



Studi Kestabilan Generator Sistem Sulselrabar (*Stability Study of Sulselrabar System Generator*)

Muhammad Ruswandi Djalal¹⁾, Faisal Faisal²⁾

¹⁾ Program Studi Teknik Pembangkit Energi, Politeknik Negeri Ujung Pandang Makassar, Indonesia

²⁾ Staf Teknik Energi Program Studi Teknik Energi, Politeknik Negeri Ujung Pandang Makassar, Indonesia

¹⁾ wandi@poliupg.ac.id

²⁾ faisall@poliupg.ac.id

Abstract.- In the standard operating system, the input parameters such as changes in the mechanical torque of the turbine and changes in the field voltage of the amplifier from the exciter need to be considered. Some studies that can be done include the study of the dynamic stability of synchronous generators when dealing with small changes that occur using the eigenvalue approach which is the roots of the characteristic equations of the system state space equation. The eigenvalue can show information on system stability and is related to the response of time to changes in the system. The system used is in the Sulselrabar electrical system. The simulation results show the characteristics of the system in terms of the frequency response and angle of the generator rotor. For the eigenvalue system value in the inter-area oscillation mode is $-0.33293 + 4.0844i$, for the oscillation mode it is $-0.9043 + 7.9670i$. While the generator frequency response, where oscillations occur before reaching steady state conditions. The biggest overshoot response occurs in Old Tello plants, with a maximum overshoot of 0.09124 pu and a minimum of -0.2227 pu. While the smallest overshoot response is found in the Bakaru hydroelectric power plant which is equal to 0.004681 maximum pu and -0.02563 minimum pu.

Keywords: Generator; Stability; Frequency; Rotor Angle.

Abstrak.- Pada standar operasi sistem, maka parameter-parameter masukan seperti perubahan torsi mekanik dari turbin dan perubahan tegangan medan penguat dari exciter perlu diperhatikan. Beberapa studi yang bisa dilakukan diantaranya studi kestabilan dinamik generator sinkron saat menghadapi perubahan kecil yang terjadi dengan menggunakan pendekatan nilai eigen yang merupakan akar-akar persamaan karakteristik dari persamaan ruang keadaan sistem. Nilai eigen tersebut dapat menunjukkan informasi kestabilan sistem dan berhubungan dengan respon waktu terhadap perubahan didalam sistem. System yang digunakan adalah pada system kelistrikan Sulselrabar. Dari hasil simulasi menunjukkan karakteristik system yang ditinjau dari respon frekuensi dan sudut rotor generator. Untuk nilai eigenvalue system pada mode osilasi inter-area sebesar $-0,3293 + 4,0844i$, untuk mode osilasi sebesar $-0,9043 + 7,9670i$. Sedangkan respon Frekuensi generator, di mana terjadi osilasi sebelum mencapai kondisi steady state. Respon overshoot terbesar terjadi pada pembangkit Tello Lama, dengan overshoot maksimum 0.09124 pu dan minimum -0.2227 pu. Sedangkan respon overshoot terkecil terdapat pada pem-

bangkit listrik tenaga air bakaru yaitu sebesar 0.004681 pu maksimum dan -0.02563 pu minimum.

Kata Kunci: Generator; Kestabilan; Frekuensi; Sudut Rotor.

LATAR BELAKANG

Kestabilan dari sistem tenaga listrik yang ada, umumnya terdiri dari kestabilan steady state dan kestabilan transient. Kestabilan transient dikaitkan dengan gangguan besar yang tiba-tiba terjadi, misalkan seperti gangguan hubung singkat, pemutusan saluran, pemindahan atau pemutusan beban pada sistem. Sedangkan untuk kestabilan steady state berhubungan dengan kemampuan sistem tenaga listrik untuk kembali pada operating point-nya setelah gangguan kecil terjadi. Parameter sistem dikatakan stabil apabila seluruh variable keadaannya stabil, frekuensi sistem, tegangan bus, atau sudut generator. Sedangkan parameter untuk ketidakstabilan pada sistem seperti tegangan pada beberapa bus turun drastis jauh dari kondisi normal sehingga memungkinkan terjadi gagal tegangan.

Untuk dapat beroperasi dengan secara baik, perangkat generator diupayakan bekerja pada keadaan sinkron dan dapat memenuhi daya yang dibutuhkan oleh beban pada semua kondisi. Oleh karena itu, diupayakan menjaga kestabilan parameter-parameter output generator seperti Frekuensi rotor dan tegangan terminal generator agar besarnya selalu konstan pada standar operasi sistem, maka parameter-parameter masukan seperti perubahan torsi mekanik dari turbin dan perubahan tegangan medan penguat dari exciter perlu diperhatikan. Beberapa studi yang bisa dilakukan diantaranya studi kestabilan dinamik generator sinkron saat menghadapi perubahan kecil yang terjadi dengan menggunakan pendekatan nilai eigen yang merupakan akar-akar persamaan karakteristik dari persamaan ruang keadaan sistem. Nilai eigen tersebut dapat menunjukkan informasi kestabilan sistem dan berhubungan dengan respon waktu terhadap perubahan didalam sistem. System yang digunakan adalah pada system kelistrikan Sulselrabar. Beberapa studi yang telah dilakukan pada system Sulselrabar menunjukkan hasil yang baik dalam melakukan

studi tentang system, diantaranya [1-8]

Salah satu studi kestabilan yang dapat dilakukan adalah studi kestabilan dinamik untuk mengetahui perilaku dinamik dari generator sinkron yang selalu berosilasi disekitar titik kerjanya saat menghadapi perubahan kecil yang mungkin terjadi dengan menggunakan pendekatan nilai eigen yang merupakan akar-akar atau kutub-kutub dari persamaan karakteristik fungsi transfer yang membentuk persamaan ruang keadaan sistem dan dapat menunjukkan indikator kestabilan suatu sistem. Kutub-kutub persamaan karakteristik fungsi transfer tersebut berhubungan dengan respon waktu terhadap perubahan didalam sistem.

KESTABILAN SISTEM TENAGA LISTRIK

Secara umum kestabilan sistem tenaga dapat dibedakan menjadi tiga kondisi, yaitu kestabilan *steady-state*, *transient*, dan dinamik [9] . Secara konsep kestabilan dinamik dan kestabilan *steady-state* adalah sama, yang membedakan keduanya adalah hanya berbeda dalam rincian yang digunakan untuk membuat model mesin. Teknik penyelesaian masalah kestabilan *transient* dan dinamis adalah dengan menyelidiki kestabilan sistem itu terhadap perubahan kecil (*incremental*) di sekitar titik kesetimbangan. Pada Gambar berikut hubungan antara sudut deviasi rotor dari titik operasi *steady state* (*d*) dan daya (*P*).

- Bila $P_e > P_m$ ($d > d_0$) maka rotor akan mengalami perlambatan
- Bila $P_e < P_m$ ($d < d_0$) maka rotor akan mengalami percepatan

[Figure 1 about here.]

Dari Gambar 1 di atas dapat ditulis dalam Persamaan 1 sebagai berikut, Gambar 2

[Figure 2 about here.]

Jika terjadi perubahan disisi beban, akan menyebabkan perubahan frekuensi dan tegangan sistem. Hal ini sesuai [10], Gambar 3

[Figure 3 about here.]

