil biasa terjadi dalam bentuk perubahan beban yang terjadi secara kontinu, sedangkan gangguan besar dapat terjadi dalam bentuk adanya hubung singkat pada saluran transmisi ataupun adanya generator yang terlepas dari posisi sinkronnya. Ketidakstabilan sistem terjadi ketika gangguan menyebabkan ketidakseimbangan sistem karena berlangsung secara kontinu. Kestabilan sistem daya harus dapat mempertahankan kondisi sinkron dari mesin – mesin sinkron yang beroperasi di dalam sistem tersebut.[10]

Kestabilan sistem yang berhubungan dengan penelitian ini terletak pada klasifikasi *Rotor Angle Stability* yang berkaitan dengan kemampuan mesin sinkron yang saling terhubung di dalam sebuah sistem untuk tetap sinkron dalam kondisi normal maupun setelah terjadinya gangguan. Hal tersebut bergantung dengan kemampuan sistem

mempertahankan keseimbangan dan pemulihan antara torsi elektromekanik dan torsi mekanik dari setiap mesin sinkron yang terhubung. Ketidakstabilan yang mungkin terjadi dalam klasifikasi ini bisa terjadi dalam bentuk peningkatan ayunan sudut dari beberapa generator yang menyebabkan hilangnya sinkronisasi antara generator dengan generator lainnya.

### C. Kestabilan Sinyal Kecil

Stabilitas sinyal kecil merupakan salah satu jenis kestabilan sistem tenaga dari gangguan - gangguan kecil berupa osilasi elektromekanik teredam. Osilasi elektromekanik terbentuk dari adanya gangguan kecil seperti perubahan beban dan adanya variasi parameter sistem yang menyimpang dari titik operasi sistem sehingga ketidak seimbangan antara torsi mekanik dan torsi elektromagnetik yang terdiri dari sinkronisasi dan torsi redaman terjadi.[10] Penginjeksian PLTS yang diikuti oleh penetrasinya kedalam sistem yang ada , dapat menyebabkan menurunnya redaman ada mode kritis sistem selain dari menurunkan inersia sistem dan berubahnya pola aliran daya. [11] Ketika adanya peningkatan kontribusi dari PLTS, tingkat redaman akan menurun dan akan menyebabkan ketidakstabilan sistem ketika tingkat redaman tersebut turun hingga mencapai suatu titik. [12] Selain itu, peningkatan penetrasi dari sumber Energi Baru Terbarukan (EBT) akan membuat stabilitas sinyal kecil dari sebuah sistem menurun.[13] Apabila dalam pengintegrasian, PLTS mempengaruhi kondisi stabilitas sinyal kecil dari sebuah sistem, maka generator sinkron yang kritis kondisinya perlu dijaga agar tetap sinkron dengan jaringan walaupun mungkin memerlukan adanya penanggulangan tambahan untuk mempertahankan tingkat redaman dari osilasi frekuensi rendah yang cukup. [14] Rasio damping pada mode osilatori sebuah sistem dapat secara signifikan menurun serta waktu kritisnya juga dapat berubah akibat pengoperasian PV sebagai pengganti pembangkitan sinkron.[15] Osilasi elektromekanik frekuensi rendah yang terjadi pada sistem tenaga menjadi mulai menjadi masalah yang serius, apalagi jika osilasi tersebut tidak dibarengi dengan tingkat redaman yang baik akan jadi masalah penting untuk transfer daya dan pembangkitan tenaga. [16]

### D. Analisa Nilai Eigen

Sistem tenaga yang dapat diasumsikan menjadi sebuah sistem yang non-linear dan dinamis dapat dipresentasikan dengan menggunakan persamaan diferensial.

$$\dot{x} = f(x, u, t) \quad (1)$$

Dimana  $x$  disebut dengan variabel keadaan, sedangkan  $u$  merupakan segala variabel inputan baik dari dalam ataupun luar sistem yang mempengaruhi sistem , dan  $t$  adalah waktu.

Persamaan diatas diaplikasikan kedalam sebuah matriks state space yang mengimplementasikan sistem tenaga sebagai berikut:

$$\dot{x} = A \Delta x + B \Delta u \quad (2)$$

$$\Delta y = C \Delta x + D \Delta u \quad (3)$$

Dimana:

$$A = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial f_n} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial x_n} \\ \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial f_n}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial f_n}{\partial x_n} \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial u_n} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial u_r} \\ \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial f_n}{\partial u_1} & \dots & \frac{\partial f_n}{\partial u_n} \end{bmatrix}$$

$$C = \begin{bmatrix} \frac{\partial g_1}{\partial f_n} & \dots & \frac{\partial g_1}{\partial x_n} \\ \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial g_n}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial g_n}{\partial x_n} \end{bmatrix} \quad D = \begin{bmatrix} \frac{\partial g_1}{\partial u_n} & \dots & \frac{\partial g_1}{\partial u_r} \\ \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial g_m}{\partial u_1} & \dots & \frac{\partial g_m}{\partial u_n} \end{bmatrix}$$

