

Analisis Kestabilan Transien dan Mekanisme Pelepasan Beban Pada Jaringan Listrik Wilayah Sulselbar Setelah Penambahan PLTU Punagaya

Marhatang^{1*}, Makmur Saini², Muhammad Ikram Fauzan³, Erniwati⁴

^{1,2,3,4} Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar 90245, Indonesia

*marhatang@yahoo.com

Abstract: *The need for electricity is increasing day by day, both in the housing sector and in the industrial sector. Along with the load growth, additional power plants are also needed. Electricity network In the Sulselrabar regional, a number of power plants have been added and one of them is the Punagaya Jeneponto PLTU with a capacity of 2x100 MW. The addition of this power plants causes the stability of the system to change, so a transient stability study is needed to determine the stability of the system in the Sulselrabar network when a disturbance occurs. Data retrieval in the form of specifications for generators, transformers, transmission networks and loads in the Load Management Unit of PT. PLN Region Sulselrabar. In this study, a transient stability simulation was carried out using ETAP 12.6 software by giving disturbances to the system in the form of a loose generator and short circuit. Furthermore, if the system experiences instability, a load shedding mechanism will be carried out. Based on the simulation results, it shows that in the case of the loose generator unit 2 at the Barru, the system can still maintain its stability. However, in the case of PLTU BE disconnection, the average voltage drop reached 9.34% and caused the system characteristics to no longer be within the permitted range so that a load shedding of 56.213 MVA was required. In the case of a short circuit, the system can still maintain its stability even though the average instantaneous voltage drop when a fault occurs reaches 68.97%.*

Keywords: *Transient stability, load shedding*

Abstrak: *Kebutuhan listrik semakin hari semakin meningkat baik itu pada sektor perumahan maupun sektor perindustrian. Seiring dengan pertumbuhan beban maka penambahan pembangkit juga diperlukan. Pada jaringan listrik wilayah Sulselrabar, telah diadakan penambahan sejumlah pembangkit dan salahsatunya adalah PLTU Punagaya Jeneponto yang berkapasitas 2x100 MW. Penambahan pembangkit ini menyebabkan kestabilan pada sistem bisa berubah, sehingga dibutuhkan studi kestabilan transien untuk mengetahui kestabilan sistem pada jaringan Sulselrabar saat terjadi gangguan. Pengambilan data berupa spesifikasi generator, transformator, jaringan transmisi dan beban yang ada pada Unit Pengaturan Beban PT. PLN Wilayah Sulselrabar. Pada penelitian ini dilakukan simulasi kestabilan transien menggunakan software ETAP 12.6 dengan memberikan gangguan pada sistem berupa generator lepas dan hubung singkat. Selanjutnya jika sistem mengalami ketidakstabilan akan dilakukan mekanisme pelepasan beban. Berdasarkan hasil simulasi, menunjukkan bahwa pada kasus lepasnya generator unit 2 Barru, sistem masih dapat mempertahankan kestabilannya. Namun pada kasus lepasnya PLTU BE, rata-rata penurunan tegangan mencapai 9,34% dan menyebabkan karakteristik sistem sudah tidak dapat berada pada range yang diizinkan sehingga dibutuhkan pelepasan beban sebesar 56,213 MVA. Pada kasus hubung singkat, sistem masih dapat mempertahankan kestabilannya meskipun rata-rata penurunan tegangan sesaat pada saat terjadi gangguan mencapai 68,97%.*

Kata kunci : *Kestabilan transien, pelepasan beban*

I. PENDAHULUAN

Listrik merupakan energi yang sangat berpengaruh dalam kehidupan manusia. Kebutuhan listrik semakin hari semakin meningkat baik itu dalam perumahan maupun perindustrian. Oleh karena itu, kontinuitas pelayanan dan kualitas listrik yang baik haruslah dipenuhi agar kebutuhan konsumen dapat terpenuhi dengan baik. Salah satu hal yang penting untuk menjamin kontinuitas dan keandalan operasi dari suatu sistem tenaga listrik adalah stabilitas atau kestabilan dari sistem tersebut [1-8].

Masalah kestabilan transien berkaitan dengan gangguan besar yang terjadi secara tiba-tiba dan dalam waktu yang singkat seperti gangguan hubung singkat, pemutusan saluran secara tiba-tiba menggunakan CB (*Circuit Breaker*), serta pemindahan beban secara tiba-tiba [2-8]. Apabila gangguan ini terjadi dan tidak segera dihilangkan, maka hal ini akan mengakibatkan terjadinya percepatan atau perlambatan sudut rotor [1]. Jika daya mekanik pada poros penggerak awal tidak dengan segera menyesuaikan dengan besarnya daya elektrik pada beban listrik, maka frekuensi dan tegangan akan bergeser dari posisi normal [1-8]. Perubahan yang signifikan dapat menyebabkan sistem keluar dari batas stabil [1-8].

Pada jaringan listrik wilayah sulselrabar, telah terjadi penambahan beberapa pembangkit dan salahsatunya adalah PLTU Punagaya Jeneponto milik dari PT. PLN Persero yang berkapasitas 2x100 MW [9]. Oleh karena itu, dibutuhkan studi kestabilan transien untuk mengetahui kestabilan sistem pada jaringan sulselrabar saat terjadi gangguan. Selain itu, analisis mekanisme pelepasan beban juga dilakukan untuk mengatasi apabila ada masalah pada kestabilan gangguan yang terjadi.

A. Kestabilan Sistem Tenaga

Kestabilan sistem tenaga listrik secara luas dapat didefinisikan sebagai kemampuan dari satu sistem tenaga listrik untuk tetap berada dalam kondisi seimbang dalam operasi normal dan dapat memperoleh kembali kondisi seimbang setelah sistem mengalami gangguan [3]. Masalah kestabilan biasanya diklasifikasikan menjadi 3 tipe, yaitu:

1. Stabilitas *Steady State* Sistem Tenaga Listrik : merupakan keadaan dimana sistem tenaga mencapai kondisi stabil pada kondisi operasi baru yang sama atau identik dengan kondisi sebelum terjadi gangguan setelah sistem mengalami gangguan kecil.
2. Stabilitas Transien Sistem Tenaga Listrik : kemampuan sistem untuk tetap pada kondisi sinkron (sebelum terjadi aksi dari kontrol governor) yang mengikuti gangguan pada sistem.
3. Stabilitas Dinamis Sistem Tenaga Listrik : kemampuan sistem untuk tetap pada kondisi sinkron setelah ayunan pertama (periode stabilitas transien) hingga sistem mencapai kondisi equilibrium steady-state yang baru [5].