Kestabilan dapat dianalisis menggunakan beberapa cara, yaitu analisis *eigenvalue*, analisis Routh Hurwith dan lain-lain. Berikut ini, dipaparkan secara singkat mengenai analisis kestabilan menggunakan *eigenvalue*. Untuk analisis tersebut, diperlukan model matematik dari sistem yang dianalisis. Dari model matematik yang diperoleh diubah ke dalam bentuk persamaan matriks keadaan, seperti pada Persamaan 3 dan 4. Gambar 4

[Figure 4 about here.]

Melalui matriks sistem A, kondisi kestabilan sistem dapat dipantau :

$$\det(sI-A)=0 \quad (2.64)$$

Dengan *I* adalah matriks identitas dan *s* adalah *eigenvalue* dari matriks A. Matriks A berukuran *n x n*, sehingga banyaknya *eigenvalue* yang diperoleh sebanyak *n*, $\lambda = \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n$. Gambar 5

[Figure 5 about here.]

Berdasarkan nilai *eigenvalue* matriks A, kestabilan sistem dapat diketahui. Sistem dikatakan stabil jika bagian real dari *eigenvalue* bernilai negatif. Pengecekan kestabilan ini sangat penting dilakukan pada saat memasang peralatan kontrol pada suatu sistem. Dengan kata lain, sebelum memberikan kontrol pada suatu sistem, sistem yang akan dikontrol harus stabil. Setelah stabil, baru dipasang kontrol. Bagian riil *eigenvalue* merupakan komponen redaman, sedangkan bagian imajiner merupakan komponen osilasi. Nilai redaman dapat diketahui menggunakan nilai *damping ratio* (Persamaan 6) Gambar 6 . Sedangkan redaman sistem secara keseluruhan dapat diketahui dari nilai *Comprehensive Damping Index* (CDI) yang dirumuskan pada Persamaan 7 Gambar 6 .

[Figure 6 about here.]

Controllability dan Observability

Sebelum melakukan langkah kontrol pada suatu sistem, penting untuk diketahui terlebih dahulu apakah sistem tersebut dapat dikontrol atau tidak. Apabila sistem telah memenuhi syarat *controllability* artinya sistem tersebut dapat dikontrol. Apabila sistem dinyatakan sesuai dengan Persamaan 6 dan 7, maka untuk mengetahui syarat *controllability* terpenuhi atau tidak dapat menggunakan Persamaan berikut, Gambar 7

[Figure 7 about here.]

Apabila matriks **P** diatas memiliki rank=n, maka sistem tersebut bersifat *controllable* atau dapat dikontrol. Sedangkan *observability* digunakan untuk melihat apakah suatu sistem dapat terukur atau tidak. Untuk syarat *observability* sistem dapat diketahui dengan Persamaan berikut berikut, Gambar 8

[Figure 8 about here.]

Apabila matriks **P** diatas memiliki rank=n, maka sistem tersebut bersifat *observable*. Penting untuk diperhatikan bahwa, untuk melakukan pemasangan kontrol pada suatu sistem, harus dipenuhi terlebih dahulu 3 syarat, yaitu sistem yang belum dikontrol harus *Controllable* , *O bservable* dan *Stability (COS)*. Gambar 9

[Figure 9 about here.]

METODE PENELITIAN

Ada beberapa tahap pengerjaan analisis, diantaranya studi aliran daya, pemodelan sistem dan reduksi matriks admitansi. Pembuatan algoritma diselesaikan di m.file Matlab dan hasilnya diintegrasikan dengan Simulink Matlab untuk menganalisis performansi sistem berdasarkan metode yang digunakan.

Studi Aliran daya

Pengerjaan Penelitian diawali dengan melakukan simulasi loadflow sistem terlebih dahulu untuk mendapatkan parameter tegangan dan sudut. Hasil dari simulasi ini akan digunakan sebagai data untuk pemodelan linier sistem.

Pemodelan Sistem

Setelah studi aliran daya dilakukan selanjutnya, sistem tenaga listrik dimodelkan ke dalam model linier multimesin dalam bentuk model d-q. Model sistem ditampilkan menggunakan program simulink pada Matlab dan dianalisis dengan penggunaan m.file Matlab 2013.

Reduksi Matriks Admitansi Jaring

Reduksi jaring sistem tenaga listrik digunakan untuk menyederhanakan matriks admitansi jaringan sistem. Tujuannya adalah untuk mereduksi matriks admitansi atau untuk mengeliminasi bus beban, sehingga nantinya ukuran matriks ini sama dengan jumlah generator. Matriks reduksi ini digunakan dalam pemodelan jaring sistem tenaga listrik multimesin. Matriks yang berukuran 37x37 (jumlah 37 bus) direduksi menjadi matrik 16x16 (jumlah 16 pembangkit).Gambar 10

[Figure 10 about here.]

Single Line Diagram uelselrabar SystemGambar 11

[Figure 11 about here.]

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengerjaan Penelitian diawali dengan melakukan simulasi loadflow sistem terlebih dahulu untuk mendapatkan parameter tegangan dan sudut. Hasil dari simulasi ini akan digunakan sebagai daata untuk pemodelan linier sistem. Berikut hasil aliran daya kondisi normal.

[Table 1 about here.]

Selanjutnya melihat respon kestabilan system dengan meninjau parameter deviasi Frekuensi (Dw) dan sudut rotor dari setiap generator. Overshoot DeviasiFrekuensi dari generator akan dianalisisa perbedaannya. Tabel 2 menunjukkan hasil eigenvalue kritis sistem, Tabel 3 menunjukkan perbandingan eigenvalue pada mode osilasi inter-area dan local-area, yang ditampilkan berdasarkan osilasi yang terjadi. Tabel 4 menunjukkan overshoot deviasiFrekuensi generator.

[Table 2 about here.]

[Table 3 about here.]

[Table 4 about here.]

- Respon Frekuensi Generator Bakaru dan PinrangGambar 12

[Figure 12 about here.]

- Respon Frekuensi Generator Pare-Pare dan SuppaGambar 13

[Figure 13 about here.]

- Respon Frekuensi Generator Barru dan TelloGambar 14

- Respon Frekuensi Generator Tello Lama dan SungguminasaGambar 15

[Figure 14 about here.]

[Figure 15 about here.]

- Respon Frekuensi Generator Jeneponto dan BulukumbaGambar 16

- Respon Frekuensi Generator Sinjai dan SoppengGambar 17

[Figure 16 about here.]

[Figure 17 about here.]

- Respon Frekuensi Generator Sengkang dan MakaleGambar 18

- Respon Frekuensi Generator Palopo dan BorongloeGambar 19

[Figure 18 about here.]

[Figure 19 about here.]

- Respon Sudut Rotor Generator Bakaru dan PinrangGambar 20

- Respon Sudut Rotor Generator Pare-Pare dan SuppaGambar 21

[Figure 20 about here.]

[Figure 21 about here.]

- Respon Sudut Rotor Generator Barru dan Tello Gambar 22
- Respon Sudut Rotor Generator Tello Lama dan Sungguminasa Gambar 23

[Figure 22 about here.]

[Figure 23 about here.]

- Respon Sudut Rotor Generator Jeneponto dan Bulukumba Gambar 24
- Respon Sudut Rotor Generator Sinjai dan Soppeng Gambar 25

[Figure 24 about here.]

[Figure 25 about here.]

Respon Sudut Rotor

- Respon Sudut Rotor Generator Sengkang dan Makale Gambar 26
- Respon Sudut Rotor Generator Palopo dan Borongloe Gambar 27

[Figure 26 about here.]

