

ANALISIS KESTABILAN FREKUENSI PADA SISTEM SULBAGSEL DENGAN INTEGRASI PLTA BAKARU II

Zaenab Muslimin
Departemen Teknik Elektro
Universitas Hasanuddin
Makassar, Indonesia
zaenabandy@gmail.com

Indar Chaerah Gunadin
Departemen Teknik Elektro
Universitas Hasanuddin
Makassar, Indonesia
indarcg@unhas.ac.id

Firda Fajryani Kamil
Departemen Teknik Elektro
Universitas Hasanuddin
Makassar, Indonesia
kamilff18d@student.unhas.ac.id

Abstrak-Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT PLN (Persero) 2021-2030 memuat rencana perubahan sistem kelistrikan Sulawesi Bagian Selatan (Sulbagsel) salah satunya pembangunan PLTA Bakaru II dengan kapasitas 140 MW. Disisi lain, integrasi PLTB sebelumnya, membuat frekuensi sistem beresilasi. Oleh karena itu dilakukan simulasi kestabilan frekuensi pada sistem Sulbagsel menggunakan *software* Digsilent untuk melihat bagaimana kontribusi integrasi PLTA Bakaru II yang memiliki inersia yang lebih besar, dalam meredam osilasi frekuensi sistem. Penelitian dilakukan dengan mensimulasikan kestabilan frekuensi sistem Sulbagsel pada berbagai macam skenario. Hasil simulasi penelitian ini yaitu frekuensi naik menjadi 50.202 Hz setelah integrasi PLTA Bakaru II dilakukan, dan turun menjadi 49.867 Hz ketika PLTA Bakaru II lepas sinkron. Namun frekuensi tersebut masih dalam batas toleransi frekuensi yang diizinkan. Sedangkan ketika skenario fluktuasi PLTB, ketika PLTB tidak membangkitkan daya, frekuensi sistem sebelum integrasi PLTA Bakaru II turun menjadi 49.909 Hz, sedangkan setelah integrasi PLTA Bakaru II sebesar 49,944 Hz. Ketika PLTB berada dalam pembangkitan maksimum, frekuensi sistem sebelum integrasi PLTA Bakaru II naik menjadi 50,183 Hz, sedangkan setelah integrasi PLTA Bakaru II sebesar 50,162 Hz.

Kata Kunci: Kestabilan Frekuensi, Sulbagsel, PLTA Bakaru II, PLTB Sidrap.

I. PENDAHULUAN

Sumber energi terbagi menjadi dua yaitu sumber energi tidak terbarukan (energi konvensional) dan sumber energi baru terbarukan (*renewable energy*). Energi tak terbarukan adalah energi yang diperoleh dari sumber daya alam yang waktu pembentukannya sampai jutaan tahun. Sedangkan energi terbarukan adalah sumber energi yang cepat dipulihkan kembali secara alami dan prosesnya berkelanjutan (PNPM-MP/LMP, 2011).

Seiring berjalannya waktu, mulai muncul keresahan dari penggunaan sumber energi tak terbarukan, sehingga pemerintah menargetkan penggunaan EBT terpenuhi sebesar 23% pada tahun 2025 (Humas EBKTE, 2021). Untuk mencapai target tersebut, dalam Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT PLN (Persero) 2021-2030 memuat rencana perubahan sistem tenaga listrik Sulawesi Bagian Selatan (Sulbagsel) salah

satunya proyek pembangunan PLTA Bakaru II kapasitas 140 MW.

PLTA Bakaru merupakan pembangkit listrik yang memanfaatkan energi potensial dan energi kinetik air untuk menghasilkan energi mekanik yang dapat memutar turbin yang terkopel dengan generator sehingga dapat menghasilkan energi listrik. Masuknya pembangkit baru pada sistem interkoneksi Sulbagsel tentunya mempengaruhi kestabilan frekuensi sistem Sulbagsel yang merupakan sistem interkoneksi dengan pembangkit lainnya.

Di sisi lain, pada sistem interkoneksi Sulbagsel saat ini, adanya pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) yang terus berfluktuasi membuat frekuensi sistem yang stabil dalam jangka waktu yang lama, menjadi stabil dalam waktu yang lebih pendek dari sebelum adanya integrasi PLTB. Dengan adanya integrasi PLTA Bakaru II dengan inersia yang lebih tinggi, diharapkan mampu meredam adanya osilasi frekuensi yang terjadi pada sistem yang disebabkan oleh perubahan kecepatan angin pada PLTB Sidrap dan PLTB Tolo yang membuat sistem tidak seimbang.