Dalam menganalisis kestabilan, ada beberapa faktor yang harus diperhatikan untuk mengetahui stabil atau tidaknya sistem tersebut. Berdasarkan *Paper IEEE definition and classification of power system stability*, kestabilan sistem tenaga listrik dibagi menjadi tiga kategori yaitu kestabilan sudut rotor, kestabilan frekuensi dan kestabilan tegangan [3].

Gangguan kestabilan transien dapat terjadi karena beberapa faktor, yaitu beban lebih akibat lepasnya satu generator dari sistem, hubungan singkat (*short circuit*), *starting* pada motor dan pelepasan beban yang mendadak [8].

B. Kestabilan sudut rotor

Kestabilan sudut rotor diartikan sebagai kemampuan suatu sistem tenaga untuk mempertahankan kondisi sinkron setelah terjadi gangguan. Kestabilan sudut rotor berkaitan dengan kemampuan mempertahankan keseimbangan antara torsi elektromagnetik dan torsi mekanik pada mesin-mesin tersebut. Akibat dari ketidakstabilan ini adalah kecepatan sudut yang berubah-ubah pada generator. Sehingga, hilang sinkron antar generator dapat terjadi karena daya output generator yang berubah sesuai dengan berubahnya sudut rotor [1].

Persamaan yang mengatur putaran rotor suatu mesin sinkron berdasarkan pada prinsip dasar dinamika yang menyatakan bahwa momen putar percepatan (*accelerating torque*) merupakan hasil kali dari momen kelambaman (*moment of inertia*) rotor dan percepatan sudutnya. Untuk generator sinkron, persamaan ayunan dapat ditulis sebagai berikut [1]:

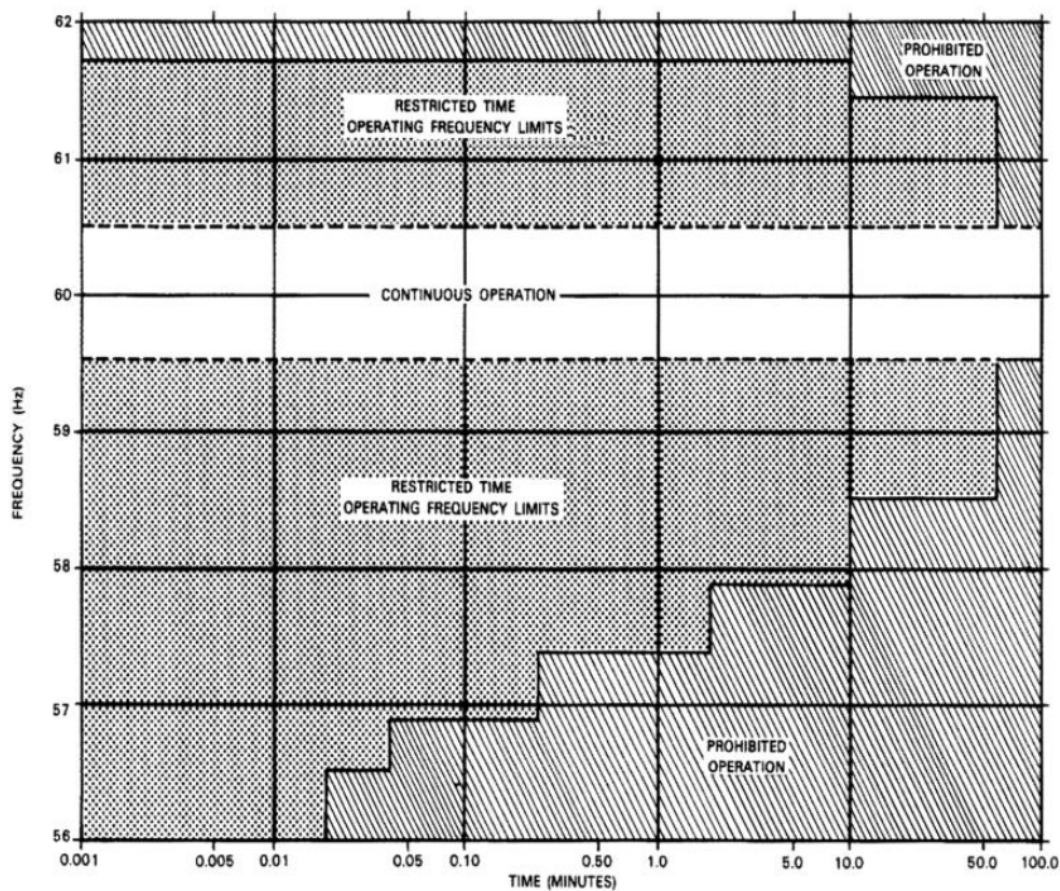
$$J \frac{d^2 \theta_m}{dt^2} = T_a = T_m - T_e$$

Dengan,

- J : Momen inersia total dari massa rotor dalam kg-m²
- θ_m : Pergeseran sudut dari rotor terhadap suatu sumbu yang diam dalam radian mekanis (rad)
- T_e : Momen putar elektrik atau elektromagnetik, (N-m)
- T_a : Momen putar kecepatan percepatan bersih (net), (N-m)
- t : Waktu dalam detik (s)
- T_m : Momen putar mekanis yang diberikan oleh prime mover dikurangi dengan momen putar perlambatan (N-m)

C. Kestabilan frekuensi

Kestabilan frekuensi diartikan sebagai kemampuan sistem tenaga untuk mempertahankan frekuensi agar tetap stabil ketika terjadi gangguan pada sistem seperti ketidakseimbangan antara aliran daya sistem dan beban.



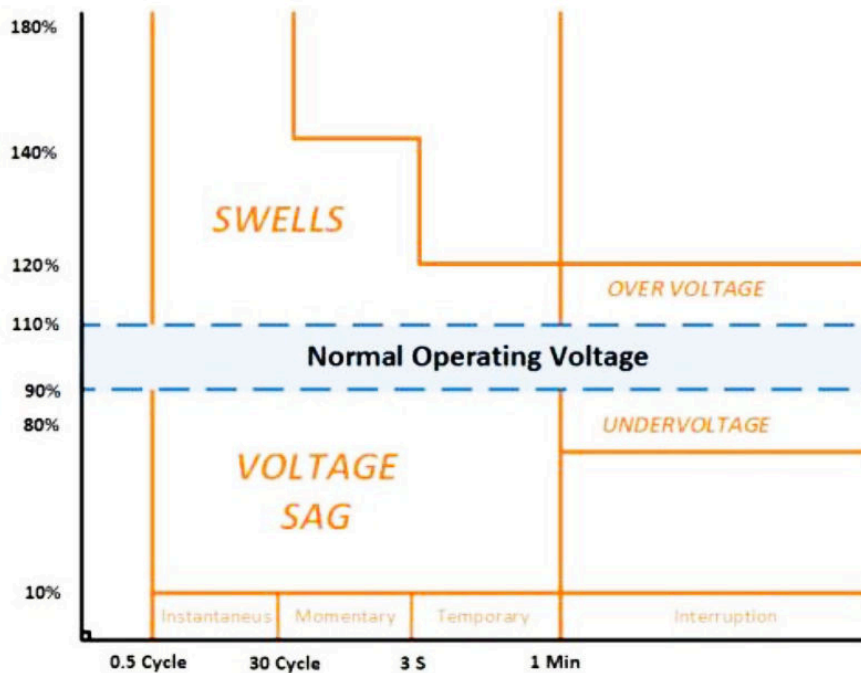
Gambar 1. Standar frekuensi untuk turbin uap (IEEE Std C37.106-2003)