Dimana variabel – variabel persamaan tersebut melambangkan:

- $\Delta x$  adalah keadaan dengan dimensi n
- $\Delta y$  adalah keadaan dengan dimensi m
- $\Delta u$  adalah keadaan dengan dimensi r
- A adalah matriks keadaan dari sistem dengan ukuran nxn
- B adalah matriks pengontrol masukan dengan ukuran nxr
- C adalah matriks keluaran dengan ukuran mxn
- D adalah matriks feedforward antara input dan output dengan ukuran mxr

Persamaan tersebut dapat digunakan untuk menganalisa kestabilan sistem akibat adanya gangguan kecil yang terjadi. Kestabilan sistem dapat diketahui dari nilai eigen nya. Kestabilan sistem non linear dari gangguan kecil dapat dinyatakan dengan akar – akar dari persamaan matriks A:

1. Jika nilai nilai eigen negatif, maka sistem tersebut dikatakan stabil.
2. Jika setidaknya ada satu saja nilai eigen positif, maka sistem dapat dikatakan tidak stabil.
3. Jika nilai real dari eigenvalue mendekati nol, maka sistem tersebut tidak dapat dikatakan stabil atau tidak stabil.[6][10]

### III. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini difokuskan untuk meneliti kestabilan sinyal kecil pada sistem kelistrikan Lombok akibat adanya integrasi PLTS kedalam sistem tersebut dengan menggunakan metode analisa nilai eigen. Teknik pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

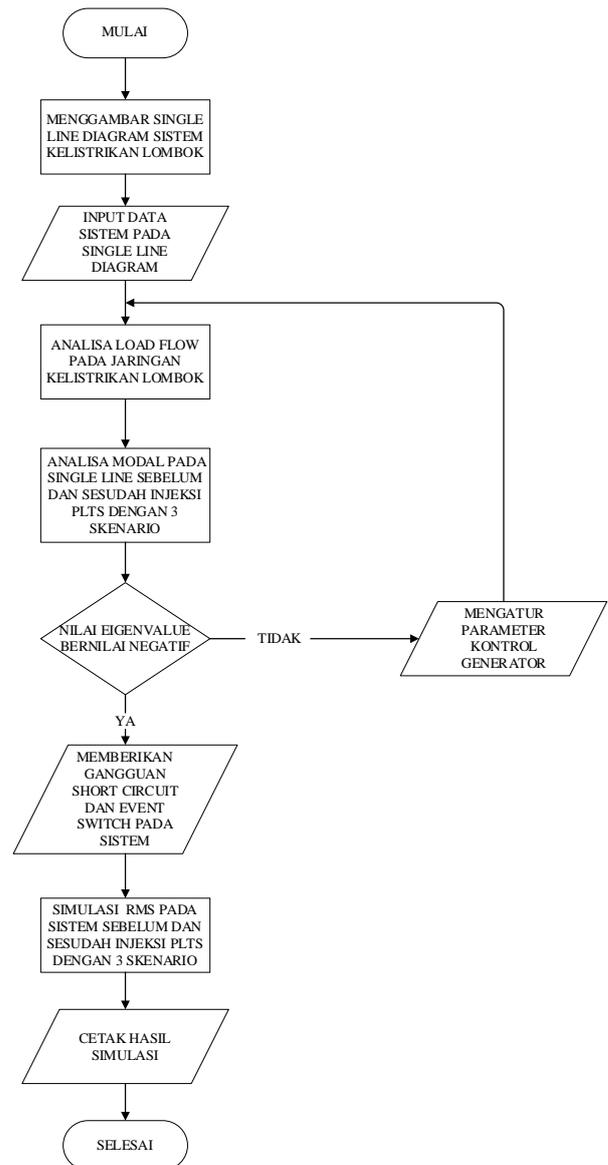
1. Kajian Literatur
2. Pengumpulan Data
3. Analisa Data

#### A. Uji Sistem Kelistrikan Lombok

Sistem yang digunakan sebagai studi kasus utama dalam penelitian ini adalah sistem kelistrikan Lombok dengan penambahan 4 PLTS sesuai kondisi terkini. Total daya yang dibangkitkan pada sistem ini sebesar 151,92 MW dengan permintaan beban sebesar 149,03 MW.