Apabila terjadi masalah pada pembangkit yang menyebabkan pembangkit secara tiba-tiba mengalami lepas sinkron dari sistem, maka beberapa kemungkinan yang terjadi adalah terjadinya gangguan frekuensi. Ketika generator pada sistem tersebut bekerja diluar rentang frekuensi kerja, maka generator akan cepat mengalami kerusakan. Sebab itu perlu dilakukan regulasi frekuensi yang dapat mengatur keseimbangan daya aktif pada sistem untuk meminimalisasi terjadinya gangguan frekuensi pada sistem interkoneksi.

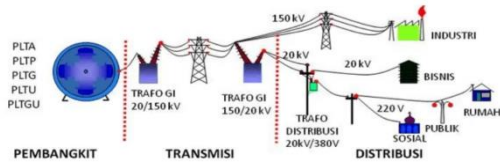
Berdasarkan masalah diatas maka dilakukan sebuah penelitian mengenai kestabilan frekuensi sistem Sulbagsel yang akan disimulasikan menggunakan *software* Digsilent. Dalam penelitian ini, akan dibandingkan kestabilan frekuensi pada sistem Sulbagsel sebelum dan sesudah masuknya PLTA Bakaru II, kemudian akan dianalisis kestabilan frekuensi ketika PLTA II Bakaru tiba-tiba lepas dalam sistem dengan adanya regulasi frekuensi, serta akan dianalisis pengaruh kestabilan frekuensi setelah masuknya PLTA Bakaru ke sistem apabila PLTB Sidrap mengalami fluktuasi. Diharapkan dengan adanya analisis kestabilan frekuensi ini akan meminimalisasi terjadinya gangguan kelistrikan yang mungkin saja terjadi pada sistem setelah integrasi PLTA Bakaru II guna melindungi peralatan-peralatan listrik yang

terpasang serta untuk menjaga keandalan pada sistem kelistrikan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

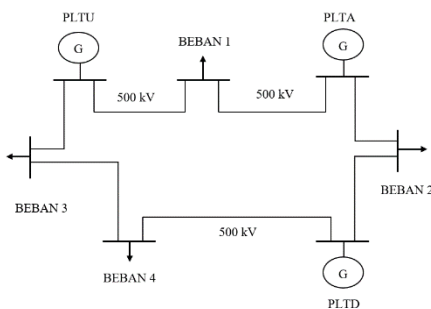
A. Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik merupakan suatu sistem yang terdiri dari berbagai komponen diantaranya yaitu pembangkit, transmisi, distribusi, dan beban yang saling berkesinambungan untuk melayani kebutuhan tenaga listrik bagi pelanggan sesuai dengan kebutuhan. Secara garis besar, sistem tenaga listrik diilustrasikan seperti Gambar 1 yang terdiri dari beberapa komponen kelistrikan (Suripto, 2016).



Gambar 1. Single Line Diagram Sistem Tenaga Listrik

B. Sistem Interkoneksi



Gambar 2. Sistem Interkoneksi

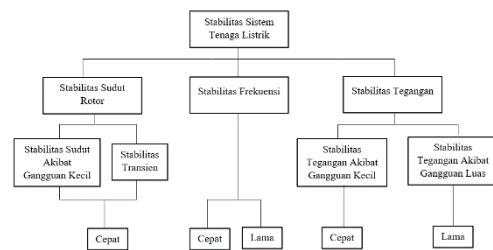
Gambar 2 merupakan sistem interkoneksi sederhana yang memuat beberapa sistem pembangkit yang melayani beberapa macam beban yang ada pada lokasi yang berbeda. Untuk memperoleh kualitas pelayanan yang lebih baik, maka seluruh sistem sebaiknya saling berhubungan atau terinterkoneksi sehingga dapat dikendalikan dari satu tempat saja. Demikian pula kebutuhan daya yang dapat melayani pusat beban dimana saja sekalipun lokasi pembangkitnya berada jauh dari beban tersebut. Sistem tersebut dinamakan sistem interkoneksi. Dengan sistem ini diharapkan kualitas pelayanan dapat menjadi lebih baik. Dengan sistem interkoneksi, sistem tenaga listrik menjadi lebih kompleks sehingga biaya pembangunan dan operasionalnya menjadi lebih besar dan pengelolannya menjadi lebih rumit. Dengan demikian sistem interkoneksi hanya digunakan pada sistem tenaga listrik dengan daya besar dan memerlukan standar kualitas pelayanan yang tinggi [1].

