Magnetika

ANALISA PENGARUH INTEGRASI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU TERHADAP SMALL SIGNAL STABILITY DI SISTEM KELISTRIKAN SULSELBAR

[1]Agung Bagus Putranto, [2]Awan Uji Krismanto, [3]Abraham Lomi
[1,2,3]Teknik Elektro S1 ITN Malang, Malang, Indonesia
[1]agungbp133@gmail.com, [2]awan_uji_krismanto@lecturer.itn.ac.id, [3]abraham@lecturer.itn.ac.id

Abstrak— Dalam penelitian ini, kami akan menganalisis pengaruh integrasi pembangkit listrik energi terbarukan dalam stabilitas sinyal kecil yang terjadi pada listrik Sulawesi Barat Daya. Studi ini berfokus pada nilai Eigen yang digunakan untuk menyelidiki kinerja stabilitas sinyal kecil dari jaringan listrik ketika disuntikkan pada Pembangkit Listrik Tenaga Angin skala besar dalam sistem. Dengan analisis kinerja sistem stabilitas sinyal kecil dapat dievaluasi. Stabilitas sinyal kecil adalah stabilitas sistem untuk gangguan kecil dalam bentuk osilasi elektromekanis yang tidak teredam. Sistem kekuatan yang berkembang dapat menghasilkan kinerja sistem yang lemah ketika mengalami gangguan. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa integrasi pembangkit listrik energi terbarukan memiliki pengaruh pada sistem.

Kata Kunci: *PLTB, Small Signal Stability, Eignevalue.*

I. PENDAHULUAN

Dalam perkembangan teknologi era globalisasi dan digitalisasi yang semakin canggih, kebutuhan akan listrik dirasakan sangat penting. Karena listrik merupakan kebutuhan yang sangat berpengaruh bagi kehidupan manusia, menyebabkan permintaan akan listrik meningkat, kualitas energi listrik harus dipenuhi. Variasi dalam perubahan beban berdampak pada stabilitas sistem. Perubahan signifikan dapat menyebabkan sistem mengalami masalah stabilitas.

Sistem tenaga listrik terdiri dari sumber dan beban yang terletak berjauhan dan mencakup area yang sangat besar dan pengiriman daya ke pusat-pusat beban dilakukan melalui jaringan transmisi dengan kapasitas terbatas. Operasi seperti itu akan menyebabkan kondisi stabil terganggu atau akan menyebabkan redaman osilasi elektromekanis yang tidak baik dan kondisi terburuknya adalah bahwa sistem tenaga gagal. [1], [2]

Osilasi elektromekanis terdiri dari dua jenis. Osilasi mode lokal, Kisaran frekuensi osilasi umum adalah 1-3 Hz. Istilah lokal digunakan karena osilasi dilokalisasi di satu stasiun atau sebagian kecil dari sistem tenaga. Mode osilasi antar wilayah, rentang frekuensi tipikal jenis osilasi ini kurang dari 1 Hz. Mereka disebabkan oleh dua atau lebih kelompok mesin yang saling terkait erat. [3]

Ketidakstabilan sistem dapat didefinisikan sebagai sifat sistem yang memungkinkan mesin bergerak secara sinkron dalam sistem untuk bereaksi terhadap gangguan dalam kondisi normal dan kembali ke kondisi semula ketika semua kondisi telah menjadi normal. Ketidakstabilan daya pada dasarnya terkait dengan osilasi sudut rotor.[1]

Kestabilan sudut atau kestabilan sudut rotor dapat didefinisikan sebagai "kemampuan mesin yang saling berhubungan secara sinkron dari suatu sistem tenaga untuk tetap dalam sinkronisme." Masalah mendasar di sini adalah cara di mana output daya mesin sinkron bervariasi ketika rotor berosilasi. [3]

Stabilitas sinyal kecil adalah kemampuan sistem tenaga untuk mempertahankan sinkronisasi di bawah gangguan kecil seperti variasi kecil dalam beban dan pembangkitan. Stabilitas sinyal yang kecil tergantung pada kondisi beban dan topologi sistem tenaga. [3], [4]

Untuk mengurangi risiko ini, perlu dilakukan penelitian dalam bentuk analisis stabilitas sinyal kecil tentang pengaruh integrasi pembangkit listrik tenaga angin terhadap stabilitas sistem Sulawesi Selatan. Pilihan lokasi karena ada 2 PLTB yaitu PLTB Sidrap dan PLTB Jeneponto, masing-masing dengan kapasitas 75 MW dan 72 MW yang dapat mempengaruhi stabilitas sistem.