[Figure 27 about here.]

KESIMPULAN

Dari hasil simulasi menunjukkan karakteristik system yang ditinjau dari respon frekuensi dan sudut rotor generator. Untuk nilai eigenvalue system pada mode osilasi inter-area sebesar $-0,3293 + 4,0844i$, untuk mode osilasi sebesar $-0,9043 + 7,9670i$. Sedangkan respon Frekuensi generator, di mana terjadi osilasi sebelum mencapai kondisi steady state. Respon overshoot terbesar terjadi pada pembangkit Tello Lama, dengan overshoot maksimum 0.09124 pu dan minimum -0.2227 pu. Sedangkan respon overshoot terkecil terdapat pada pembangkit listrik tenaga air bakaru yaitu sebesar 0.004681 pu maksimum dan -0.02563 pu minimum.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. A. M. R. Djalal, “”Studi Hubung Singkat 3 Fasa Simetri (Studi Kasus Sistem Interkoneksi 150 kV Sulsebarab),” presented at the Nasread Universitas Darul ’Ulum Jombang, Teknik Elektro Universitas Darul ’Ulum,” 2014.
- [2] M. R. Djalal, *Penempatan PSS pada System Kelistrikan 150 kV Sulsebarab menggunakan Cuckoo Search Algoritm,*, 2015.
- [3] M. R. Djalal, M. A. Haikal, T. M. P. N. U. Pandang, & T. E. I. P. Aceh, “Penyelesaian Aliran Daya 37 Bus Dengan Metode Newton Raphson (Studi Kasus Sistem Interkoneksi 150 kV Sulawesi Selatan),” 2014.
- [4] M. R. Djalal, A. Imran, & I. Robandi, *Optimal placement and tuning power system stabilizer using Participation Factor and Imperialist Competitive Algorithm in 150 kV South of Sulawesi system,*, 2015.
- [5] M. R. Djalal, H. Nawir, H. Setiadi, & A. Imran, “An Approach Transient Stability Analysis Using Equivalent Impedance Modified in 150 kV South of Sulawesi System,,” *Journal of Electrical and Electronics Engineering UMSIDA*, vol. 1, pp. 1–7, 2016.
- [6] M. R. Djalal, H. Setiadi, D. Lastomo, & M. Y. Yunus, “Modal Analysis and Stability Enhancement of 150 kV Sulsebarab Electrical System using PSS and RFB based on Cuckoo Search Algorithm,,” *International Journal on Electrical Engineering and Informatics*, vol. 9, pp. 800–812, 2017.
- [7] M. R. Djalal, M. Y. Yunus, H. Setiadi, & A. U. Krismanto, “Small-Signal-Stability Enhancement using a Power-System Stabilizer based on the Cuckoo-Search Algorithm against Contingency N-1 in the Sulsebarab 150-kV System,,” *Makara Journal of Technology*, vol. 22, pp. 1–8, 2018.
- [8] M. Y. Yunus, M. R. Djalal, & Marhatang, “Optimal Design Power System Stabilizer Using Firefly Algorithm in Interconnected 150 kV Sulsebarab System, Indonesia,,” *International Review of Electrical Engineering (IREE)*, vol. 12, pp. 250–259, 2017.
- [9] I. Robandi, “”Modern Power System Control,,” Penerbit,” 2009.
- [10] P. Kundur, *Power system stability*, vol. 7.

Conflict of Interest Statement: The author declares that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

Copyright © 2019 Author [s]. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY). The use, distribution or reproduction in other forums is permitted, provided the original author(s) and the copyright owner(s) are credited and that the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice. No use, distribution or reproduction is permitted which does not comply with these terms.

Received: 02-04-2019

Accepted: 14-05-2019

Published: 03-04-2019

LIST OF TABLES

| | | |
|-----|---|----|
| I | Results of Load Flow Analysis Tabel I | 88 |
| II | Eigenvalue KritisTabel II | 89 |
| III | Eigenvalue pada Mode Osilasi inter-area dan local-areaTabel III | 90 |
| IV | Frequency OvershootTabel IV | 91 |

TABEL I.. RESULTS OF LOAD FLOW ANALYSIS TABEL I

| No Bus | V (pu) | Angle (o) | No Bus | V (pu) | Angle (o) |
|--------|--------|-----------|--------|--------|-----------|
| 1 | 1.000 | 0.000 | 20 | 0.979 | -16.450 |
| 2 | 1.000 | -3.869 | 21 | 0.983 | -18.428 |
| 3 | 1.000 | -5.124 | 22 | 0.987 | -21.176 |
| 4 | 1.000 | -4.041 | 23 | 0.960 | -23.033 |
| 5 | 1.000 | -9.839 | 24 | 0.993 | -20.956 |
| 6 | 1.000 | -20.793 | 25 | 0.994 | -19.485 |
| 7 | 1.000 | -21.192 | 26 | 0.994 | -18.453 |
| 8 | 1.000 | -20.221 | 27 | 0.990 | -8.949 |
| 9 | 1.000 | -16.359 | 28 | 0.992 | -4.600 |
| 10 | 1.000 | -13.152 | 29 | 0.992 | -17.723 |
| 11 | 1.000 | -11.792 | 30 | 0.960 | -16.091 |
| 12 | 1.000 | -2.500 | 31 | 0.933 | -17.110 |
| 13 | 1.000 | 2.915 | 32 | 0.980 | -21.261 |
| 14 | 1.000 | -11.380 | 33 | 0.984 | -21.251 |
| 15 | 1.000 | -13.389 | 34 | 0.993 | -20.728 |
| 16 | 1.000 | -21.966 | 35 | 0.996 | -20.760 |
| 17 | 0.992 | -3.072 | 36 | 0.996 | -20.760 |
| 18 | 0.974 | -5.217 | 37 | 0.975 | -22.476 |
| 19 | 0.965 | -6.386 | | | |

TABEL II.. EIGENVALUE KRITIS TABEL II

| |
|-------------------|
| No PSS (1.0e+02*) |
| -0,4442 ± 5,3196i |
| -0,3056 ± 4,6944i |
| -0,3135 ± 4,5323i |
| -0,1266 ± 4,3273i |
| -0,0853 ± 4,1574i |
| -0,2594 ± 4,1886i |
| -0,0825 ± 4,0439i |
| -0,0389 ± 3,5546i |
| -0,0033 ± 0,0408i |

TABEL III.. EIGENVALUE PADA MODE OSILASI INTER-AREA DAN LOCAL-AREA TABEL III

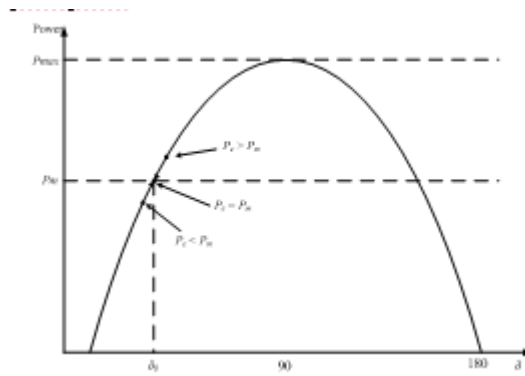
| Mode Osilasi | No PSS |
|--------------|-------------------|
| Inter-Area | -0,3293 + 4,0844i |
| | -0,4445 + 4,6156i |
| | -0,5049 + 4,5409i |
| | -0,5121 + 4,5346i |
| | -0,9043 + 7,9670i |
| | -1,0640 + 7,0827i |
| | -0,8539 + 6,9713i |
| Lokal | -1,4632 + 6,2010i |
| | -0,7864 + 5,3303i |
| | -1,0964 + 5,8274i |
| | -1,2476 + 5,8462i |
| | -0,9347 + 5,5081i |
| | -1,1487 + 5,6546i |
| | -0,9912 + 5,4670i |
| | -1,1527 + 5,6600i |