Pada gambar 1, terdapat 3 daerah operasi untuk *steam turbin generator*, *Restricted time operating frequency limits* yaitu daerah frekuensi yang masih diizinkan namun hanya bersifat

sementara, tergantung besar frekuensi dan waktu. Semakin besar turun frekuensinya maka semakin pendek waktu yang diijinkan pada kondisi tersebut, *Prohibited operation* yaitu daerah frekuensi terlarang, frekuensi tidak diijinkan mencapai daerah tersebut dan *Continuous operation* yaitu daerah frekuensi normal.

D. Kestabilan Tegangan

Kestabilan tegangan diartikan sebagai kemampuan dari suatu sistem tenaga listrik untuk mempertahankan kestabilan tegangan pada semua bus dari sistem setelah mengalami gangguan. Pada saat terjadi gangguan pada sistem tenaga listrik maka tegangan dapat mengalami penurunan atau kenaikan. Hal ini, tergantung pada kemampuan sistem untuk mempertahankan kesetimbangan antara suplai daya pembangkit dan kebutuhan beban.



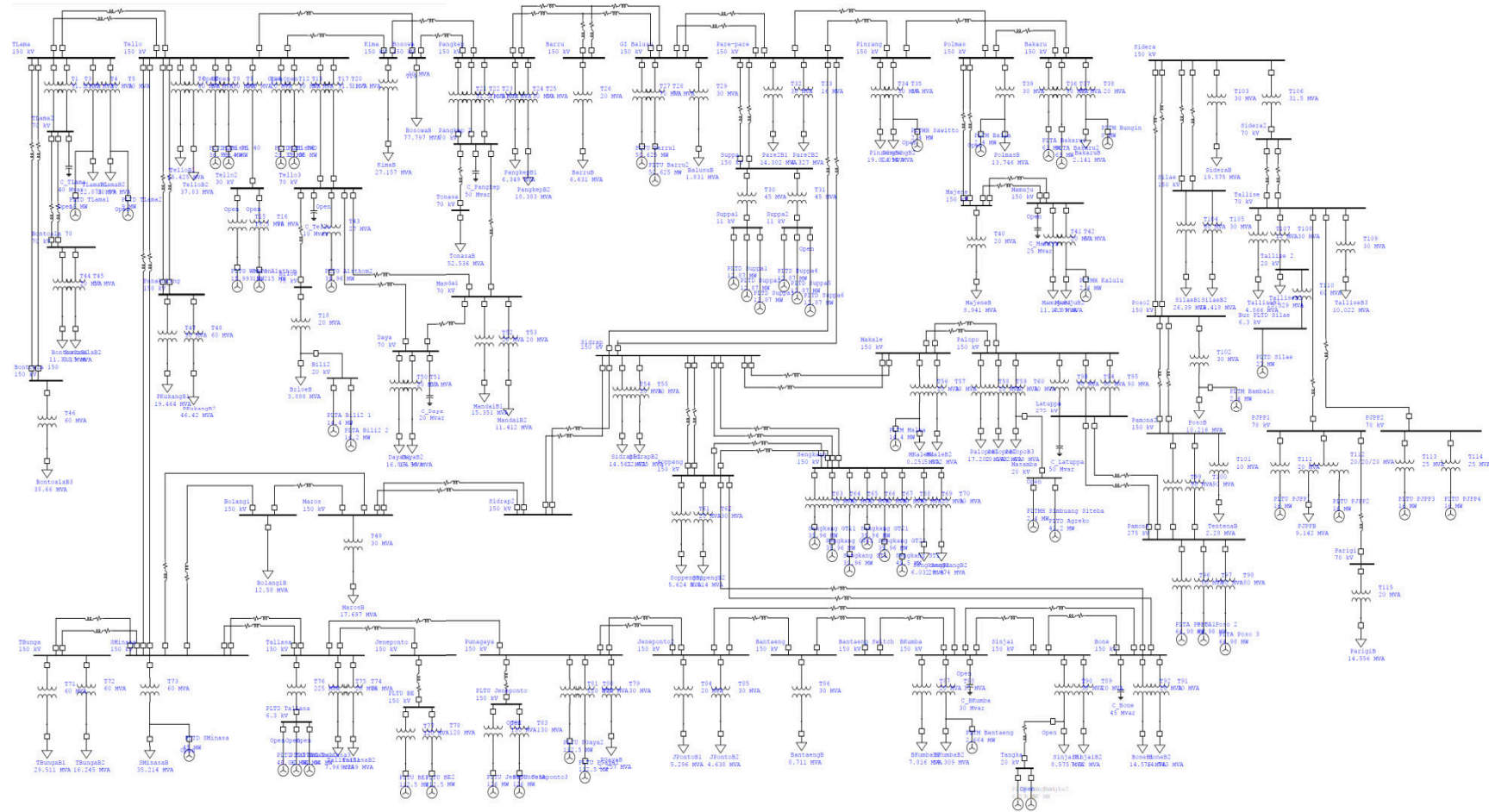
Gambar 2. Voltage Magnitude Event berdasarkan standar IEEE 1195-1995

Berdasarkan gambar 2, kedip tegangan yang diizinkan adalah 10% untuk *instantaneous* 30 cycle, untuk *momentary* selama 3 detik dan untuk *temporary* selama 1 menit.

E. Mekanisme Pelepasan Beban

Pelepasan beban atau *load shedding* merupakan salah satu cara untuk mempertahankan kestabilan jika terjadi gangguan pada sistem. Jika terjadi gangguan pada sistem yang menyebabkan besarnya suplai daya yang dihasilkan oleh pembangkit tidak mencukupi kebutuhan beban, misalnya karena adanya pembangkit yang lepas (*trip*), menyebabkan *prime over generator* akan melambat karena memikul beban melewati kapasitas. Apabila hal ini tidak segera diatasi, maka akan menimbulkan turunnya frekuensi sistem diluar standar yang diizinkan [10].