II. KAJIAN PUSTAKA

A. Stabilitas Sistem Tenaga

Stabilitas sistem tenaga menunjukkan kemampuan sistem tenaga listrik, untuk diberika kondisi operasi awal, untuk mendapatkan kembali keseimbangan operasi setelah mengalami gangguan fisik, dengan sebagian besar variabel sistem terikat sehingga integritas sistem dipertahankan. Integritas sistem dipertahankan ketika secara praktis seluruh sistem tenaga tetap utuh tanpa ada generator atau muatan yang terputus, kecuali untuk yang tidak terhubung dengan isolasi elemen yang rusak atau sengaja terputus untuk menjaga kelangsungan operasi dari sistem yang tersisa. Stabilitas adalah kondisi keseimbangan antara kekuatan yang berlawanan; ketidakstabilan terjadi ketika gangguan menyebabkan ketidakseimbangan berkelanjutan antara kekuatan yang berlawanan.

Sistem daya adalah sistem yang sangat nonlinier yang beroperasi di lingkungan yang terus berubah; beban, output generator, topologi, dan parameter operasi utama berubah terus-menerus. Ketika mengalami gangguan sementara, stabilitas sistem tergantung pada sifat gangguan serta kondisi operasi awal. Gangguan mungkin kecil atau besar. Gangguan kecil dalam bentuk perubahan beban terjadi terus menerus, dan sistem menyesuaikan dengan kondisi yang berubah. Sistem harus dapat beroperasi secara baik dalam kondisi ini dan berhasil memenuhi permintaan beban. Itu juga harus mampu bertahan dari berbagai gangguan yang parah, seperti korsleting pada saluran transmisi atau generator putus dari sistem.

Setelah gangguan sementara, jika sistem daya stabil, ia akan mencapai keadaan keseimbangan baru dengan praktis seluruh sistem utuh; tindakan kontrol otomatis dan mungkin operator manusia pada akhirnya akan mengembalikan sistem ke keadaan normal. Di sisi lain, jika sistem tidak stabil, itu akan menghasilkan situasi run-away atau run-down; misalnya, peningkatan progresif dalam pemisahan sudut rotor generator, atau penurunan tegangan bus secara progresif. Kondisi sistem yang tidak stabil dapat menyebabkan pemadaman bertingkat dan penghentian sebagian besar sistem tenaga.

Respons sistem daya terhadap gangguan mungkin melibatkan banyak peralatan. Oleh karena itu, ketidakstabilan dalam sistem tenaga dapat terjadi dalam berbagai cara tergantung pada topologi sistem, mode operasi, dan bentuk gangguan.

Secara tradisional, masalah stabilitas adalah salah satu dari mempertahankan operasi sinkron. Karena sistem daya bergantung pada mesin sinkron untuk menghasilkan daya listrik, syarat yang diperlukan untuk operasi sistem yang memuaskan adalah bahwa semua mesin sinkron tetap sinkron atau, secara kebetulan. Aspek stabilitas ini dipengaruhi oleh dinamika generator sudut rotor dan hubungan sudut daya.

Ketidakstabilan juga dapat ditemukan tanpa kehilangan sinkronisasi. Misalnya, sistem yang terdiri dari generator yang memberi daya ke motor induksi dapat menjadi tidak stabil karena runtuhnya tegangan beban. Dalam hal ini, stabilitas dan kontrol tegangan yang menjadi masalah, bukan pemeliharaan sinkronisasi. Ketidakstabilan jenis ini juga dapat terjadi dalam kasus beban yang meliputi area luas dalam sistem besar.

Karena dimensi tinggi dan kompleksitas masalah stabilitas, penting untuk membuat asumsi penyederhanaan dan untuk menganalisis jenis masalah tertentu menggunakan tingkat yang tepat dari detail representasi sistem.

Stabilitas sistem tenaga adalah masalah tunggal; Namun, tidak praktis untuk menghadapinya. Ketidakstabilan sistem tenaga dapat mengambil bentuk yang berbeda dan dipengaruhi oleh berbagai faktor. Analisis masalah stabilitas, termasuk mengidentifikasi faktor-faktor penting yang berkontribusi terhadap ketidakstabilan dan merancang metode untuk meningkatkan operasi stabil sangat difasilitasi oleh klasifikasi stabilitas ke dalam kategori yang sesuai[10].

B. Stabilitas Sudut Rotor

Stabilitas sudut rotor berkaitan dengan kemampuan mesin sinkron yang saling berhubungan dari sistem daya untuk tetap sinkron dalam kondisi operasi normal dan setelah mengalami gangguan. Itu tergantung pada kemampuan untuk mempertahankan keseimbangan pemulihan antara torsi elektromagnetik dan torsi mekanik dari setiap mesin sinkron dalam sistem. Ketidakstabilan yang mungkin terjadi terjadi dalam bentuk peningkatan ayunan sudut dari beberapa generator yang menyebabkan hilangnya sinkronisme dengan generator lain.