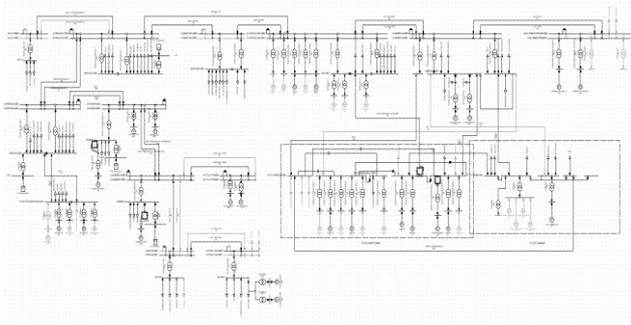
#### B. Flowchart Penelitian

Alur dari rangkaian penelitian ini dapat dilihat pada diagram alir dibawah ini:



Gambar 1. Flowchart Penelitian

#### IV. SIMULASI DAN ANALISA



Gambar 2. Single Line Diagram Kelistrikan Lombok

##### A. Single Line Diagram Lombok

Sistem kelistrikan Lombok yang digunakan sebagai studi kasus utama dalam penelitian ini digambarkan pada software *DigSILENT PowerFactory 15.1* untuk disimulasikan. Setelah itu, sistem disimulasi aliran daya (*Load Flow*) untuk mengetahui kondisi sistem yang digambar apakah sudah dapat dijalankan secara normal atau belum agar penelitian dapat dilanjutkan ke tahap selanjutnya.

##### B. Modal Analysis

Setelah sistem dapat disimulasikan aliran daya, maka dilanjutkan dengan analisa modal guna mengetahui nilai eigen (eigenvalue) dari sistem Kelistrikan Lombok. Analisa ini dilakukan secara bertahap dengan meningkatkan integrasi PLTS sebesar 0.25 MW setiap simulasinya hingga mencapai kapasitas total PLTS sebesar 5 MW.

Tabel 1. Hasil Modal Analysis Base Case Scenario

PLTS 0 MW (Base Case)					
Eig#	Real Part	Imaginary Part	Freq.	Damping Ratio	Mode Osc.
Eig #46	-1,416	15,486	2,464	0,09108	Lokal
Eig #63	-4,116	14,319	2,279	0,27630	Lokal
Eig #51	-3,137	13,885	2,209	0,22038	Lokal
Eig #53	-2,567	13,487	2,1465	0,18701	Lokal
Eig #56	-2,948	13,076	2,081	0,21999	Lokal
Eig #61	-2,517	12,073	1,921	0,20411	Lokal
Eig #58	-1,851	11,913	1,896	0,15357	Lokal
Eig #80	-2,052	8,317	1,323	0,23955	Lokal

Eig #137	-0,314	0,095	0,0152	0,95650	Inter Area
----------	--------	-------	--------	---------	------------

Tabel 2. Hasil Modal Analysis Adding Scenario

PLTS 20 MW (Adding)					
Eig#	Real Part	Imaginary Part	Freq.	Damping Ratio	Mode Osc.
Eig #69	-1,419	15,565	2,477	0,09079	Lokal
Eig #73	-4,118	14,330	2,280	0,27168	Lokal
Eig #75	-3,145	13,977	2,224	0,21957	Lokal
Eig #77	-2,595	13,658	2,159	0,18791	Lokal
Eig #80	-2,929	13,108	2,086	0,21812	Lokal
Eig #85	-2,523	12,081	1,922	0,20446	Lokal
Eig #83	-1,867	11,934	1,899	0,15455	Lokal
Eig #10	-2,054	8,322	1,324	0,23971	Lokal
Eig #16	-0,312	0,100	0,015	0,95220	Inter Area

Tabel 3. Hasil Modal Analysis Replacement Scenario

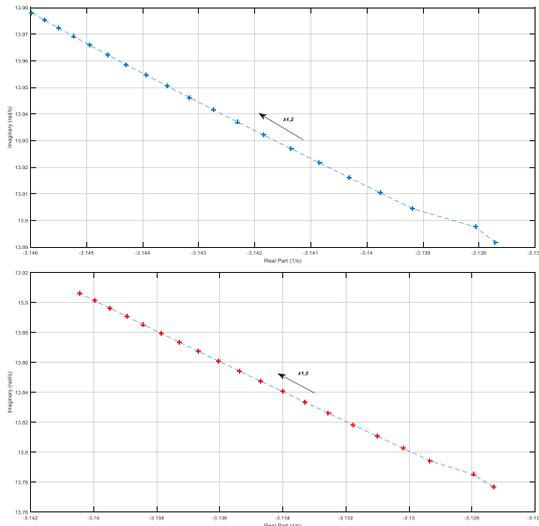
PLTS 20 MW (Replacement)					
Eig#	Real Part	Imaginary Part	Freq.	Damping Ratio	Mode Osc.
Eig #65	-1,410	15,515	2,469	0,09055	Lokal
Eig #67	-4,120	14,351	2,284	0,27597	Lokal
Eig #69	-3,144	13,905	2,213	0,22059	Lokal
Eig #71	-2,528	13,484	2,146	0,18428	Lokal
Eig #73	-2,952	13,108	2,086	0,21974	Lokal
Eig #77	-2,526	12,086	1,923	0,20461	Lokal
Eig #75	-1,874	11,983	1,907	0,15457	Lokal
Eig #82	-2,060	8,334	1,326	0,23993	Lokal
Eig #157	-0,309	0,099	0,015	0,95189	Inter Area