F. Jaringan Listrik Wilayah Sulselrabar

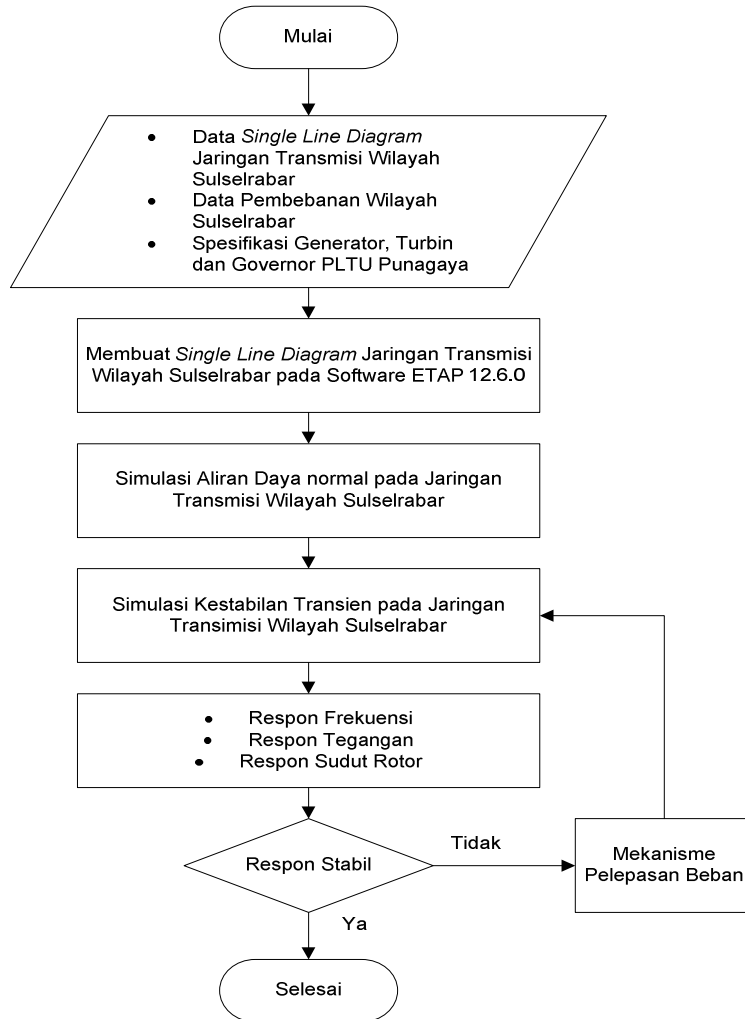


Gambar 3. Gambar single line diagram sistem jaringan listrik wilayah Sulselrabar

II. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini dilakukan pengambilan data berupa spesifikasi generator, transformator, jaringan transmisi dan beban yang ada pada Unit Pengaturan Beban PT. PLN Wilayah Sulselrabar. Setelah itu, dilakukan simulasi kestabilan transien menggunakan software ETAP 12.6 dengan memberikan gangguan pada sistem berupa generator lepas dan hubung singkat [11-12]. Selanjutnya jika sistem mengalami ketidakstabilan akan dilakukan mekanisme pelepasan beban.

Tahapan-tahapan penelitian ini lebih jelasnya dapat dilihat pada flow chart di bawah ini:



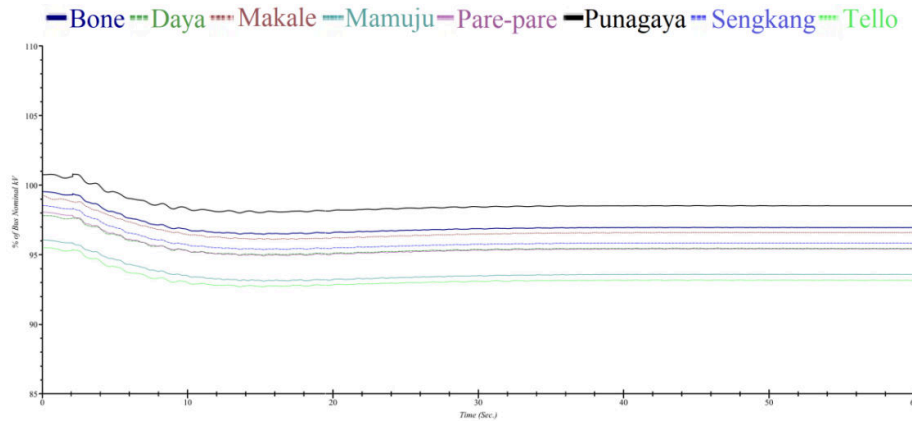
Gambar 4. *Flow chart* analisis data

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

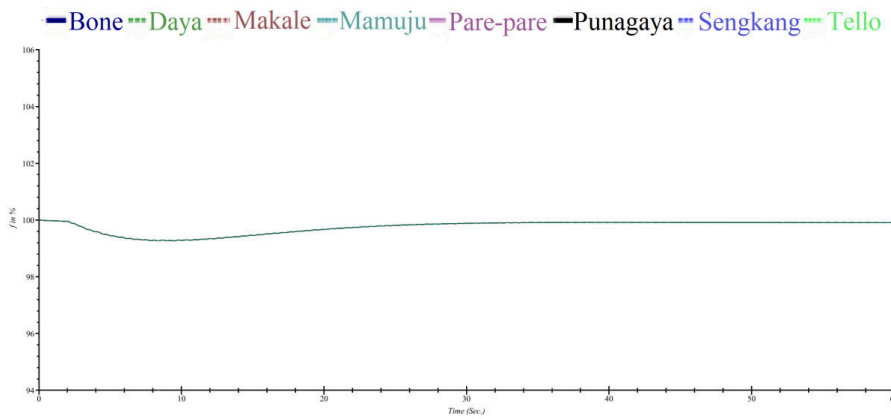
A. Generator Unit 2 PLTU Barru mengalami pelepasan secara tiba-tiba.

Pada kasus ini dilakukan simulasi selama 60 detik, dimana pada detik ke-2 terjadi gangguan yaitu Generator Unit 2 PLTU Barru mengalami pelepasan secara tiba-tiba. Respon yang dilihat adalah respon tegangan dan frekuensi pada bus Bone, Daya, Majene, Makale, Pare-pare, Punagaya, Sengkang dan Tello serta respon sudut rotor pada PLTU Punagaya 1 dan 2.