C. Kestabilan Sistem Tenaga Listrik

Suatu sistem tenaga listrik dapat dikatakan baik jika memenuhi syarat sebagai berikut:

1. Keandalan (*Reliability*) yaitu kemampuan suatu sistem untuk menyalurkan daya atau energi secara terus-menerus.
2. Kualitas (*Quality*) yaitu kemampuan suatu sistem untuk menghasilkan besaran-besaran sesuai standar yang ditetapkan untuk tegangan dan frekuensi.
3. Kestabilan (*Stability*) yaitu kemampuan suatu sistem untuk kembali bekerja secara normal setelah mengalami suatu gangguan kelistrikan.

Sistem tenaga listrik dapat dikatakan baik apabila telah memenuhi ketiga syarat tersebut. Dalam artian, sistem tenaga listrik harus mampu menyalurkan daya listrik secara terus menerus dengan standar tegangan dan frekuensi sesuai dengan aturan yang ditetapkan serta harus segera kembali normal bila sistem terkena gangguan.



Gambar 3. Klasifikasi Kestabilan Sistem Tenaga Listrik

Gambar 3 merupakan klasifikasi kestabilan sistem tenaga listrik. Klasifikasi ini berdasarkan pada rentang waktu dan mekanisme terjadinya ketidakstabilan tersebut. Secara umum permasalahan kestabilan pada sistem tenaga listrik berupa gangguan pada kestabilan sudut rotor (*Rotor Angle Stability*), kestabilan tegangan (*Voltage Stability*), dan kestabilan frekuensi (*Frequency Stability*) [2].

E. Kestabilan Frekuensi

Salah satu karakteristik pada sistem tenaga listrik yang sangat penting untuk dijaga kestabilannya adalah frekuensi. Pentingnya menjaga frekuensi berkaitan erat dengan upaya untuk menyediakan sumber energi yang berkualitas bagi konsumen. Pasokan energi dengan frekuensi yang berkualitas baik akan menghindarkan peralatan konsumen dari kerusakan (umumnya peralatan listrik di Indonesia dirancang untuk dapat bekerja secara optimal pada batasan frekuensi tertentu saja seperti 50 s.d 60 Hz). Pengendalian frekuensi tidak semata untuk memuaskan pelanggan, tindakan ini juga bertujuan untuk menjaga kestabilan sistem. Batas frekuensi sistem yang diperbolehkan di Indonesia diatur dalam Peraturan Menteri ESDM Nomor 20 Tahun 2022 seperti pada Tabel 1 yang memuat bahwa batas frekuensi normal yang diizinkan untuk beroperasi secara terus menerus yaitu pada rentang 49 sampai dengan 51 Hz [3].

Tabel 1. Rentang Frekuensi Sistem Tenaga Listrik

RENTANG FREKUENSI	RENTANG WAKTU OPERASI
51,50 Hz < f ≤ 52,00 Hz	Beroperasi selama paling singkat 15 menit
51,00 Hz < f ≤ 51,50 Hz	Beroperasi selama paling singkat 90 menit
49,00 Hz < f ≤ 51,00 Hz	Beroperasi secara terus menerus
47,50 Hz < f ≤ 49,00 Hz	Beroperasi selama paling singkat 90 menit
47,00 Hz < f ≤ 47,50 Hz	Beroperasi selama paling singkat 6 menit

Menurut Nugraheni (2011) daya dalam gerak lurus dapat didefinisikan sebagai gaya yang dialami suatu benda yang bergerak pada jarak tertentu per satuan waktu. Hal ini juga berlaku bagi daya yang dihasilkan generator. Generator memiliki bagian yang berputar, sehingga tinjauan daya yang dihasilkan generator adalah daya yang dihasilkan oleh suatu benda berputar (rotasi) dan bukan merupakan benda statis. Oleh sebab itu, daya yang dihasilkan generator dapat didefinisikan sebagai momen gaya (torsi) yang dialami generator yang berputar sebesar sudut tertentu per satuan waktu seperti pada persamaan 1 [4].