Masalah stabilitas sudut rotor melibatkan studi tentang osilasi elektromekanis yang melekat dalam sistem tenaga. Faktor mendasar dalam masalah ini adalah cara di mana output daya mesin sinkron bervariasi ketika sudut rotor berubah. Mekanisme di mana mesin sinkron yang saling berhubungan menjaga sinkronisme satu sama lain adalah melalui kekuatan pemulih, yang bekerja kapan pun ada kekuatan yang cenderung mempercepat atau memperlambat satu mesin atau lebih sehubungan dengan mesin lain. Di dalam kondisi stabil, ada keseimbangan antara torsi mekanik input dan torsi listrik output dari setiap mesin, dan kecepatan tetap konstan. Jika sistem terganggu, keseimbangan ini terganggu, menghasilkan akselerasi atau perlambatan rotor mesin sesuai dengan hukum gerak benda yang berputar. Jika satu generator sementara berjalan lebih cepat dari yang lain, posisi sudut rotor relatif terhadap mesin yang lebih lambat akan maju. Perbedaan sudut yang dihasilkan memindahkan sebagian beban dari mesin lambat ke mesin cepat, tergantung pada hubungan sudut daya. Ini cenderung mengurangi perbedaan kecepatan dan karenanya pemisahan sudut. Hubungan sudut daya, seperti dibahas di atas, sangat nonlinier. Melampaui batas tertentu, peningkatan pemisahan sudut disertai dengan penurunan transfer daya; ini meningkatkan pemisahan sudut lebih jauh dan menyebabkan ketidakstabilan. Untuk situasi tertentu, stabilitas sistem tergantung pada apakah penyimpangan dalam posisi sudut rotor menghasilkan torsi pemulihan yang memadai.

Perlu dicatat bahwa kehilangan sinkronisasi dapat terjadi antara satu mesin dan sistem lainnya, atau antara kelompok mesin, mungkin dengan sinkronisasi yang dipertahankan

dalam masing-masing kelompok setelah terpisah satu sama lain.

Stabilitas sistem tergantung pada keberadaan kedua komponen torsi untuk masing-masing mesin sinkron. Kurangnya torsi sinkronisasi yang cukup mengakibatkan ketidakstabilan aperiodik atau non-osilasi, sedangkan kurangnya torsi redaman menyebabkan ketidakstabilan osilasi[10].

C. Small Signal Stability

Small Signal Stability adalah kemampuan sistem tenaga untuk tetap sinkron ketika mengalami gangguan kecil.[5][6] Dalam konteks ini, gangguan dianggap kecil jika persamaan yang menggambarkan respons yang dihasilkan oleh sistem linier untuk tujuan analisis. Ketidakstabilan diperoleh dalam dua bentuk.

1. Peningkatan sudut rotor generator yang stabil karena kurangnya sinkronisasi torsi.
2. Osilasi rotor meningkatkan amplitudo karena redaman torsi yang tidak memadai.

Saat ini, dalam praktik sistem tenaga, masalah kestabilan sinyal kecil biasanya adalah kemampuan untuk mengurangi osilasi sistem. Analisis sinyal kecil menggunakan teknik linier yang memberikan informasi berharga tentang karakteristik dinamis sistem tenaga.[7] Penjelasan aspek-aspek utama dari penelitian ini sebagai berikut stabilitas sistem dinamis, memberikan teknik analisis yang berguna untuk studi stabilitas sinyal kecil, menggambarkan karakteristik masalah stabilitas sinyal kecil dan mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhinya.[2], [8]

D. Analisa Eigenvalue

Stabilitas sinyal kecil (atau steady state) berkaitan dengan kemampuan sistem daya untuk mempertahankan sinkronisasi di bawah gangguan kecil. Gangguan dianggap cukup kecil sehingga linierisasi persamaan sistem diizinkan untuk tujuan analisis. Gangguan seperti itu terus-menerus ditemui dalam operasi sistem normal, seperti perubahan kecil pada beban.[8]

Gangguan kecil seperti perubahan beban kecil dan variasi parameter sistem menyimpang dari titik operasi sistem daya. Setelah gangguan, kondisi ketidakseimbangan antara torsi mekanik dan elektromagnetik yang terdiri dari sinkronisasi dan torsi redaman mungkin terjadi. Ketidakstabilan sinyal kecil yang mengarah ke osilasi dengan peningkatan amplitudo dalam rotor akan muncul karena torsi redaman yang tidak mencukupi. Ini akhirnya mengarah pada ketidakstabilan sistem. Kinerja stabilitas selama gangguan ditandai dengan nilai eigen dari matriks status sistem. Investigasi stabilitas sinyal kecil dilakukan melalui analisis modal karena perubahan titik operasi tercermin dalam perubahan nilai eigen. [9]

E. Modal Analysis

Analisis modal adalah metode mapan untuk menyelidiki stabilitas sinyal kecil. Keadaan dominan osilasi tertentu atau mode monoton dapat diidentifikasi dengan linierisasi persamaan diferensial sistem. Karena osilasi generator secara dominan dipengaruhi oleh penyimpangan dari kecepatan dan sudut rotor, sedangkan variabel keadaan lainnya memainkan peran kecil, pendekatan untuk mengurangi matriks keadaan generator ke urutan yang lebih rendah disajikan dalam makalah ini. Investigasi analitik dasar mengenai pemodelan generator sinkron yang terhubung ke bus tak terbatas memastikan reproduksi yang benar dari perilaku elektromekanis generator tanpa kehilangan akurasi dibandingkan dengan model tingkat tinggi. [10] [11] [12].