TABEL IV.. FREQUENCY OVERSHOOT TABEL IV

| Generator | Frekuensi (Max - Min) |
|-------------|-----------------------|
| Bakaru | 0.004681 & -0.02563 |
| Pinrang | 0.006884 & -0.02385 |
| Pare - Pare | 0.004794 & -0.02424 |
| Suppa | 0.006515 & -0.02437 |
| Barru | 0.03669 & -0.08466 |
| Tello | 0.05448 & -0.2119 |
| Tello lama | 0.09124 & -0.2227 |
| Sgmnsa | 0.007789 & -0.05721 |
| Jeneponto | 0.006145 & -0.02519 |
| Bulukumba | 0.01017 & -0.02447 |
| Sinjai | 0.01805 & -0.0263 |
| Soppeng | 0.01152 & -0.0248 |
| Sengkang | 0.005063 & -0.02694 |
| Makale | 0.01704 & -0.02397 |
| Palopo | 0.01892 & -0.02442 |
| Borongloe | 0.01622 & -0.06846 |

LIST OF FIGURES

| | | |
|----|---|-----|
| 1 | Kurva Hubungan Sudut Deviasi Rotor (<i>d</i>) dan Daya (<i>P</i>) | 93 |
| 2 | Daya aktif yang disalurkan | 94 |
| 3 | perubahan frekuensi dan tegangan sistem | 95 |
| 4 | Persamaan 3 dan 4 | 96 |
| 5 | $\det(sI-A)=0$ (2.64) | 97 |
| 6 | Rumus <i>Comprehensive Damping Index</i> | 98 |
| 7 | bersifat <i>controllable</i> | 99 |
| 8 | bersifat <i>observable</i> | 100 |
| 9 | Diagram Alur Persiapan Pemasangan Kontrol | 101 |
| 10 | Flowchart Penelitian | 102 |
| 11 | Single Line Diagram ulselrabar System | 103 |
| 12 | Respon Frekuensi Generator Bakar dan Pinrang | 104 |
| 13 | Respon Frekuensi Generator Pare-Pare dan Suppa | 105 |
| 14 | Respon Frekuensi Generator Barru dan Tello | 106 |
| 15 | Respon Frekuensi Generator Tello Lama dan Sungguminasa | 107 |
| 16 | Respon Frekuensi Generator Jeneponto dan Bulukumba | 108 |
| 17 | Respon Frekuensi Generator Sinjai dan Soppeng | 109 |
| 18 | Respon Frekuensi Generator Sengkang dan Makale | 110 |
| 19 | Respon Frekuensi Generator Palopo dan Borongloe | 111 |
| 20 | Respon Sudut Rotor Generator Bakar dan Pinrang | 112 |
| 21 | Respon Sudut Rotor Generator Pare-Pare dan Suppa | 113 |
| 22 | Respon Sudut Rotor Generator Barru dan Tello | 114 |
| 23 | Respon Sudut Rotor Generator Tello Lama dan Sungguminasa | 115 |
| 24 | Respon Sudut Rotor Generator Jeneponto dan Bulukumba | 116 |
| 25 | Respon Sudut Rotor Generator Sinjai dan Soppeng | 117 |
| 26 | Respon Sudut Rotor Generator Sengkang dan Makale | 118 |
| 27 | Respon Sudut Rotor Generator Palopo dan Borongloe | 119 |



Gambar 1. Kurva Hubungan Sudut Deviasi Rotor (δ) dan Daya (P)

$$P_e = \frac{E'_g E_0}{X} \sin \delta_0 \tag{1}$$

dengan,

- P_e = Daya aktif yang disalurkan
- X = Reaktansi transmisi dari terminal generator sampai *infinite bus*
- E'_g = Tegangan internal generator
- E_0 = Tegangan *infinite bus*
- δ_0 = Sudut antara tegangan internal generator dengan *infinite bus*

Gambar 2. Daya aktif yang disalurkan

$$P_m - P_e = M \frac{d\omega}{dt} \quad (2)$$

bila $P_m > P_e \Rightarrow \frac{d\omega}{dt} > 0$, sehingga ω akan naik dan f juga naik
 bila $P_m < P_e \Rightarrow \frac{d\omega}{dt} < 0$, sehingga ω akan turun dan f juga turun
 bila $P_m = P_e \Rightarrow \frac{d\omega}{dt} = 0$, sehingga ω akan konstan dan f juga konstan

Gambar 3. perubahan frekuensi dan tegangan sistem

$$\Delta \dot{x} = A\Delta x + B\Delta u \quad (3)$$

$$\Delta y = C\Delta x + D\Delta u \quad (4)$$

Dengan,

Δx = Matriks keadaan ($n \times 1$)

Δy = Matriks variabel output ($m \times 1$)

u = Matriks variabel input ($r \times 1$)

A = Matriks sistem ($n \times n$)

B = Matriks input ($n \times r$)

C = Matriks pengukuran ($m \times n$)

D = Matriks input untuk output ($m \times r$)

Gambar 4. Persamaan 3 dan 4

$$\lambda_i = \sigma_i + j\omega_i \tag{5}$$

Frekuensi osilasi dalam Hz adalah

$$f = \frac{\omega}{2\pi} \tag{5}$$

Dengan,

- λ_i = Eigenvalue ke- i
- σ_i = Komponen riil dari eigenvalue ke- i
- ω_i = Komponen imajiner dari eigenvalue ke- i

Gambar 5. $\det(sI-A)=0$ (2.64)

$$\zeta_i = \frac{-\sigma_i}{\sqrt{\sigma_i^2 + \omega_i^2}} \quad (6)$$

$$CDI = \sum_{i=1}^n (1 - \zeta_i) \quad (7)$$

Dengan,

ζ_i = *Damping ratio ke-i*

n = *jumlah eigenvalue*

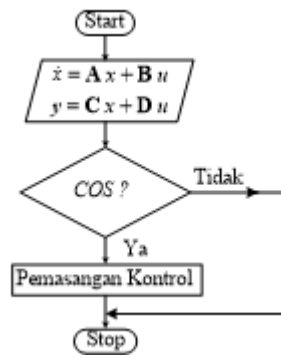
Gambar 6. Rumus *Comprehensive Damping Index*