$$P = \tau \frac{d\theta}{dt} \quad (1)$$

Keterangan:

P = daya yang dibangkitkan generator (Watt)
 τ = momen gaya/kopel mekanik generator (Nm)
 θ = sudut rotasi (rad)
 t = waktu (s)

Besarnya perubahan sudut rotasi dari bagian generator yang berputar per satuan waktu merupakan nilai dari kecepatan sudut generator tersebut .

$$P = \tau \omega = \tau \cdot 2\pi f \quad (2)$$

$$P \approx \tau$$

Keterangan:

P = daya yang dibangkitkan generator (Watt)
 τ = momen gaya/kopel mekanik generator (Nm)
 θ = sudut rotasi (rad)
 ω = kecepatan putar sudut generator (rad/s)
 f = Frekuensi Generator (Hz)
 t = waktu (s)

Frekuensi yang diinginkan adalah konstan di rentang yang diijinkan, untuk mendapatkan keadaan tersebut, hal ini merupakan tugas dari governor untuk mengatur banyaknya bahan bakar yang digunakan. Hal ini dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$T_G - T_B = J \frac{d\omega}{dt} = J2\pi \frac{df}{dt} \quad (3)$$

Keterangan:

T_G = Kopel penggerak mekanik generator (Nm)
 T_B = Torsi beban (Nm)
 J = Momen inersia penggerak mekanik generator (kg.m²)
 ω = Kecepatan sudut putar generator (rad/s)
 f = Frekuensi Generator (Hz)
 t = Waktu (s)

Dari persamaan 3 diketahui bahwa :

- Jika kopel penggerak mekanik generator lebih besar daripada torsi beban maka perubahan kecepatan sudut putar generator terhadap waktu bernilai positif, artinya frekuensi generator semakin meningkat.
- Jika kopel penggerak mekanik generator bernilai sama dengan torsi beban maka perubahan kecepatan sudut putar generator terhadap waktu bernilai nol, artinya kecepatan sudut tetap setiap satuan waktu akibatnya frekuensi sistem konstan.
- Jika kopel penggerak mekanik generator bernilai lebih kecil daripada torsi beban maka perubahan kecepatan sudut putar generator terhadap waktu bernilai negatif, artinya kecepatan sudut putar semakin lama semakin melambat dan frekuensinya semakin turun.

Hubungan yang mendefinisikan perubahan frekuensi terhadap waktu, dalam hal ini disebut dengan laju perubahan frekuensi berdasarkan perubahan besarnya daya yang dihasilkan generator dan daya yang dibutuhkan beban dapat digambarkan oleh persamaan swing suatu generator sederhana sebagai berikut [4]:

$$\frac{GH}{\pi f_0} \times \frac{d^2\delta}{dt^2} = P_A \quad (4)$$

Keterangan:

G = Rating MVA generator
 H = Konstanta inersia generator (MJ/MVA)
 δ = Sudut torsi generator
 f_0 = Frekuensi nominal generator (Hz)
 P_A = Daya percepatan (MW)

Kecepatan putaran generator dapat dinyatakan sebagai:

$$\omega = \omega_0 + \frac{d\delta}{dt} = 2\pi f \quad (5)$$

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\delta}{dt^2} = 2\pi \frac{df}{dt} \quad (6)$$

Dengan ω_0 = Kecepatan generator saat frekuensi nominal (rpm)

Dari persamaan 4 dan 6 dapat disimpulkan bahwa:

$$\frac{df}{dt} = \frac{P_A f_0}{2GH} \quad (7)$$

$$\text{Dengan } P_A = P_M - P_E$$

Keterangan:

P_A = Daya percepatan
 P_M = Daya mekanik generator
 P_E = Daya elektrik permintaan beban