F. Teknologi Wind Turbine Generator

Wind Turbine *Generator* atau pembangkit listrik tenaga bayu adalah salah satu sumber energi terbarukan yang paling banyak digunakan. Energi angin banyak digunakan di mana efek dari turbin angin di grid lebih dapat diamati dibandingkan dengan sumber daya energi lainnya. Produksi energi listrik dalam turbin angin tergantung pada interaksi antara rotor dan tenaga angin. daya kinetik dari angin diubah menjadi energi listrik dalam generator[16]. Ada 4 teknologi WTG yang sering digunakan, yaitu VSD-WTG, PMSG, DFIG, dan FRC-WTG.

Energi angin telah menerima perhatian yang signifikan karena manfaat teknis dan ekonomisnya. Karena karakteristik WECS berbeda dari generator sinkron konvensional, ia memperkenalkan tantangan baru dalam operasi sistem. Daya yang dihasilkan dari WECS bervariasi, tergantung pada kecepatan angin. Akibatnya, kondisi keseimbangan pembangkit listrik dan permintaan beban mungkin terganggu. Perubahan keseimbangan daya dapat secara signifikan mempengaruhi stabilitas sistem, cenderung untuk melemahkan mode kritis. Lintasan nilai eigen yang sensitif akan berubah secara signifikan, menurunkan respons dinamis sistem [17].

G. Fully Rated Converter

Kami telah melihat lebih banyak minat dalam topologi konverter penuh untuk mencapai operasi kecepatan variabel. Sementara konfigurasi ini dapat diimplementasikan ke generator sinkron, kami akan menyajikan implementasi ke generator induksi. Karena decoupling lengkap antara mesin dan grid oleh DC-link, ada kebebasan penuh untuk mengontrol generator dan konverter sisi grid secara independen. Dengan demikian, berbagai kecepatan diharapkan akan tercapai. Ada elemen penting lain dari topologi ini, yaitu, kesalahan naik melalui sistem dapat diimplementasikan. [13] [14], [15]

H. Pengaruh WTG terhadap Small Signal Stability

Penetrasi skala besar dan integrasi energi angin kecepatan variabel memiliki dampak signifikan pada inersia sistem. Hal ini disebabkan oleh penggunaan konverter elektronik daya, misalnya Konverter Sumber Tegangan (VSC) back-to-back, mengisolasi turbin angin dari sistem tenaga dan membuatnya tidak sensitif terhadap perubahan frekuensi sistem dan akibatnya tidak dapat memberikan tanggapan inersia apa pun.

Respons inersia dalam sistem karena massa mesin yang berputar secara serentak terhubung memberikan respons balik dalam hitungan detik untuk menentang penyimpangan frekuensi setelah kehilangan pembangkit. Dalam sistem sinkron, jika kehilangan unit pembangkit, frekuensi turun karena ketidakseimbangan antara pembangkit dan beban. Ini tercermin dalam sistem tenaga secara instan. Selama periode pertama, respons inersia dari generator di seluruh sistem, bereaksi melepaskan atau menyimpan energi kinetik yang cenderung mengurangi penyimpangan frekuensi. Sistem inersia didefinisikan sebagai jumlah total energi kinetik yang disimpan dalam semua massa yang berputar. Konstanta inersia dari masing-masing generator dapat diartikan sebagai waktu dimana generator dapat memberikan daya output penuh dari energi kinetik tersimpannya sendiri.

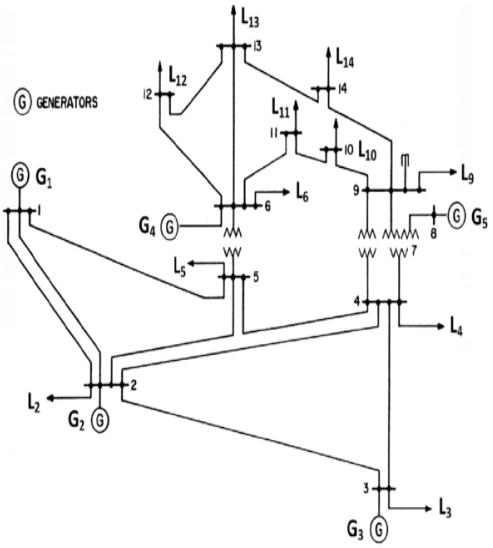
III. METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi yang digunakan dalam pembuatan skripsi Analisa Pengaruh Integrasi Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Terhadap Kestabilan Frekuensi Pada Saluran Transmisi 150kV Sulselbar (Sulawesi Selatan dan Barat) adalah :

1. Kajian Literatur
   Yaitu kajian pustaka untuk mempelajari teori – teori mengenai penelitian yang di lakukan pada Analisa Pengaruh Integrasi PLTB Terhadap Saluran Transmisi 150kV Sulselbar ini. Referensi berupa buku – buku maupun jurnal yang ada dan berhubungan dengan penelitian ini.
2. Pengumpulan Data
   Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data *example* jaringan interkoneksi IEEE 14 Bus, jaringan interkoneksi Sulawesi Selatan, data beban tersalurkan, dan single line diagram interkoneksi Sulawesi Selatan. Yang kemudian disimulasikan pada software DigSILENT PowerFactory.
3. Analisa
   Hasil simulasi digunakan untuk menganalisa perilaku small signal stability ketika sebelum pemasangan PLTB dan sesudah pemasangan PLTB.