$$P = [CB : CAB : CA^2B : \dots : CA^{(n-1)}B : D] \quad (8)$$

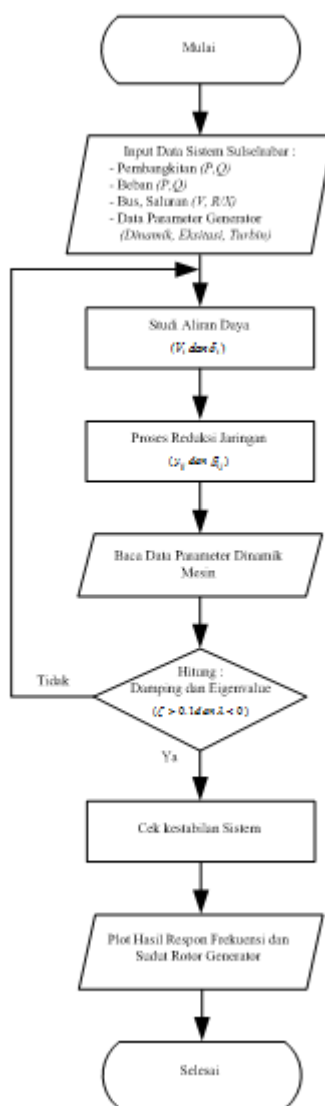
Gambar 7. bersifat *controllable*

$$P = [C^T : A^T C^T : (A^T)^2 C^T : \dots : (A^T)^{(n-1)} C^T] \quad (9)$$

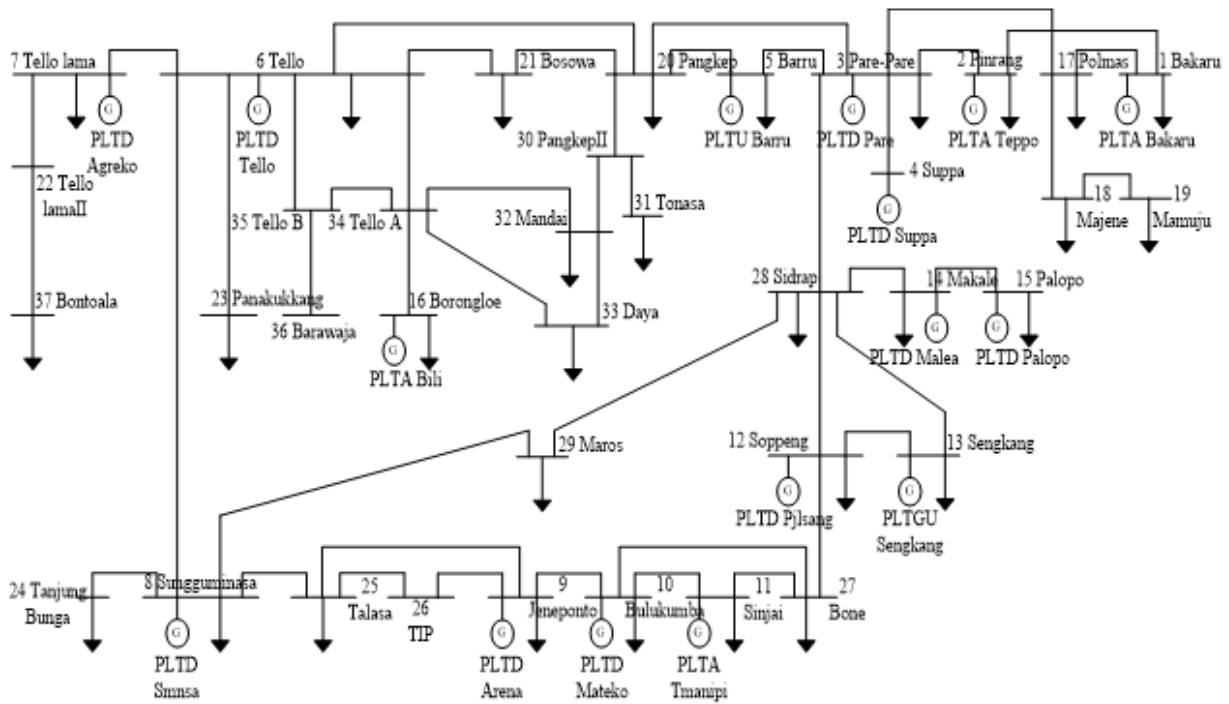
Gambar 8. bersifat *observable*



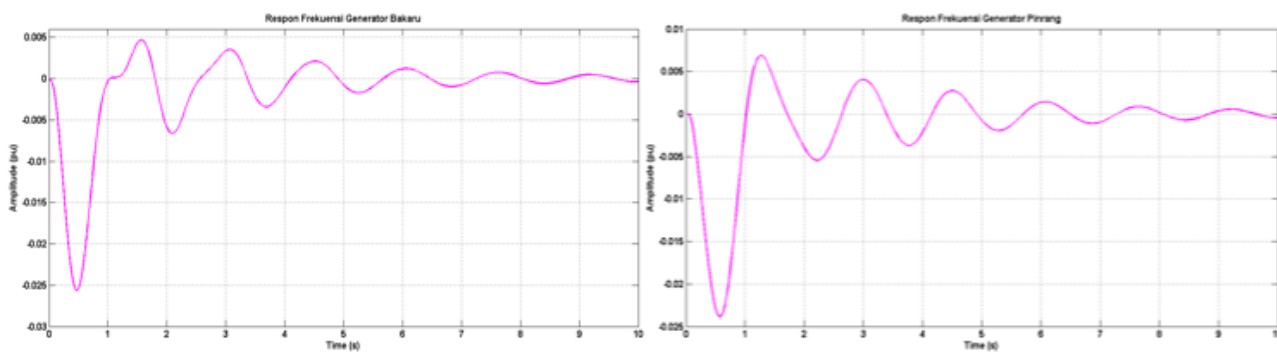
Gambar 9. Diagram Alur Persiapan Pemasangan Kontrol



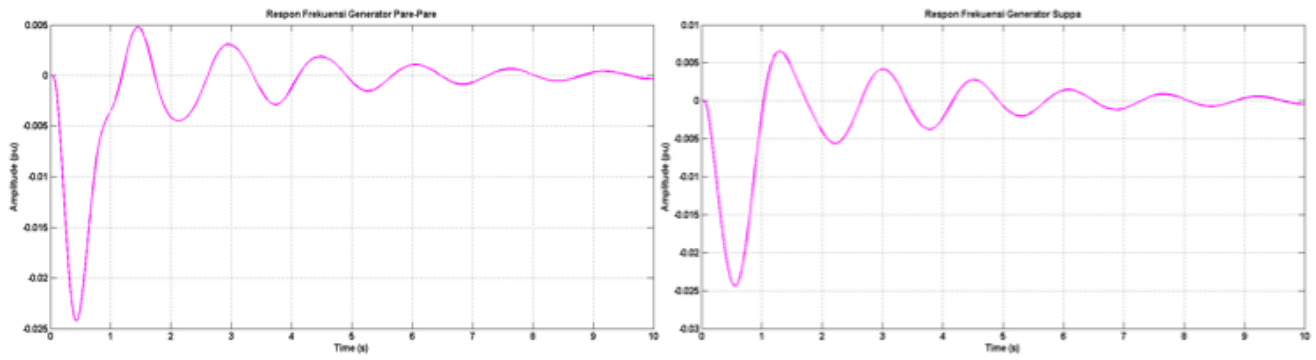
Gambar 10. Flowchart Penelitian



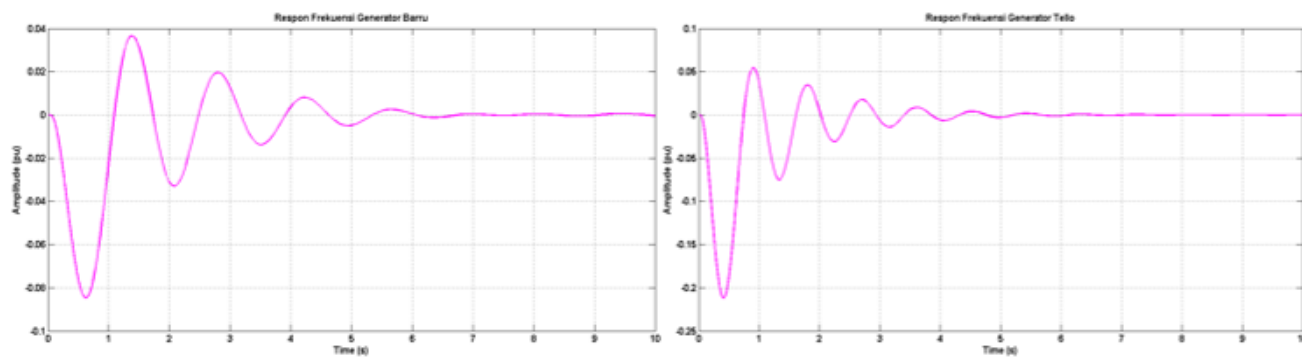
Gambar 11. Single Line Diagram usselrabar System