F.Regulasi Frekuensi

Tindakan pengontrolan yang diperlukan dalam mengembalikan frekuensi sistem untuk menghindari *blackout* sistem tenaga listrik terdiri dari tiga. *Primary frequency control* merupakan regulasi utama pada frekuensi yang ditanggung oleh masing-masing pembangkit (generator) yang paralel terhadap jaringan. Definisi dari kontrol ini adalah generator beroperasi (menghasilkan daya aktual) dengan mengacu pada perubahan nilai

frekuensi dimana 100% *output* generator beroperasi dengan metode *free governor*. Mode *free governor* merupakan mode operasi governor untuk mempertahankan *speed* turbin tetap *steady* pada *speed rate*-nya dalam kondisi sistem (*frequency*) yang dinamis. Secara sederhana, *output* generator (dalam hal ini daya aktual/aktif) beroperasi menyesuaikan perubahan *frequency* dalam sistem (*grid*). *Secondary frequency control* merupakan pengaturan otomatis (*Automatic Generation Control/AGC*) oleh pusat kontrol (pengatur beban) dalam mengatur variasi beban agar terciptanya frekuensi sistem tenaga listrik yang stabil. *Tertiary frequency control* merupakan upaya menjaga kestabilan frekuensi dengan melakukan pelepasan beban atau *load shedding* [5].

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Teknik Pengumpulan Data

Dalam proses penelitian ini, data yang digunakan adalah data kuantitatif. Berdasarkan sumber pengambilan data, penelitian ini menggunakan data sekunder. Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari PT. PLN (Persero) UP2B Makassar dan PT. PLN (Persero) UIKL Sulawesi. Data tersebut terdiri dari single line diagram sistem Sulbagsel, data saluran transmisi, data pembangkit, data transformator distribusi dan IBT, data beban, data governor dan data daya bangkitan minimum dan maksimum PLTB Sidrap. Data tersebut kemudian dianalisis menggunakan *software Digsilent PowerFactory 15.1*.

B. Perancangan Simulasi

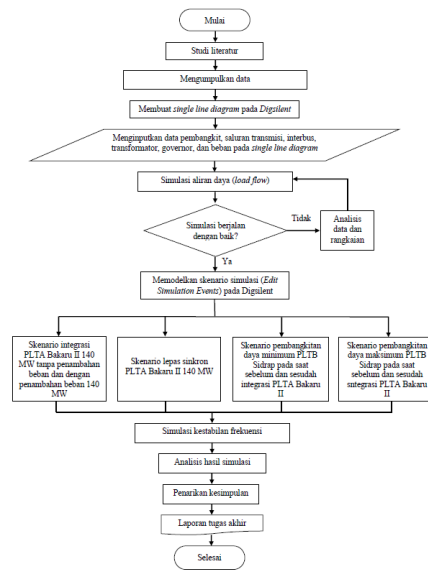
Simulasi kestabilan frekuensi pada sistem Sulbagsel 2022 dilakukan dengan beberapa skenario. Skenario dimulai dengan simulasi frekuensi sistem Sulbagsel sebelum dan sesudah integrasi PLTA Bakar II tanpa adanya penambahan beban dan dengan mempertimbangkan penambahan beban.

Simulasi selanjutnya yaitu simulasi frekuensi sistem Sulbagsel setelah integrasi PLTA Bakar II dengan skenario lepas sinkron pembangkit dengan menggunakan governor sebagai regulasi frekuensi primer.

Simulasi terakhir yaitu simulasi frekuensi sistem Sulbagsel sebelum dan sesudah integrasi PLTA Bakar II dengan skenario bahwa PLTB Sidrap mengalami fluktuasi, dalam hal ini disimulasikan saat PLTB Sidrap membangkitkan daya minimum dan daya maksimumnya. Dari hasil simulasi ini, dianalisis bagaimana pengaruh integrasi PLTA Bakar II terhadap kestabilan frekuensi sistem Sulbagsel saat PLTB mengalami fluktuasi, apakah frekuensi akan lebih stabil atau tidak.

C. Alur Penelitian

Adapun langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.

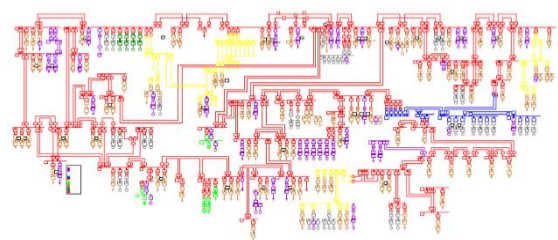


Gambar 4. Alur Penelitian

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Single Line Diagram Sistem Sulawesi Bagian Selatan