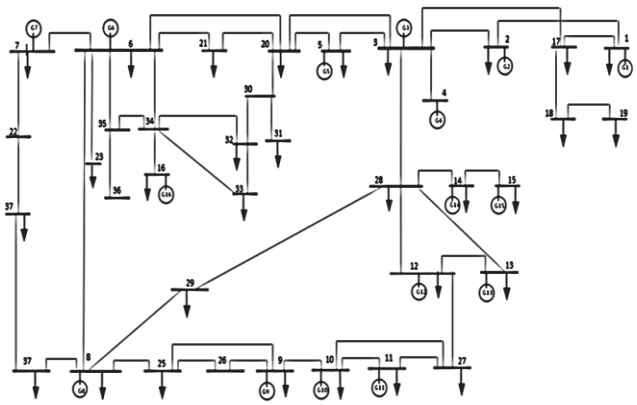
A. Studi Kasus

Sistem kelistrikan yang di gunakan untuk uji coba adalah Sistem Interkoneksi IEEE 14 Bus pada example software DigSILENT PowerFactory. Dengan penambahan PLTB secara bertahap 5 MW.



Gambar 1. Single Line Diagram IEEE 14 Bus

Sistem kelistrikan yang digunakan adalah sistem kelistrikan Sulawesi Selatan yang terdiri dari 16 unit pembangkit, beroperasi pada tegangan 150 kV, dan terdiri dari 37 bus dan 48 saluran yang terhubung ke pusat beban.



Gambar 2. Single Line Diagram SulSelbar 150 kV

B. Diagram Alir

Pada Gambar 3 menjelaskan tentang alur pengerjaan penelitian ini dari uji coba integrasi PLTB pada jaringan interkoneksi IEE 14 Bus pada *Digsilent Powerfactory*. lalu menggambar single line jaringan Sulslebar 150kV, penginputan data single line, simulasi sistem sebelum adanya PLTB (Base Case) dengan keadaan berikut yaitu melacak nilai eigenvalue pada sistem SulSelbar dan simulasi sistem setelah adanya PLTB dengan keadaan berikut :

1. Melakukan supply ke sistem dengan bertahap sebesar 5 MW.
2. Melacak nilai eigenvalue pada sistem setiap kenaikan supply 5 MW.

Selanjutnya akan dilakukan analisa dengan metode Modal Analysis pada setiap akhir *study case* yang dilakukan untuk membandingkan frekuensi generator sebelum dan

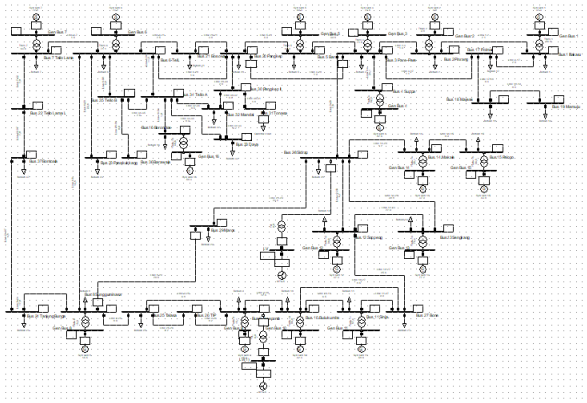
sesudah penambahan PLTB, juga membandingkan pengaruh penggunaan 2 jenis sistem konversi energi angin yang berbeda.

Gambar 3. Gambar Flowchart Alur Penelitian

IV. SIMULASI DAN ANALISA

A. Simulasi aliran daya (Load Flow)

Simulasi ini bertujuan untuk mengetahui kondisi sistem tersebut apakah sudah dapat dijalankan secara normal atau belum. Berikut adalah hasil simulasi Load Flow.



Gambar 4. Load flow Single Line Diagram Sulselbar

B. Modal Analysis Simulation

Simulasi awal dijalankan untuk mengetahui nilai eigen dari sistem sulsebar.