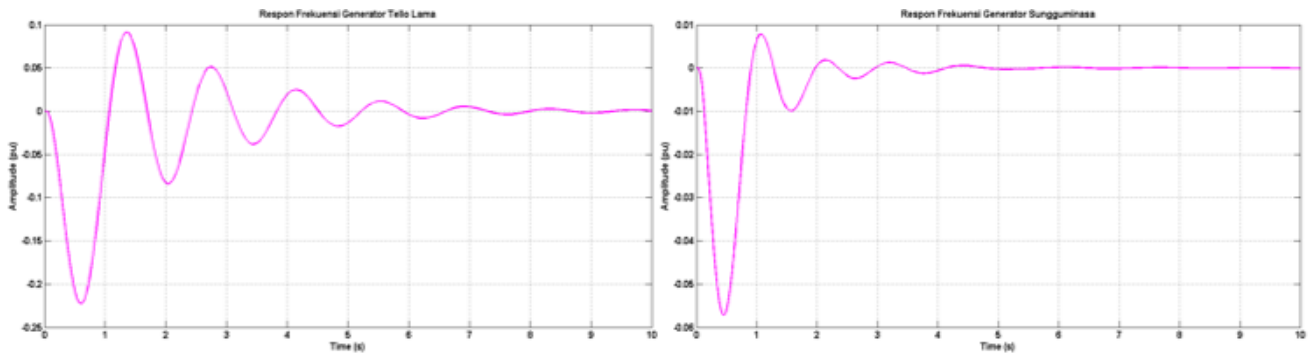
Gambar 12. Respon Frekuensi Generator Bakaru dan Pinrang



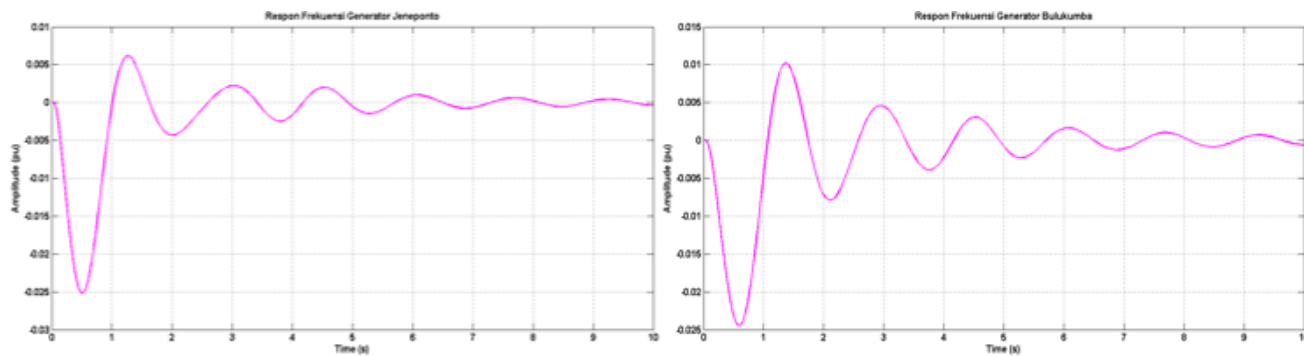
Gambar 13. Respon Frekuensi Generator Pare-Pare dan Suppa



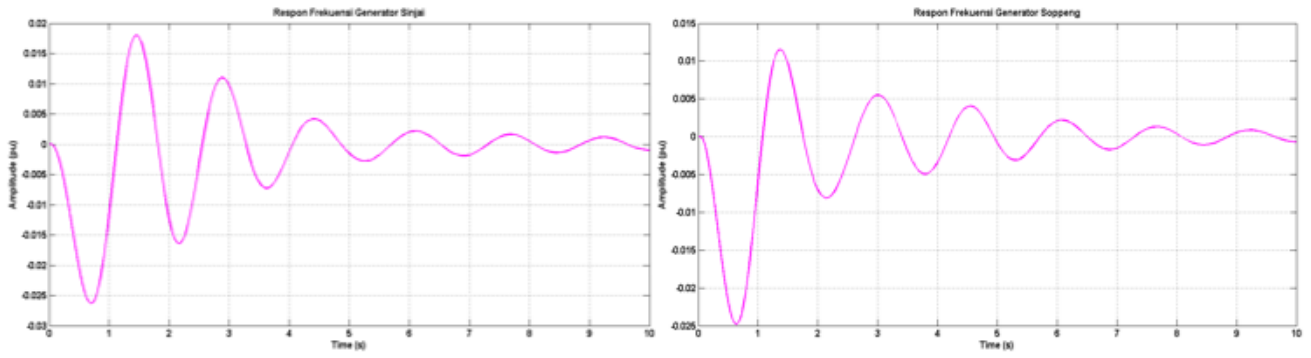
Gambar 14. Respon Frekuensi Generator Barru dan Tello



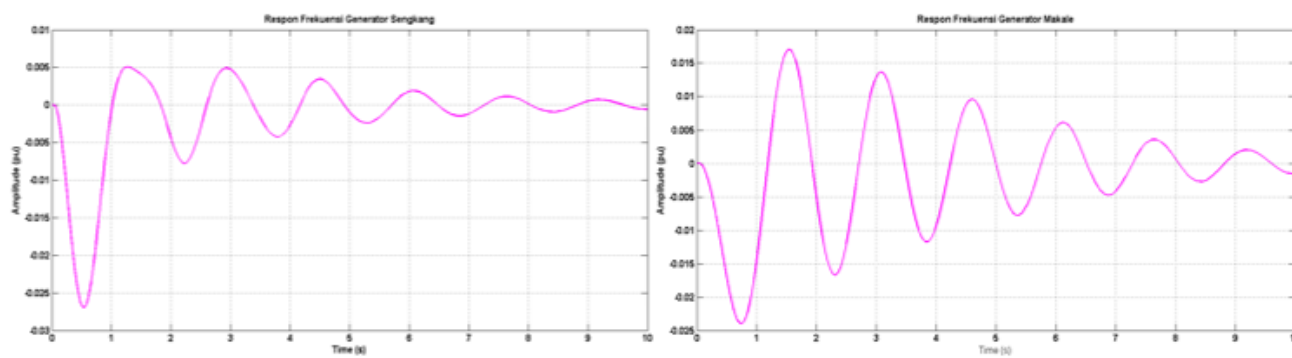
Gambar 15. Respon Frekuensi Generator Tello Lama dan Sungguminasa