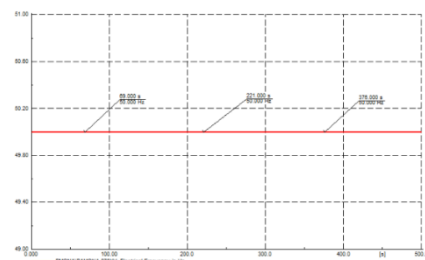
Data yang telah diperoleh kemudian diinputkan ke dalam *single line diagram* sistem Sulawesi Bagian Selatan yang telah dibuat pada aplikasi *Digsilent PowerFactory 15.1* seperti yang terlihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Single Line Diagram Sistem Sulbagsel 2022

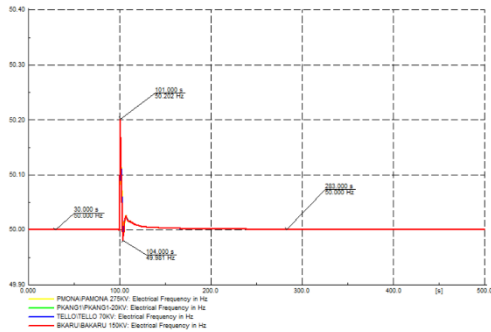
B. Hasil Simulasi

1. Simulasi Kestabilan Frekuensi Sebelum dan Sesudah Integrasi PLTA Bakar II ke Sistem Sulbagsel



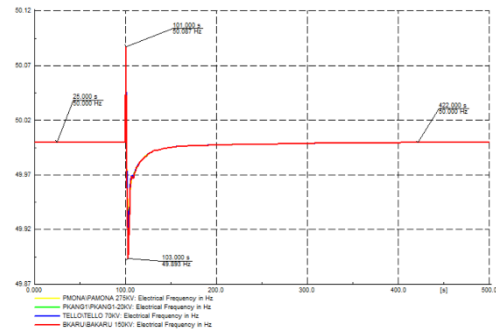
Gambar 6. Simulasi Frekuensi Pada Sistem Sulbagsel sebelum integrasi PLTA Bakar II

Hasil simulasi pada gambar 6 memperlihatkan bahwa frekuensi stabil di 50 Hz karena jumlah beban nyata dan losses daya aktif yang disuplai pada sistem Sulbagsel seimbang dengan jumlah suplai daya aktif dari pembangkitnya. Keseimbangan sistem (*balancing*) diatur oleh governor dengan acuan *distributed slack by generation* (distribusi rugi-rugi daya atau kekurangan daya nyata pada jaringan ditanggung oleh generator secara interkoneksi).



Gambar 7. Simulasi Frekuensi Pada Sistem Sulbagsel setelah integrasi PLTA Bakaru II tanpa penambahan beban

Pada Gambar 7, kenaikan frekuensi menjadi 50.202 Hz pada detik 101 disebabkan oleh jumlah suplai daya aktif dari pembangkit yang nilainya menjadi lebih tinggi daripada jumlah beban dan losses yang disuplai pada sistem Sulbagsel karena adanya integrasi PLTA Bakaru II sebesar 140 MW. Setelah itu, frekuensi turun menuju 50 Hz karena kerja dari governor pada tiap pembangkit di sistem mengurangi daya bangkitan pembangkit yang beroperasi agar sistem dapat seimbang. Osilasi terjadi karena governor berusaha mencapai titik kesetimbangan agar frekuensi sistem kembali stabil menjadi 50 Hz.

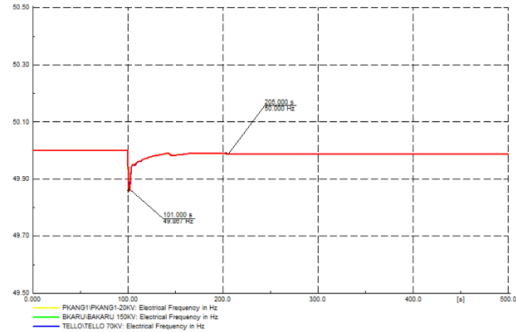


Gambar 8. Simulasi Frekuensi Pada Sistem Sulbagsel sebelum integrasi PLTA Bakaru II dengan penambahan beban 140 MW

Pada Gambar 8, kenaikan frekuensi menjadi 50.087 Hz pada detik 101 disebabkan oleh jumlah suplai daya aktif dari pembangkit yang nilainya menjadi lebih tinggi daripada jumlah beban dan losses yang disuplai pada sistem Sulbagsel karena adanya integrasi PLTA Bakaru II sebesar 140 MW. Setelah itu, frekuensi turun menjadi 49.893 Hz pada detik 103 karena integrasi beban sebesar 140 MW pada sistem. Frekuensi kemudian naik menuju stabil di 50 Hz karena kerja dari governor pada tiap

pembangkit di sistem yang menambahkan daya bangkitan generator yang beroperasi agar sistem kembali seimbang.