Tabel 1. Linear Value Analysis Of The System Wind 0 MW

Wind 0 MW (Base Case)					
Eig #	Real Part	Imaginary Part	Frequency	Damping Ratio	Mode Oscilation
Eigen # 37	-0.575	14.124	2.247	0.0407	Local
Eigen # 53	-0.886	11.314	1.800	0.0781	Inter Area
Eigen # 57	-0.690	10.760	1.712	0.0640	Inter Area
Eigen # 59	-0.765	10.382	1.652	0.0735	Inter Area
Eigen # 61	-0.548	9.405	1.497	0.0581	Inter Area
Eigen #143	-0.181	0.427	0.068	0.3896	Inter Area

Tabel 2. Linear Value Analysis Of The System Wind 17.5 MW

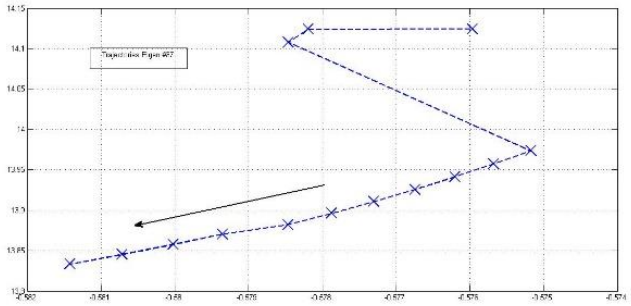
Wind 17.5 MW					
Eig #	Real Part	Imaginary Part	Frequency	Damping Ratio	Mode Oscilation
Eigen # 37	-0.578	14.100	2.244	0.0410	Local
Eigen # 53	-0.888	11.330	1.803	0.0781	Inter Area
Eigen # 57	-0.687	10.755	1.711	0.0638	Inter Area
Eigen # 59	-0.762	10.365	1.649	0.0733	Inter Area
Eigen # 61	-0.563	9.450	1.504	0.0595	Inter Area
Eigen # 143	-0.183	0.4253	0.067	0.3963	Inter Area

Tabel 3. Linear Value Analysis Of The System Wind 75 MW

Wind 75 MW					
Eig #	Real Part	Imaginary Part	Frequency	Damping Ratio	Mode Oscilation
Eigen # 37	-0.580	13.822	2.199	0.0419	Local
Eigen # 53	-0.869	11.136	1.772	0.077	Inter Area

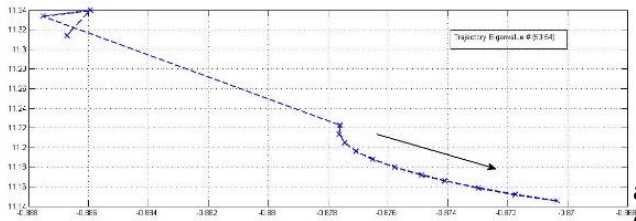
Eigen # 57	-0.666	10.642	1.693	0.0624	Inter Area
Eigen # 59	-0.663	10.160	1.617	0.0651	Inter Area
Eigen # 61	-0.547	9.372	1.491	0.0583	Inter Area
Eigen # 143	-0.174	0.4067	0.064	0.3941	Inter Area

Tabel 1, 2, dan 3 menunjukkan faktor partisipasi nilai eigen ketika angin memasok sistem 0 MW, 17,5 MW, 75 MW. dapat dilihat bahwa nilai redaman rasio menurun. Dan juga bilangan real dan imajiner dari nilai eigen berkurang.



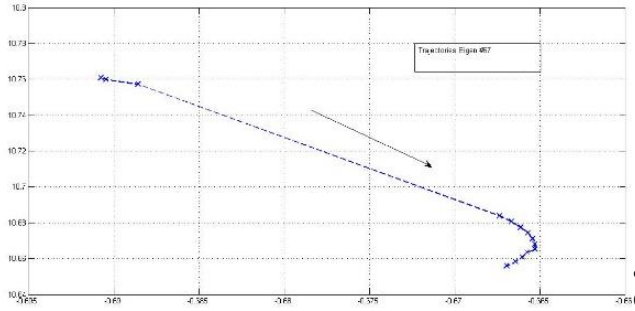
Gambar 5. Plot Eigenvalue #38

Dari gambar 5 tersebut dapat dilihat bahwa pasokan angin yang lebih besar ke sistem ini menyebabkan bagian eigen nyata dan imajiner bergerak ke kanan dari -0.575 ± 14.124 ke -0.580 ± 13.822.



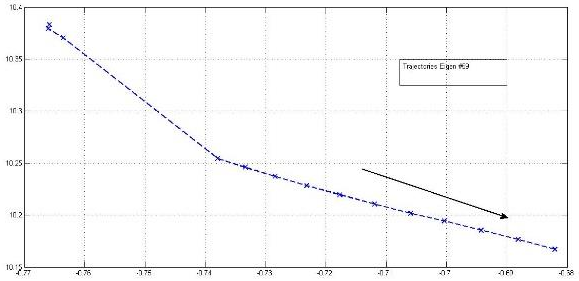
Gambar 6. Plot Eigenvalue #53

Dari gambar 6 tersebut dapat dilihat bahwa pasokan angin yang lebih besar ke sistem ini menyebabkan bagian eigen nyata dan imajiner bergerak ke kanan dari -0.8867 ± 11.314 ke -0.8698 ± 11.136.