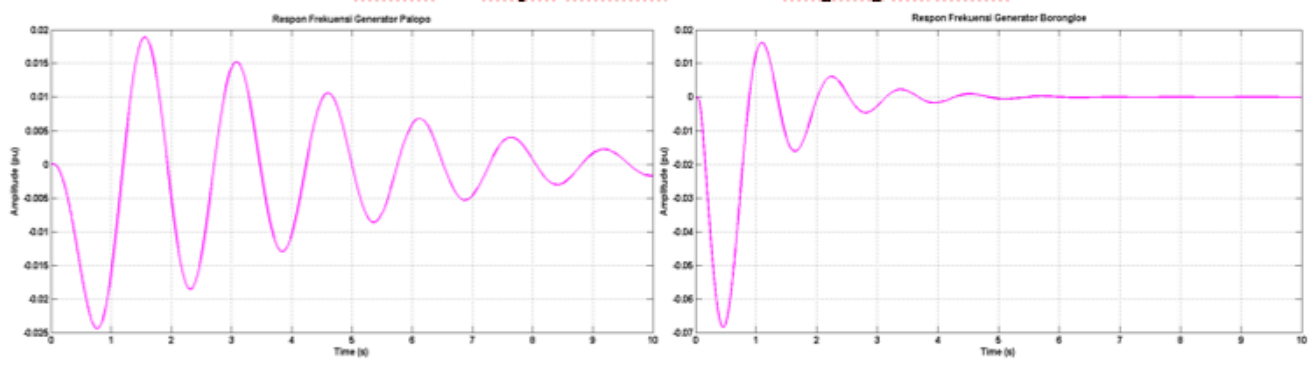
Gambar 16. Respon Frekuensi Generator Jeneponto dan Bulukumba



Gambar 17. Respon Frekuensi Generator Sinjai dan Soppeng

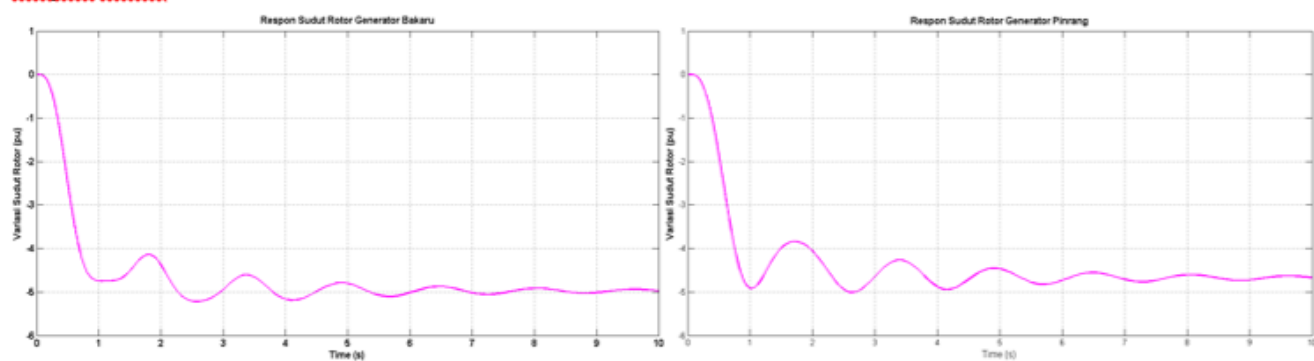


Gambar 18. Respon Frekuensi Generator Senggang dan Makale

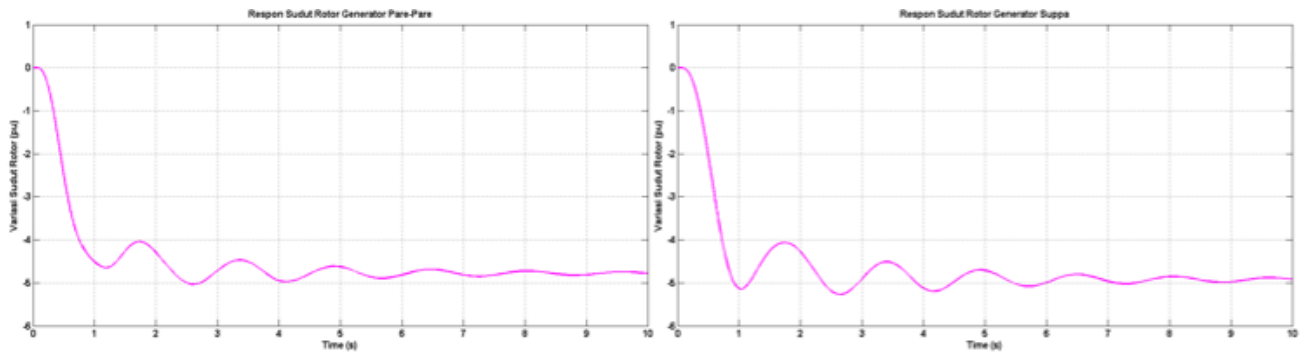


Gambar 19. Respon Frekuensi Generator Palopo dan Borongloe

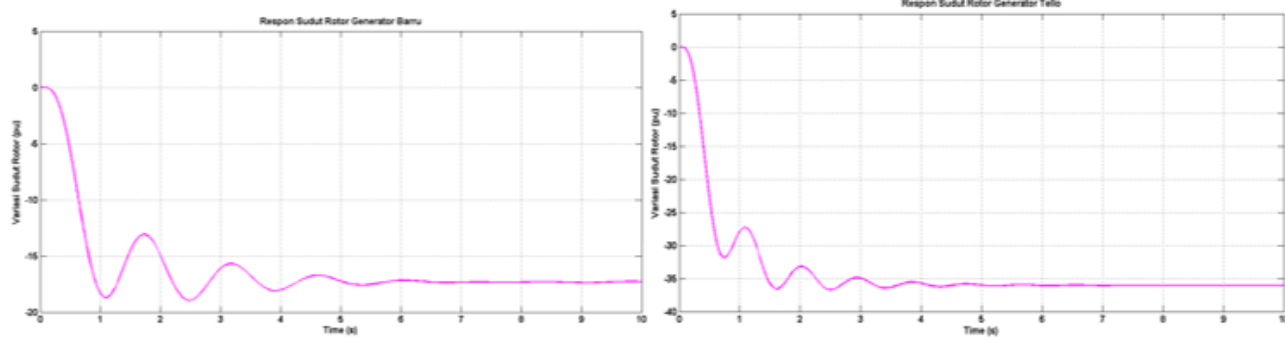
Respon Sudut Rotor



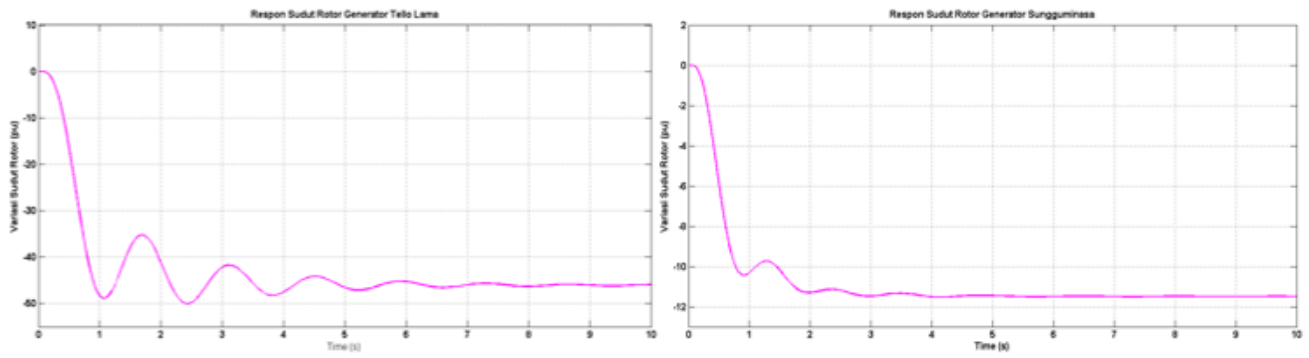
Gambar 20. Respon Sudut Rotor Generator Bakaru dan Pinrang