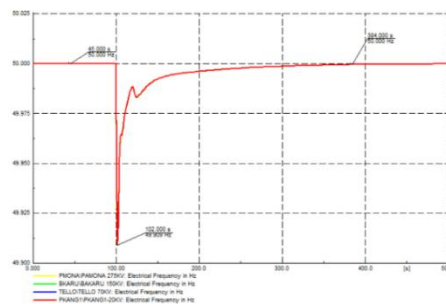
2. Simulasi Kestabilan Frekuensi dengan Skenario Lepas Sinkron PLTA Bakaru II dari Sistem Sulbagsel



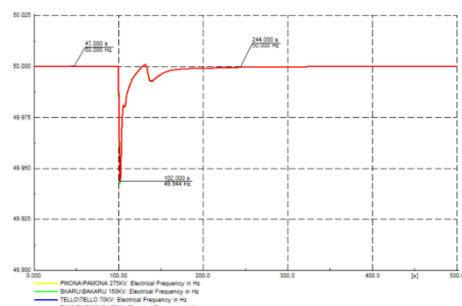
Gambar 9. Simulasi Frekuensi Pada Sistem Sulbagsel skenario lepas sinkron PLTA Bakaru II 140 MW

Pada Gambar 9, penurunan frekuensi menjadi 49.867 Hz pada detik 101 disebabkan oleh jumlah suplai daya aktif dari pembangkit yang nilainya menjadi lebih rendah daripada jumlah beban dan losses yang disuplai pada sistem Sulbagsel karena lepasnya PLTA Bakaru II sebesar 140 MW saat sistem sebelumnya telah berada pada titik seimbang. Setelah itu, frekuensi naik menuju stabil di 50 Hz pada detik 102 karena kerja dari governor pada tiap pembangkit di sistem yang menambahkan daya bangkitan generator yang beroperasi agar sistem dapat seimbang.

3. Simulasi Kestabilan Frekuensi Sebelum dan Sesudah Integrasi PLTA Bakaru II ke Sistem Sulbagsel dengan Skenario Bahwa PLTB Sidrap tidak membangkitkan daya



Gambar 10. Simulasi Frekuensi Pada Sistem Sulbagsel Sebelum Integrasi PLTA Bakaru II dengan Skenario PLTB Sidrap tidak membangkitkan daya



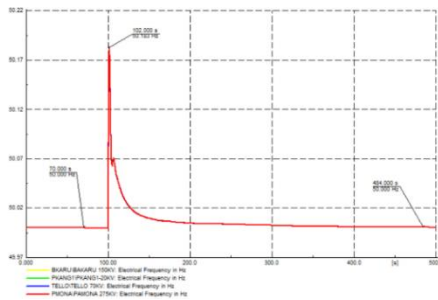
dengan Skenario Pembangkitan Daya Maksimum PLTB Sidrap

Gambar 11. Simulasi Frekuensi Pada Sistem Sulbagsel Setelah Integrasi PLTA Bakaru II dengan Skenario PLTB Sidrap tidak membangkitkan daya

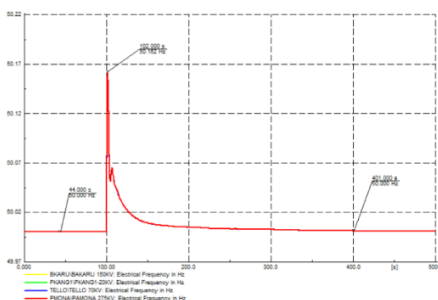
Pada Gambar 10 frekuensi turun menjadi 49.909 Hz sedangkan pada Gambar 11 frekuensi turun menjadi 49.944 Hz. Penurunan frekuensi pada detik 101 pada kedua gambar tersebut disebabkan oleh sistem yang awalnya sudah stabil, kemudian mengalami kelebihan beban karena PLTB Sidrap yang berkontribusi menyuplai daya sebesar 19.51 MW turun menjadi 0 MW pada detik ke 100. Jumlah suplai daya aktif dari pembangkit nilainya menjadi lebih rendah daripada jumlah beban dan losses yang disuplai pada sistem. Setelah itu, frekuensi naik menuju stabil pada detik 102 karena kontrol dari governor pada tiap pembangkit di sistem yang menambahkan daya bangkitan generator yang beroperasi untuk menyuplai kelebihan beban tersebut agar sistem dapat kembali seimbang dengan frekuensi 50 Hz. Frekuensi turun lebih baik ketika integrasi PLTA bakaru II telah dilakukan karena momen inersia PLTA Bakaru II sebesar 2.97 berkontribusi dalam meredam laju penurunan frekuensi sistem.