119 Marhatang, Makmur Saini, Muhammad Ikram Fauzan, Erniwati. Analisis Kestabilan Transien dan Mekanisme Pelepasan Beban Pada Jaringan Listrik Wilayah Sulselbar Setelah Penambahan PLTU Punagaya

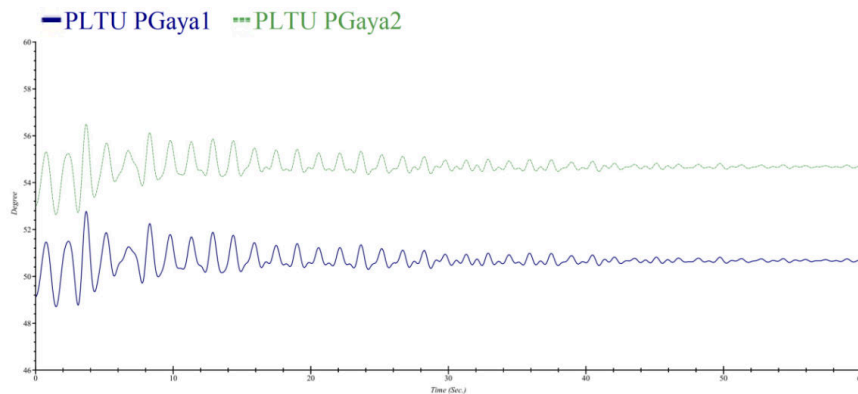


Gambar 5. Respon tegangan pada kasus generator dari Unit 2 PLTU Barru mengalami pelepasan tiba-tiba



Gambar 6. Respon frekuensi pada kasus generator dari Unit 2 PLTU Barru mengalami pelepasan tiba-tiba

Berdasarkan gambar 5 dan gambar 6, dapat dilihat bahwa terjadi penurunan tegangan dan frekuensi setelah terjadi gangguan dimana penurunan terendah dari tegangan berada pada detik ke 12 sedangkan frekuensi berada pada detik ke 8. Penurunan tegangan rata-rata yang terjadi adalah 2,74% dengan penurunan terendah terdapat pada bus Sengkang sebesar 2,92%. Tegangan dan frekuensi mulai berada dalam keadaan steady state setelah detik ke 30.



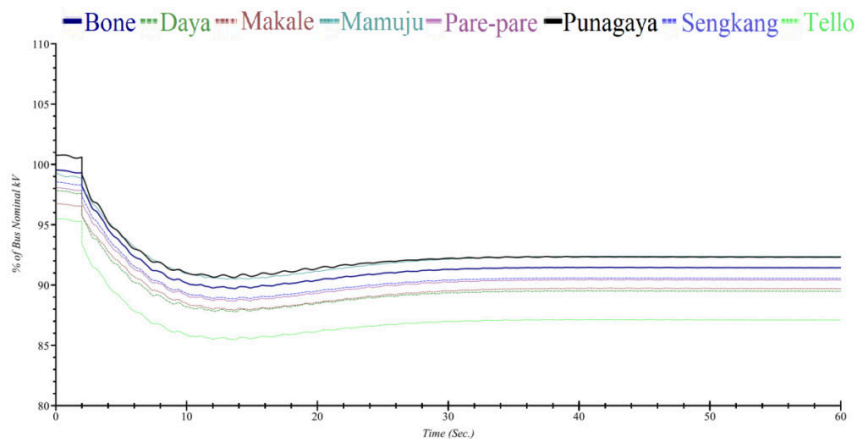
Gambar 7. Respon sudut rotor pada kasus generator dari Unit 2 PLTU Barru mengalami pelepasan tiba-tiba

Berdasarkan gambar 7, diatas dapat dilihat bahwa setelah terjadi gangguan pada detik ke-2 sudut rotor dari generator PLTU Punagaya 1 dan 2 sempat mengalami ketidakstabilan setelah gangguan dan mencoba stabil kembali pada detik 50. Posisi stabil sudut rotor dari PLTU Punagaya 1 mengalami perubahan dari $49,1^\circ$ sebelum gangguan menjadi $50,7^\circ$ setelah gangguan sedangkan sudut rotor pada PLTU Punagaya 2 berubah dari 53° sebelum gangguan menjadi $54,7^\circ$ setelah gangguan.

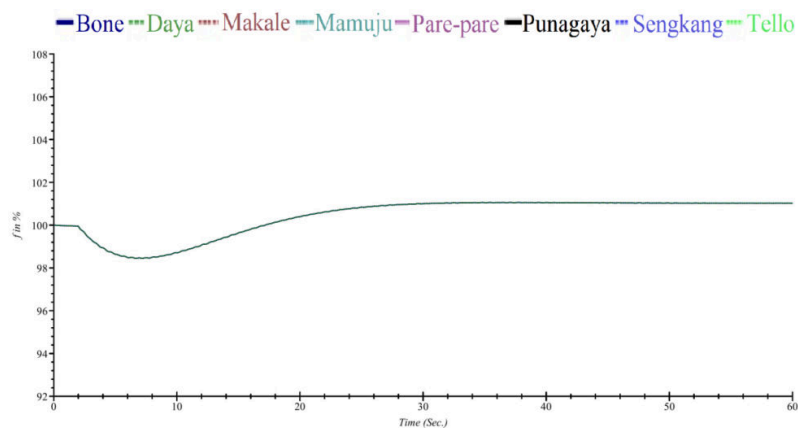
Berdasarkan hasil simulasi pada kasus generator dari Unit 2 PLTU Barru mengalami pelepasan secara tiba-tiba dapat disimpulkan bahwa kondisi masih dalam keadaan stabil dan nilai dari frekuensi, tegangan dan sudut rotor generator masih berada dalam standar yang diizinkan.

B. Generator dari PLTU BE 1 dan 2 mengalami pelepasan secara tiba-tiba.

Pada kasus ini dilakukan simulasi selama 60 detik, dimana pada detik ke-2 terjadi gangguan yaitu Generator dari PLTU BE 1 dan 2 mengalami pelepasan secara tiba-tiba. Respon yang dilihat adalah respon tegangan dan frekuensi pada bus Bone, Daya, Majene, Makale, Pare-pare, Punagaya, Sengkang dan Tello serta respon sudut rotor pada PLTU Punagaya 1 dan 2.