Tabel – tabel tersebut menunjukkan faktor partisipasi nilai eigen ketika sebelum adanya PLTS dan sesudah adanya injeksi PLTS ke sistem kelistrikan Lombok, baik ketika PLTS menambahkan daya ke jaringan maupun PLTS menggantikan peran dari 2 buah PLTD yang dinonaktifkan. Berdasarkan tabel diatas dapat dilihat bahwa untuk nilai real dan imajiner dari eigenvalue naik ketika Adding Scenario dan turun ketika Replacement Scenario.

##### C. Analisa Grafik Eigenvalue

Grafik yang ditampilkan dibawah ini merupakan grafik untuk dua skenario, yaitu grafik biru untuk skenario adding dan grafik merah untuk skenario replacement. Terdapat 9 buah pasangan plot grafik eigen value yang ditampilkan, Semua grafik yang ditampilkan merupakan hasil dari tracking nilai eigen berdasarkan hasil simulasi modal.

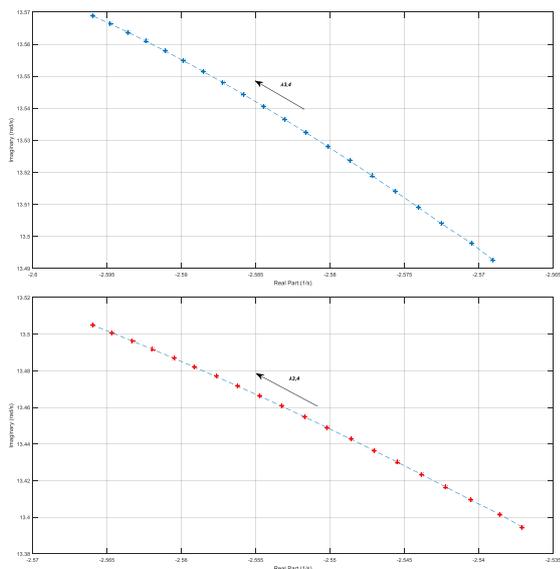
1. Pasangan eigenvalue ke-1



Gambar 3. Grafik pasangan eigen ke-1

Eigenvalue dari kedua grafik ini berhubungan dengan state variable PKMTG #4 speed, PKMTG #4 phi, PKMTG #2 speed, dan PKMTG #2 phi. Sehingga eigenvalue akan bergerak ke arah kiri menjauhi sumbu imajiner seiring dengan bertambahnya injeksi daya dari PLTS ke sistem, walaupun pada skenario replacement letak eigenvalue nya lebih dekat dengan sumbu imajiner dibanding dengan skenario adding. Hal ini berarti bahwa semakin meningkatnya penetrasi PV akan menyebabkan kenaikan kondisi kestabilan sistem. Pergerakan eigenvalue ke kiri tersebut akan menyebabkan sistem tidak begitu beresilasi ketika dihadapkan pada perubahan titik operasi.

2. Pasangan eigenvalue ke-2



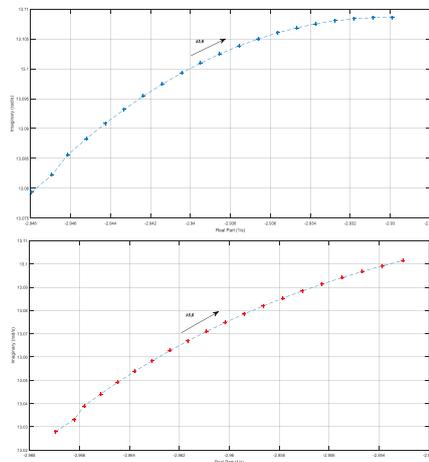
Gambar 4. Grafik pasangan eigen ke-2

Eigenvalue dari kedua grafik ini berhubungan dengan state variable PKMTG #2 phi, PKMTG #2 speed, PKMTG