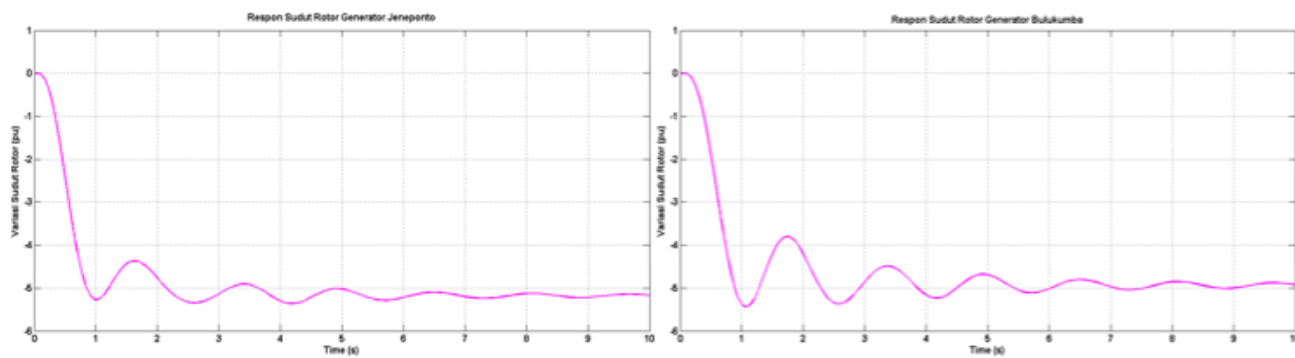
Gambar 21. Respon Sudut Rotor Generator Pare-Pare dan Suppa



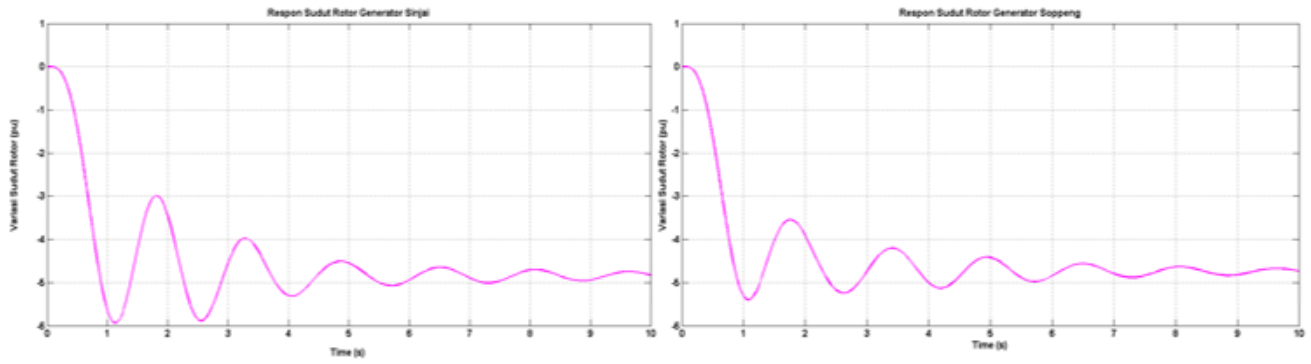
Gambar 22. Respon Sudut Rotor Generator Baru dan Tello



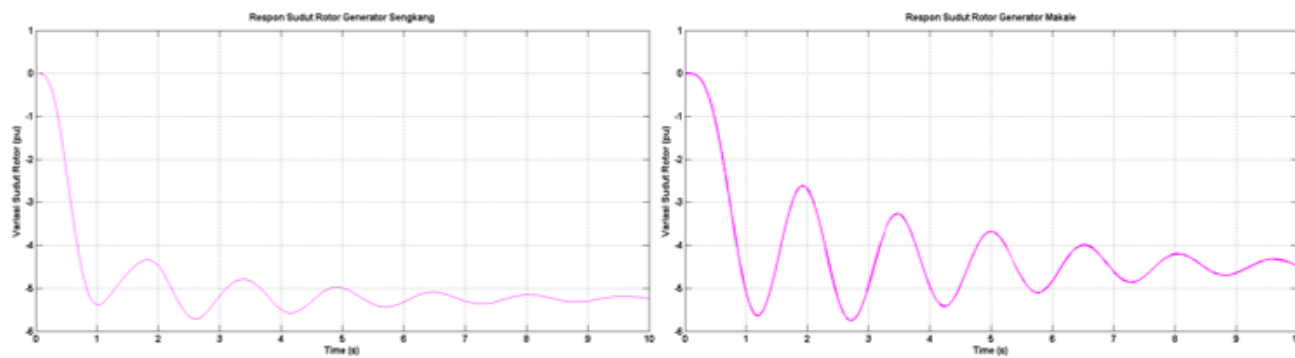
Gambar 23. Respon Sudut Rotor Generator Tello Lama dan Sungguminasa



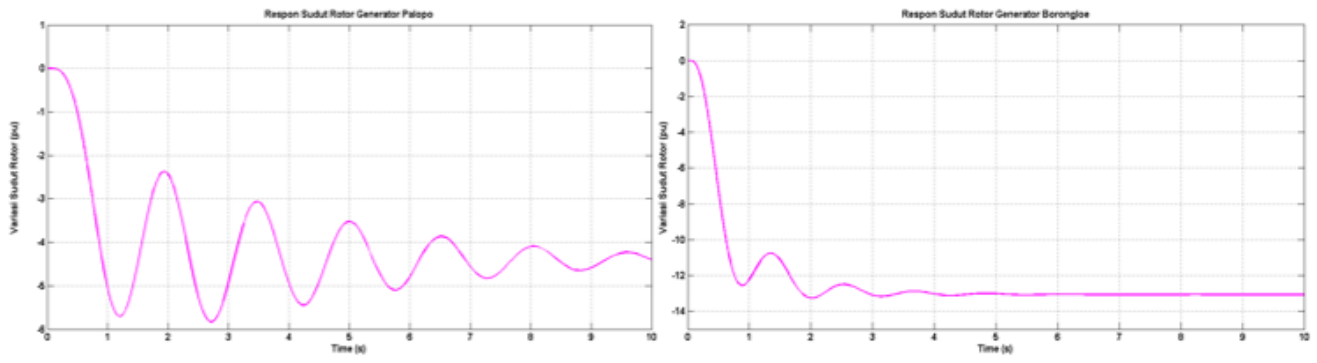
Gambar 24. Respon Sudut Rotor Generator Jeneponto dan Bulukumba



Gambar 25. Respon Sudut Rotor Generator Sinjai dan Soppeng



Gambar 26. Respon Sudut Rotor Generator Senggang dan Makale



Gambar 27. Respon Sudut Rotor Generator Palopo dan Borongloe