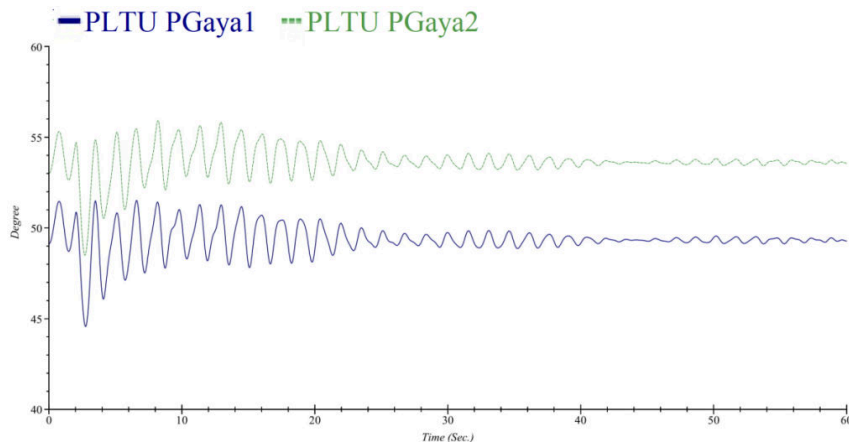
Gambar 8. Respon tegangan pada kasus generatordari PLTU BE 1 dan 2 mengalami pelepasan tiba-tiba



Gambar 9. Respon frekuensi pada kasus generatordari PLTU BE 1 dan 2 mengalami pelepasan tiba-tiba

Berdasarkan gambar 8 dan gambar 9 dapat dilihat bahwa terjadi penurunan tegangan dan frekuensi setelah terjadi gangguan dimana penurunan terendah dari tegangan berada pada detik ke 12 sedangkan frekuensi berada pada detik ke 7. Penurunan tegangan rata-rata yang terjadi adalah 9,34% dengan penurunan terendah terdapat pada bus Punagaya sebesar 9,98%. Tegangan dan frekuensi mulai berada dalam keadaan *steady state* setelah detik ke 40 untuk tegangan dan 30 untuk frekuensi.

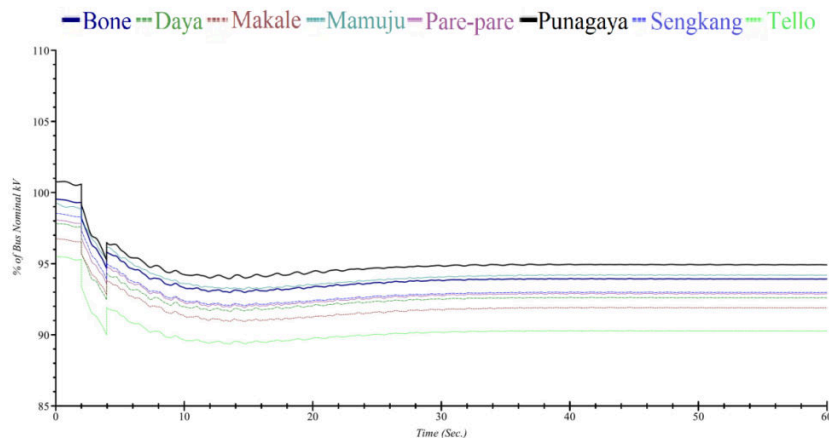
121 Marhatang, Makmur Saini, Muhammad Ikram Fauzan, Erniwati. Analisis Kestabilan Transien dan Mekanisme Pelepasan Beban Pada Jaringan Listrik Wilayah Sulselbar Setelah Penambahan PLTU Punagaya



Gambar 10. Respon sudut rotor pada kasus generator dari PLTU BE 1 dan 2 mengalami pelepasan tiba-tiba

Berdasarkan gambar 10, dapat dilihat bahwa setelah terjadi gangguan pada detik ke-2 sudut rotor dari generator PLTU Punagaya 1 dan 2 sempat mengalami ketidakstabilan setelah gangguan dan berhasil stabil kembali pada detik 42. Posisi stabil sudut rotor dari PLTU Punagaya 1 mengalami perubahan dari $49,1^\circ$ sebelum gangguan menjadi $49,3^\circ$ setelah gangguan sedangkan sudut rotor pada PLTU Punagaya 2 berubah dari 53° sebelum gangguan menjadi $53,6^\circ$ setelah gangguan.

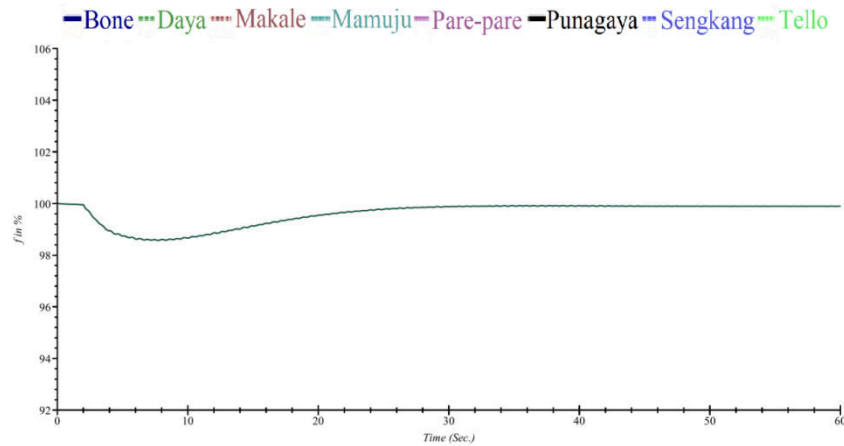
Berdasarkan hasil simulasi pada kasus generator dari PLTU BE 1 dan 2 mengalami pelepasan secara tiba-tiba dapat disimpulkan bahwa kondisi masih dalam keadaan stabil namun nilai dari frekuensi dan tegangan sudah tidak berada dalam standar yang diizinkan sehingga dibutuhkan *load shedding*. Pada simulasi selanjutnya diberikan *load shedding* sebesar 56,213 MVA setelah terjadi gangguan pada sistem.