#4 phi, PKMTG #4 speed; PLTU LOTIM 2 phi, PLTU LOTIM 2 speed, AMP #2 phi, AMP #2 speed, AMP #3 phi, AMP #3 speed, PLTU LOTIM 1 phi, dan PLTU LOTIM 1 speed. Sehingga eigenvalue akan bergerak ke arah kiri menjauhi sumbu imajiner seiring dengan bertambahnya injeksi daya dari PLTS ke sistem, walaupun pada skenario replacement letak eigenvalue nya lebih dekat dengan sumbu imajiner dibanding dengan skenario adding. Hal ini berarti bahwa semakin meningkatnya penetrasi PLTS akan menyebabkan kenaikan kondisi kestabilan sistem. Pergerakan eigenvalue ke kiri tersebut akan menyebabkan sistem tidak begitu beresilasi ketika dihadapkan pada perubahan titik operasi.

3. Pasangan eigenvalue ke-3

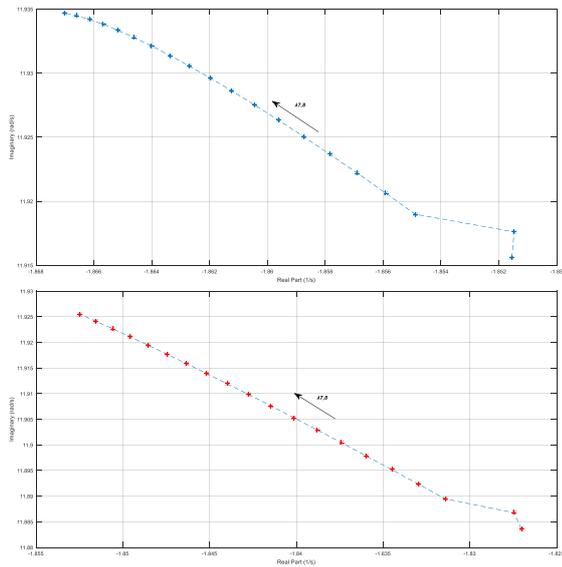
Eigenvalue dari kedua grafik ini berhubungan dengan state variable AMP #2 speed, AMP #3 speed, PKMTG #2 speed, AMP #2 phi, AMP #3 phi, PKMTG #2 phi, PKMTG #4 speed, PKMTG #4 phi, AMP #2 psiQ, dan AMP #3 psiQ. Sehingga eigenvalue akan bergerak ke arah kanan mendekati sumbu imajiner seiring dengan bertambahnya injeksi daya dari PLTS ke sistem. Hal ini berarti bahwa semakin meningkatnya penetrasi PV akan menyebabkan penurunan kondisi kestabilan sistem. Pergerakan eigenvalue ke kanan tersebut menyebabkan sistem beresilasi ketika dihadapkan pada perubahan titik operasi.



Gambar 5. Grafik pasangan eigen ke-3

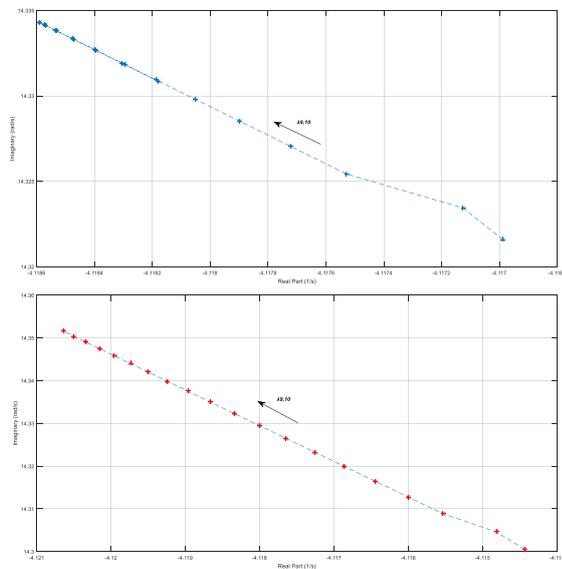
4. Pasangan eigenvalue ke-4

Eigenvalue dari kedua grafik ini berhubungan dengan state variable AMP #2 phi, AMP #3 phi, AMP #2 speed, AMP #3 speed, AMP #2 psiQ, dan AMP #3 psiQ. Sehingga eigenvalue akan bergerak ke arah kiri menjauhi sumbu imajiner seiring dengan bertambahnya injeksi daya dari PLTS ke sistem, walaupun pada skenario replacement letak eigenvalue nya lebih dekat dengan sumbu imajiner dibanding dengan skenario adding. Hal ini berarti bahwa semakin meningkatnya penetrasi PLTS akan menyebabkan kenaikan kondisi kestabilan sistem. Pergerakan eigenvalue ke kiri tersebut akan menyebabkan sistem tidak begitu beresilasi ketika dihadapkan pada perubahan titik operasi.