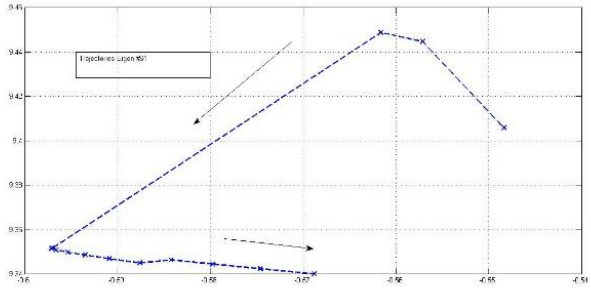
Gambar 7. Plot Eigenvalue #57

Dari gambar 7 tersebut dapat dilihat bahwa pasokan angin yang lebih besar ke sistem ini menyebabkan bagian eigen nyata dan imajiner bergerak ke kanan dari -0.690 ± 10.760 ke -0.666 ± 10.642.



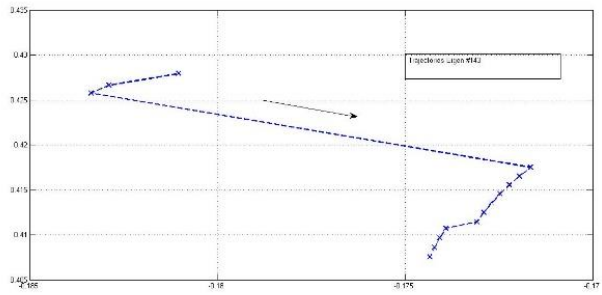
Gambar 8. Plot Eigenvalue #59

Dari gambar 8 tersebut dapat dilihat bahwa pasokan angin yang lebih besar ke sistem ini menyebabkan bagian eigen nyata dan imajiner bergerak ke kanan dari -0.765 ± 10.382 ke -0.666 ± 10.160.



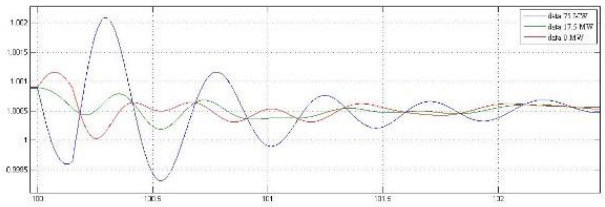
Gambar 9. Plot Eigenvalue #61

Dari gambar 9 tersebut dapat dilihat bahwa pasokan angin yang lebih besar ke sistem ini menyebabkan bagian eigen nyata dan imajiner bergerak ke kanan dari -0.548 ± 9.405 ke -0.547± 9.372.

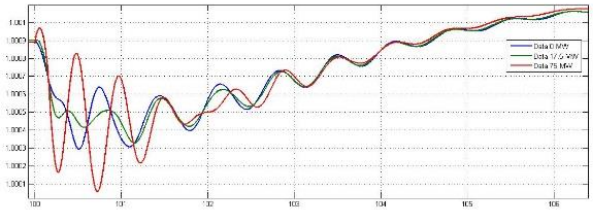


Gambar 10. Plot Eigenvalue #143

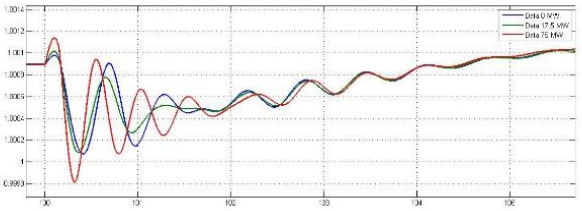
Dari gambar 10 tersebut dapat dilihat bahwa pasokan angin yang lebih besar ke sistem ini menyebabkan bagian eigen nyata dan imajiner bergerak ke kanan dari -0.183 ± 0.4253 ke -0.174 ± 0.4067.



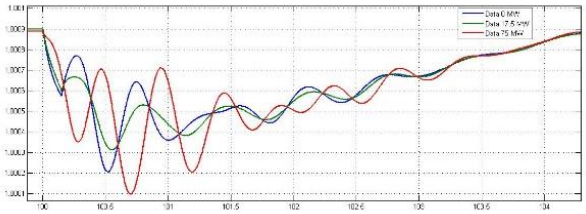
Gambar 11. The Rotor Speed Syn Gen 1



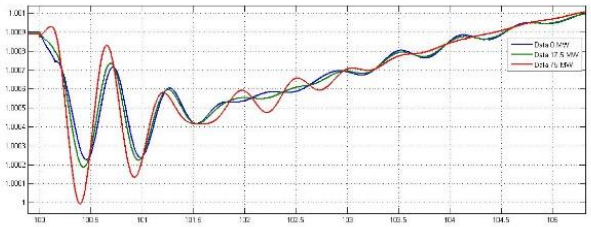
Gambar 12. The Rotor Speed Syn Gen 3



Gambar 13. The Rotor Speed Syn Gen 4



Gambar 14. The Rotor Speed Syn Gen 5



Gambar 15. The Rotor Speed Syn Gen 12

Dari gambar 11-15 tersebut dapat dilihat bahwa ketika sistem dipasok oleh pembangkit listrik tenaga angin, osilasi gelombang ketika dipasok dengan daya 0 MW atau base case, 17,5 MW, dan juga 75 MW. yang menunjukkan hasil ketika supply 75 MW gelombang lebih berosilasi diaripada ketika sistem tidak dipasok oleh pembangkit listrik tenaga angin.