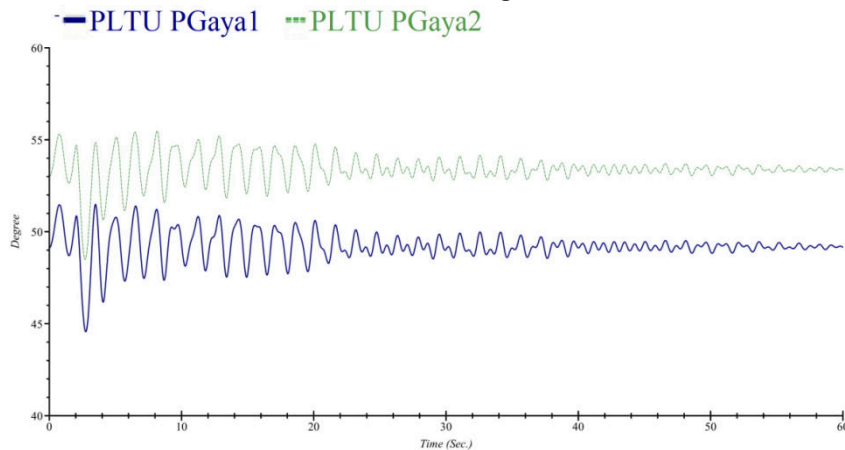
Gambar 11. Respon tegangan pada kasus generator dari PLTU BE 1 dan 2 mengalami pelepasan tiba-tiba dengan *Load Shedding*

Berdasarkan gambar 11 dan gambar 12, dapat dilihat bahwa terjadi penurunan tegangan dan frekuensi setelah terjadi gangguan dimana penurunan terendah dari tegangan berada pada detik ke 4 sedangkan frekuensi berada pada detik ke 7. Penurunan tegangan rata-rata yang terjadi adalah 5,94% dengan penurunan terendah terdapat pada Bus Punagaya sebesar 6,61%. Setelah detik ke 4 dilakukan *load shedding* yang mengakibatkan tegangan naik sehingga masih tetap berada pada range yang

diizinkan. Tegangan dan frekuensi mulai berada dalam keadaan steady state setelah detik ke 40 untuk tegangan dan 30 untuk frekuensi.



Gambar 12. Respon frekuensi pada kasus generator dari PLTU BE 1 dan 2 mengalami pelepasan tiba-tiba dengan *Load Shedding*



Gambar 13. Respon sudut rotor pada kasus generator dari PLTU BE 1 dan 2 mengalami pelepasan tiba-tiba dengan *Load Shedding*

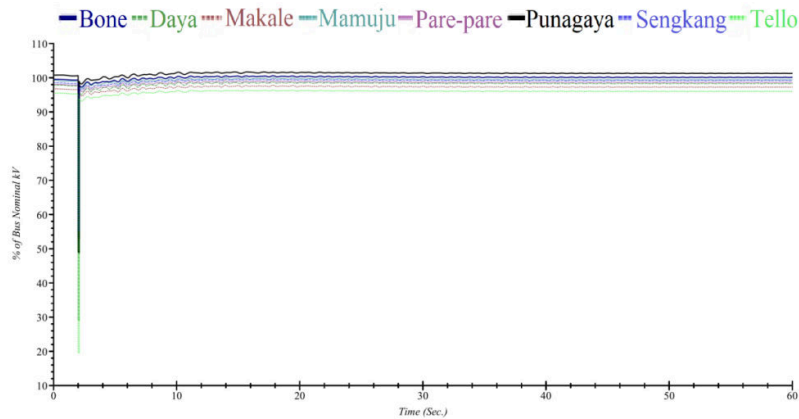
Berdasarkan gambar 13, dapat dilihat bahwa setelah terjadi gangguan pada detik ke-2 sudut rotor dari generator PLTU Punagaya 1 dan 2 sempat mengalami ketidakstabilan setelah gangguan dan berhasil stabil kembali pada detik 50. Posisi stabil sudut rotor dari PLTU Punagaya 1 mengalami perubahan dari $49,1^\circ$ sebelum gangguan menjadi $49,2^\circ$ setelah gangguan sedangkan sudut rotor pada PLTU Punagaya 2 berubah dari 53° sebelum gangguan menjadi $53,4^\circ$ setelah gangguan.

Berdasarkan hasil simulasi pada kasus generator dari PLTU BE 1 dan 2 mengalami pelepasan secara tiba-tiba dengan *load shedding* dapat disimpulkan bahwa kondisi berada dalam keadaan stabil dan nilai dari frekuensi dan tegangan sudah berada dalam standar yang diizinkan.

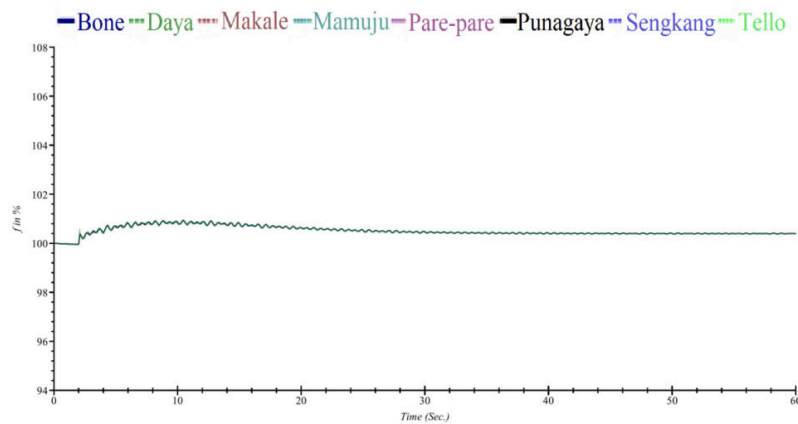
C. Terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa pada bus Bolangi.

Pada kasus ini dilakukan simulasi selama 60 detik, dimana pada detik ke-2 terjadi gangguan yaitu terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa pada Bus Bolangi dan setelah itu dilanjut oleh terbukanya CB pada 0,1 detik setelah gangguan. Respon yang dilihat adalah respon tegangan dan frekuensi pada bus Bone, Daya, Majene, Makale, Pare-pare, Punagaya, Sengkang dan Tello serta respon sudut rotor pada PLTU Punagaya 1 dan 2.

123 *Marhatang, Makmur Saini, Muhammad Ikram Fauzan, Erniwati. Analisis Kestabilan Transien dan Mekanisme Pelepasan Beban Pada Jaringan Listrik Wilayah Sulselbar Setelah Penambahan PLTU Punagaya*

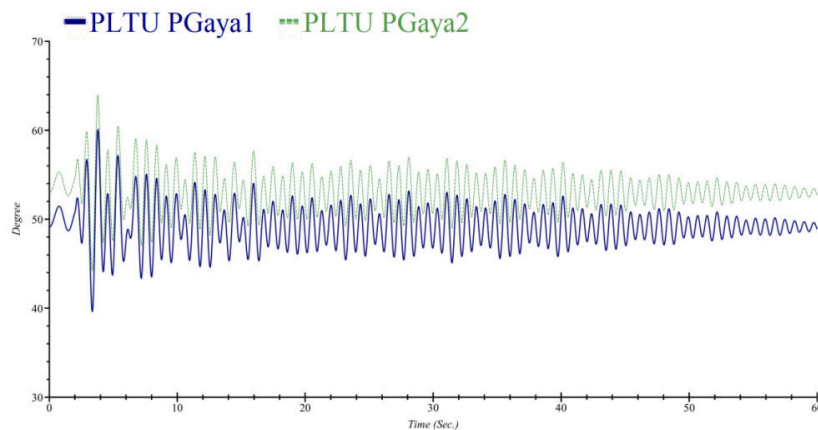


Gambar 18. Respon tegangan pada kasus terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa pada bus Bolangi