Gambar 6. Grafik pasangan eigenvalue ke-4

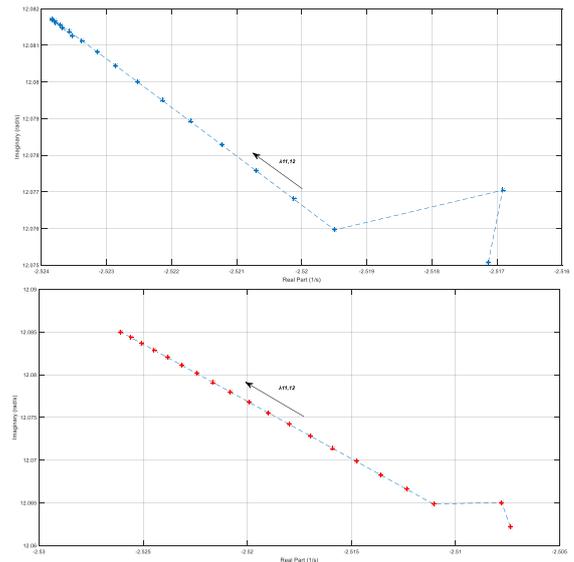
### 5. Pasangan eigenvalue ke-5



Gambar 7. Grafik pasangan eigenvalue ke-5

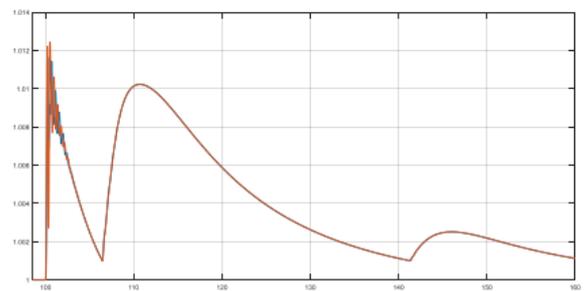
Eigenvalue dari kedua grafik ini berhubungan dengan state variable JRJ #1 phi, JRJ #1 speed, JRJ #3 phi, JRJ #3 speed, PLTU LOTIM 2 speed, PLTU LOTIM 2 phi, PLTU LOTIM 1 speed, PLTU LOTIM 1 phi, dan ada penambahan PKMTG #2 speed pada skenario replacement. Sehingga eigenvalue akan bergerak ke arah kiri menjauhi sumbu imajiner seiring dengan bertambahnya injeksi daya dari PLTS ke sistem, walaupun pada skenario replacement letak eigenvalue nya lebih dekat dengan sumbu imajiner dibanding dengan skenario adding. Hal ini berarti bahwa semakin meningkatnya penetrasi PLTS akan menyebabkan kenaikan kondisi kestabilan sistem. Pergerakan eigenvalue ke kiri tersebut akan menyebabkan sistem tidak begitu beresilasi ketika dihadapkan pada perubahan titik operasi.

### 6. Pasangan eigenvalue ke-6



Gambar 8. Grafik pasangan eigenvalue ke-6

Eigenvalue dari kedua grafik ini berhubungan dengan state variable JRJ #3 phi, JRJ #3 speed, JRJ #1 phi, dan JRJ #1 speed. Sehingga eigenvalue akan bergerak ke arah kiri menjauhi sumbu imajiner seiring dengan bertambahnya injeksi daya dari PLTS ke sistem, walaupun pada skenario replacement letak eigenvalue nya lebih dekat dengan sumbu imajiner dibanding dengan skenario adding. Hal ini berarti bahwa semakin meningkatnya penetrasi PLTS akan menyebabkan kenaikan kondisi kestabilan sistem. Pergerakan eigenvalue ke kiri tersebut akan menyebabkan sistem tidak begitu beresilasi ketika dihadapkan pada perubahan titik operasi.



Gambar 9. Hasil RMS Simulation Replacement Scenario

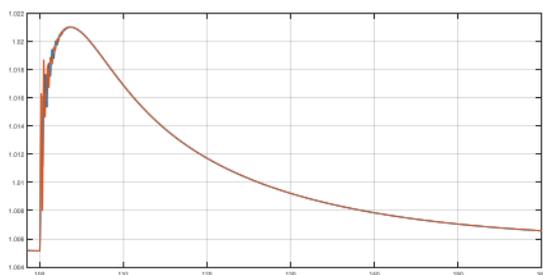
Dilihat dari keseluruhan grafik, dengan semakin bertambahnya injeksi PLTS kedalam sistem, nilai eigenvalue mayoritas bergerak ke arah kiri. Hal ini menunjukkan bahwa injeksi PLTS membawa dampak yang signifikan terhadap kestabilan sinyal kecil pada sistem, walaupun ketika PLTS dioperasikan sebagai pengganti dari adanya 2 buah PLTD yang dinonaktifkan terlihat bahwa letak nilai eigen lebih dekat dengan garis imajiner dibandingkan dengan ketika

PLTS diinjeksikan langsung ke sistem yang sudah ada. Hal tersebut didasari oleh PLTS yang tidak menambah nilai inersia sistem yang berkurang akibat adanya 2 PLTD yang dinonaktifkan.