V. KESIMPULAN

Dalam penelitian ini, analisis stabilitas sinyal kecil dari energi terbarukan integrasi pada grid SulSelbar memberikan dampak signifikan pada sistem ini terjadi karena ketika jaringan transmisi terintegrasi dengan pembangkit energi terbarukan yang menyebabkan sistem berosilasi lebih banyak. maka ini menunjukkan bahwa semakin besar pasokan pembangkit tenaga angin ke suatu sistem dapat menyebabkan osilasi tetapi sistem masih dalam kondisi stabil.

VI. DAFTAR PUSTAKA

[1] A. Supardi, “Simulasi Dinamika dan Stabilitas Sistem Tenaga Listrik dengan Menggunakan Thyristor Controlled Braking Resistor,” Jan. 2020.

[2] B. Mustadir Darusman, A. Suyuti, and I. C. Gunadin, “Small Signal Stability Analysis of Wind Turbine Penetration in Sulselrabar Interconnection System,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1090, p. 12034, 2018, doi: 10.1088/1742-6596/1090/1/012034.

[3] D. Mondal, A. Chakrabarti, and A. Sengupta, *Power System Small Signal Stability Analysis and Control*. Academic Press is an imprint of Elsevier, 2014.

[4] R. Ben Salah, M. Djebali, O. Kahouli, C. Bouchoucha, and H. H. Abdallah, “Small signal stability of the Tunisian interconnected power system,” in *2014 15th International Conference on Sciences and Techniques of Automatic Control and Computer Engineering (STA)*, 2014, pp. 624–630, doi: 10.1109/STA.2014.7086801.

[5] B. Sun, Z. He, Y. Jia, and K. Liao, “Small-Signal Stability Analysis of Wind Power System Based on DFIG,” *Energy Power Eng.*, vol. 05, pp. 418–422, Jan. 2013, doi: 10.4236/epe.2013.54B081.

[6] A. Sajadi, S. Zhao, K. Clark, and K. A. Loparo, “Small-Signal Stability Analysis of Large-Scale Power Systems in Response to Variability of Offshore Wind Power Plants,” *IEEE Syst. J.*, vol. 13, no. 3, pp. 3070–3079, 2019, doi: 10.1109/JSYST.2018.2885302.

[7] A. U. Krismanto and N. Mithulananthan, “Probabilistic small signal stability analysis of autonomous wind-diesel microgrid,” in *2017 IEEE Innovative Smart Grid Technologies - Asia (ISGT-Asia)*, 2017, pp. 1–6, doi: 10.1109/ISGT-Asia.2017.8378359.

[8] P. Kundur, Power *System Stability and Control*. McGraw-Hill Inc, 1994.

[9] A. U. Krismanto and O. Krause, “Microgrid Impact on Low Frequency Oscillation and Resonance in Power System,” 2016.

[10] J. Machowski, J. W. Bialek, and J. R. Bumby, “Power System Dynamics. Stability and Control,” Jan. 2012.

[11] S. Kreplin, S. Höhn, A. Semerow, and M. Luther, "Generator modeling in the context of small-signal stability," in *2016 IEEE Power and Energy Society General Meeting (PESGM)*, 2016, pp. 1–5, doi: 10.1109/PESGM.2016.7741598.
[12] H. Liu, L. Jin, D. Le, and A. A. Chowdhury, "Impact of high penetration of solar photovoltaic generation on power system small signal stability," in *2010 International Conference on Power System Technology*, 2010, pp. 1–7, doi: 10.1109/POWERCON.2010.5666627.
[13] N. D. Caliao, "Dynamic modelling and control of fully rated converter wind turbines," *Renew. Energy*, vol. 36, no. 8, pp. 2287–2297, 2011, doi: 10.1016/j.renene.2010.12.025.
[14] J. Carroll, A. McDonald, and D. McMillian, "Offshore cost of energy for DFIG Prc turbines vs. PMG FRC turbines," *IET Conf. Publ.*, vol. 2015, no. CP679, pp. 1–6, 2015, doi: 10.1049/cp.2015.0424.
[15] J. Carroll, A. McDonald, and D. McMillan, "Reliability Comparison of Wind Turbines With DFIG and PMG Drive Trains," *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 30, no. 2, pp. 663–670, 2015, doi: 10.1109/TEC.2014.2367243.