Gambar 14. Respon frekuensi pada kasus terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa pada bus Bolangi

Berdasarkan gambar 13 dan gambar 14, dapat dilihat bahwa terjadi penurunan tegangan dan kenaikan frekuensi saat terjadi gangguan dimana penurunan terendah dari tegangan berada pada detik ke 2. Penurunan tegangan rata-rata yang terjadi adalah 52,3% dengan penurunan terendah terdapat pada Bus Tello sebesar 75,73%. Tegangan naik kembali setelah detik ke 2 karena terbukanya CB pengaman yang ada pada bus Bolangi. Tegangan dan frekuensi mulai berada dalam keadaan steady state setelah detik ke 20 untuk tegangan dan 40 untuk frekuensi.



Gambar 15. Respon sudut rotor pada kasus terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa pada bus Bolangi

Berdasarkan grafik diatas dapat dilihat bahwa setelah terjadi gangguan pada detik ke-2 sudut rotor dari generator PLTU Punagaya 1 dan 2 sempat mengalami ketidakstabilan setelah gangguan dan mencoba untuk stabil kembali. Posisi stabil sudut rotor dari PLTU Punagaya 1 dan 2 tidak mengalami perubahan dimana posisi sudut rotor dari PLTU Punagaya 1 adalah $49,1^\circ$ sedangkan posisi sudut rotor dari PLTU Punagaya 2 adalah 53° .

Berdasarkan hasil simulasi pada kasus terjadigangguanhubungsingkat 3 fasapada bus Bolangi dapat disimpulkan bahwa kondisi masih dalam keadaan stabil dan nilai dari frekuensi, tegangan dan sudut rotor generator masih berada dalam standar yang diizinkan.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan, maka dapat disimpulkan

1. Sistem jaringan transmisi wilayah Sulselrabar setelah penambahan PLTU Punagaya memiliki tegangan dan frekuensi yang berada pada range operasi normal dimana tegangan yang tertinggi terdapat pada bus Punagaya 100,68% dan tegangan terendah terdapat pada bus Bosowa 94,4 % dan frekuensi sistem 50 Hz.
2. Ketika terjadi gangguan pada generator PLTU BE sehingga sistem kehilangan suplai daya sebesar 150 MVA dibutuhkan *load shedding* sebesar 56,213 MVA agar tegangan dan frekuensi tetap berada pada range yang diizinkan.

B. Saran

Adapun saran yang dapat diberikan adalah:

1. Untuk kasus hubung singkat sebaiknya lebih diperhatikan nilai dari kedip tegangan (*voltage sag*) karena dapat mempengaruhi kerja dari peralatan-peralatan elektronik.
2. Diharapkan kepada peneletian berikutnya, menyertakan data spesifikasi dari *exciter* dan *governor* pada generator agar data hasil penelitian lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Adriani. "Kestabilan Sudut Rotor pada Sistem Kelistrikan Sulsel". Laporan Tesis. Makassar: Program Studi Teknik Elektro Program Pascasarjana Universitas Hasanuddin, 2012.
- [2] Djalal, Muhammad Ruswandi et. al. "An Approach Transient Stability Analysis Using Equivalent Impedance Modified in 150 kV South of Sulawesi System". Journal of Electrical and Electronic Engineering-UMSIDA, 2017, Vol. 1, pp. 1-7.
- [3] Firdaus, David dkk. "Simulasi dan Analisis Stabilitas Transien dan Pelepasan Beban pada Sistem Kelistrikan PT. Semen Indonesia Pabrik Aceh". Jurnal Teknik ITS, 2016.
- [4] Khoiriatis, Aidatul. "Analisa Kestabilan Transien dan Mekanisme Pelepasan Beban Akibat Penambahan Pembangkit pada Sistem Kelistrikan New Island Tursina PT. Pupuk Kalimantan Timur". Laporan Skripsi. Surabaya: Jurusan Teknik Elektro Institut Sepuluh Nopember, 2017.
- [5] Priawan, Agam Ridho dkk. "Analisis Stabilitas Transient Sistem Tenaga Listrik pada PT. Kebon Agung Malang". Laporan Skripsi. Malang: Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya, 2014.
- [6] Santoso, Pujo. "Analisis Kestabilan Transien Penerapan Distributed Generation pada Sistem Kelistrikan Wilayah Bengkulu". Laporan Skripsi. Bengkulu: Program Studi Teknik Elektro Universitas Bengkulu, 2014.

125 *Marhatang, Makmur Saini, Muhammad Ikram Fauzan, Erniwati. Analisis Kestabilan Transien dan Mekanisme Pelepasan Beban Pada Jaringan Listrik Wilayah Sulselbar Setelah Penambahan PLTU Punagaya*

- [7] Tambunan, Rio Parohon Tua dkk. “Analisa Kestabilan Transien dengan Pelepasan Pembangkitdan Beban (*Generation load Shedding*) pada Sistem Jaringan Distribusi Tragi Sibolga 150/20 KV”. Laporan Skripsi. Semarang: Jurusan Teknik Elektro Universitas Diponegoro, 2014.
- [8] Yudiestira. “Analisis Kestabilan Transien dan Mekanisme Pelepasan Beban di PT. Pertamina RU V Balikpapan Akibat Penambahan Generator 2x15 MW dan Penambahan Beban 25 MW”. Laporan Skripsi. Surabaya: Jurusan Teknik Elektro Institut Sepuluh Nopember, 2016.
- [9] Agustinus, Michael. “PLTU Takalar di Jenepono Siap Dibangun”, *SindoNews.Com*, 2013.
- [10] Rubianto, Triwahyu dkk. “Studi Load Shedding pada Sistem Kelistrikan Pengeboran Minyak Lepas Pantai, Kasus di Perusahaan X”. *Jurnal Reka Elkomika*, 2013.
- [11] Multa P, Lesnanto dan Restu Prima Aridani. “Modul Pelatihan ETAP”. Yogyakarta: Teknik Elektro dan Teknologi Informasi Universitas Gadjah Mada, 2013.
- [12] Operation Technology, Inc. “ETAP Validation Cases and Comparison Results”, 2005.