#### D. Analisa RMS Simulation

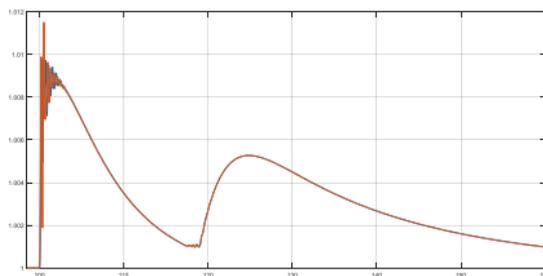
Simulasi RMS dilakukan dengan 2 skenario, yakni memberikan gangguan hubung singkat (*Short Circuit*) pada beberapa bus sistem yaitu Paokmotong busbar 1, Paokmotong busbar 2, serta PLTD AMPENAN busbar 2 dan juga dengan switch event. Gangguan hubung singkat diberikan untuk mengetahui tingkat osilasi dari sistem akibat adanya integrasi PLTS ke dalam sistem ketika terjadi gangguan, lalu switch event dilakukan untuk mengetahui respon dari sistem ketika adanya perubahan daya yang diinjeksikan ke dalam sistem secara tiba – tiba.

##### a) RMS Simulation dengan Gangguan Hubung Singkat



Gambar 10. Hasil RMS Simulation Base Case Scenario

Pada kondisi ini, gelombang respon dari sistem ketika belum adanya injeksi daya dari PLTS. Dapat dilihat bahwa belum terjadinya osilasi ketika gangguan hubung singkat terjadi.

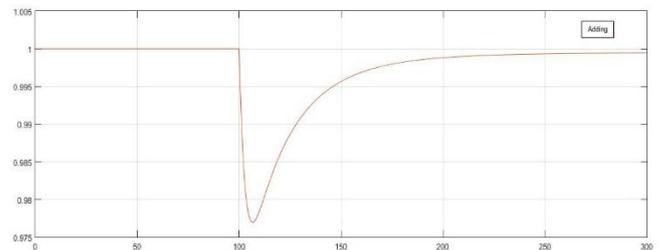


Gambar 11. Hasil RMS Simulation Adding Scenario

Pada kondisi Adding, setelah gangguan hubung singkat terjadi dapat dilihat bahwa sistem merespon adanya osilasi yang terjadi. Osilasi berlangsung dari detik ke 118 hingga detik ke 125 dan berangsur kembali ke keadaan seimbangnya.

Pada kondisi Replacement, setelah gangguan hubung singkat terjadi, terlihat sistem juga merespon adanya osilasi yang terjadi. Osilasi berlangsung dari detik ke 108 hingga detik ke 145 dan berangsur kembali ke titik seimbangnya.

Grafik diatas merupakan grafik hasil simulasi RMS dengan gangguan hubung singkat, dimana terlihat bahwa pada keadaan base case belum terjadi osilasi. Kemudian ketika kondisi adding mulai tampak osilasi yang terjadi selama 7 detik. Namun ketika kondisi replacement terjadi, osilasi yang terjadi cukup lama dibandingkan dengan kondisi – kondisi sebelumnya yakni terjadi selama 37s.



Gambar 12. Hasil RMS Switch Event Adding Scenario

##### b) RMS Simulation dengan Switch Event

Ketika terjadi perubahan injeksi daya dari PLTS yang semula 5 MW menjadi 1 MW ke dalam sistem, dapat dilihat bahwa sistem masih dapat mempertahankan kestabilannya pada kedua buah skenario.

## V. KESIMPULAN

Berdasarkan analisa yang telah dilakukan lewat simulasi pada penelitian ini, maka penulis dapat menarik kesimpulan bahwa ketika adanya pengintegrasian PLTS kedalam sistem kelistrikan Lombok membawa dampak yang signifikan terhadap jaringan. Ketika penetrasi PLTS kedalam sistem semakin meningkat maka osilasi yang terjadi pada sistem pun semakin meningkat pula walaupun sistem masih dalam keadaan yang stabil.

## VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Gurung, S. Naetiladdanon, and A. Sangswang, "Impact of PV Penetration on Small Signal Stability Considering Uncertainties," *Innov. Smart Grid Technol.*, pp. 646–650, 2016.
- [2] H. Shahsavari and A. Nateghi, "Optimal design of probabilistically robust PI $\lambda$ D $\mu$  controller to improve small signal stability of PV integrated power system," *J. Franklin Inst.*, vol. 356, no. 13, pp. 7183–7209, 2019, doi: 10.1016/j.jfranklin.2019.03.035.
- [3] A. U. Krismanto, N. Mithulanathan, and I. Kamwa, "Oscillatory stability assessment of microgrid in autonomous operation with uncertainties," *IET Renew. Power Gener.*, vol. 12, no. 4, pp. 494–504, 2018, doi: 10.1049/iet-rpg.2017.0579.
- [4] G. Wang, H. Xin, D. Wu, and P. Ju, "Data-driven probabilistic small signal stability analysis for grid-connected PV systems," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 113, no. July 2018, pp. 824–831, 2019,

- doi: 10.1016/j.ijepes.2019.06.004.
- [5] A. Srivastava, R. Meena, and S. K. Parida, "Effect of PV and FACTS on Small Signal Stability," *2018 20th Natl. Power Syst. Conf. NPSC 2018*, pp. 1–5, 2018, doi: 10.1109/NPSC.2018.8771832.
- [6] D. Lin and B. Eng, "Methods for Analyzing Power System Small Signal Stability By A thesis submitted to the school of Graduate Studies in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Engineering Faculty of Engineering and Applied Science Memorial Univer," no. May, p. 7, 2015.
- [7] A. U. Krismanto, N. Mithulananthan, and O. Krause, "Microgrid impact on low frequency oscillation and resonance in power system," *IEEE PES Innov. Smart Grid Technol. Conf. Eur.*, pp. 424–429, 2016, doi: 10.1109/ISGT-Asia.2016.7796423.
- [8] Q. T. Tran, M. Cong Pham, L. Parent, and K. Sousa, "Integration of PV Systems into Grid: From Impact Analysis to Solutions," *Proc. - 2018 IEEE Int. Conf. Environ. Electr. Eng. 2018 IEEE Ind. Commer. Power Syst. Eur. IEEEIC/ CPS Eur. 2018*, pp. 2–7, 2018, doi: 10.1109/IEEEIC.2018.8494400.
- [9] X. Buqiong and L. Yan, "Study on the Impact of PV Connection to Grid on Power Flow Based on Time Series Output Characteristics," *Chinese Control Conf. CCC*, vol. 2018-July, pp. 8991–8993, 2018, doi: 10.23919/ChiCC.2018.8483748.
- [10] [prabha kundur] *power system stability and control.pdf*. MCGRaw-Hill, Inc., 1994.
- [11] S. Eftekharnjad, V. Vittal, G. T. Heydt, B. Keel, and J. Loehr, "Small signal stability assessment of power systems with increased penetration of photovoltaic generation: A case study," *IEEE Trans. Sustain. Energy*, vol. 4, no. 4, pp. 960–967, 2013, doi: 10.1109/TSTE.2013.2259602.
- [12] S. Mishra and D. Ramasubramanian, "Improving the small signal stability of a PV-DE-dynamic load-based microgrid using an auxiliary signal in the PV control loop," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 30, no. 1, pp. 166–176, 2015, doi: 10.1109/TPWRS.2014.2322100.
- [13] M. T. Hoq, M. A. A. Murad, M. Rokonuzzaman, and N. Hossain, "Assessing impact of large scale integration of wind and solar PV power generation on small signal and transient stability," *4th Int. Conf. Electr. Eng. Inf. Commun. Technol. iCEEICT 2018*, pp. 483–488, 2019, doi: 10.1109/CEEICT.2018.8628159.
- [14] H. Liu, L. Jin, D. Le, and A. A. Chowdhury, "Impact of high penetration of solar photovoltaic generation on power system small signal stability," *2010 Int. Conf. Power Syst. Technol. Technol. Innov. Mak. Power Grid Smarter, POWERCON2010*, pp. 1–7, 2010, doi: 10.1109/POWERCON.2010.5666627.
- [15] W. J. Nacmanson, D. Jaglal, and L. F. Ochoa, "Holistic time-varying small signal stability assessment in PV-rich power systems," in *2019 IEEE Milan PowerTech, PowerTech 2019*, 2019, pp. 1–6, doi: 10.1109/PTC.2019.8810615.
- [16] J. Ma, T. Wang, Z. Wang, and J. S. Thorp, "Interval eigenvalue analysis of closed-loop control for power system oscillation with interval parameters," *IEEE Power Energy Soc. Gen. Meet.*, no. 1, pp. 1–6, 2012, doi: 10.1109/PESGM.2012.6345256.