Pada Gambar 12 frekuensi naik menjadi 50.183 Hz sedangkan pada Gambar 13 frekuensi naik menjadi 50.162 Hz. Kenaikan frekuensi pada detik 102 pada kedua gambar tersebut disebabkan oleh sistem yang awalnya sudah stabil, kemudian mengalami kelebihan pembangkit karena PLTB Sidrap yang awalnya berkontribusi menyuplai daya sebesar 19.51 MW naik menjadi 72.75 MW pada detik ke 100. Jumlah suplai daya aktif dari pembangkit nilainya menjadi lebih tinggi daripada jumlah beban dan losses yang disuplai pada sistem. Setelah itu, frekuensi turun menuju stabil pada detik 484 karena kontrol dari governor pada tiap pembangkit di sistem yang mengurangi daya bangkitan generator yang beroperasi agar sistem dapat kembali seimbang dengan frekuensi 50 Hz. Frekuensi naik lebih baik ketika integrasi PLTA bakaru II telah dilakukan karena momen inersia PLTA Bakaru II sebesar 2.97 berkontribusi dalam meredam laju kenaikan frekuensi sistem.

4. Simulasi Kestabilan Frekuensi Sebelum dan Sesudah Integrasi PLTA Bakaru II ke Sistem Sulbagsel dengan Skenario Bahwa PLTB Sidrap Membangkitkan Daya Maksimum



Gambar 12. Simulasi Frekuensi Pada Sistem Sulbagsel Sebelum Integrasi PLTA Bakaru II dengan Skenario Pembangkitan Daya Maksimum PLTB Sidrap



Gambar 13. Simulasi Frekuensi Pada Sistem Sulbagsel Setelah Integrasi PLTA Bakaru II

C. Rekapitulasi Hasil Simulasi

No.	Skenario Simulasi	Frek. Saat Terjadi Skenario Simulasi	Frek. Steady State	Lama Terjadinya Gangguan
1	Integrasi PLTA Bakaru II 140 MW tanpa adanya penambahan beban	50.202 Hz	50 Hz	183 Detik
2	Integrasi PLTA Bakaru II 140 MW dengan adanya penambahan beban 140 MW	50.087 Hz	50 Hz	142 Detik
3	Lepas Sinkron PLTA Bakaru II 140 MW	49.867 Hz	50 Hz	105 Detik
4	Tidak adanya pembangkitan daya PLTB Sidrap (0 MW) sebelum integrasi PLTA Bakaru II	49.909 Hz	50 Hz	183 Detik
5	Tidak adanya pembangkitan daya PLTB Sidrap (0 MW) setelah integrasi PLTA Bakaru II	49.944 Hz	50 Hz	144 Detik

6	Pembangkitan maksimum PLTB Sidrap (72.75 MW) sebelum integrasi PLTA Bakaru II	50.183 Hz	50 Hz	384 Detik
7	Pembangkitan maksimum PLTB Sidrap (72.75 MW) setelah integrasi PLTA Bakaru II	50.162 Hz	50 Hz	301 Detik

- [4] Nugraheni, Ari. 2011. *Simulasi Pelepasan Beban Dengan Menggunakan Rele Frekuensi Pada Sistem Tenaga Listrik* (Online), (<http://www.lib.ui.ac.id>, diakses 1 Januari 2023)
- [5] Saputra, Riko. 2021. *Regulasi Frekuensi Sistem* (Online), (<https://id.linkedin.com/pulse/regulasi-frekuensi-sistem-riko-saputra>, diakses 14 Januari 2023).

V. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, disimpulkan bahwa:

1. Frekuensi sistem Sulbagsel sebelum integrasi PLTA Bakaru II stabil dengan frekuensi 50 Hz. Setelah integrasi PLTA Bakaru II 140 MW, frekuensi naik menjadi 50,202 Hz karena sistem kelebihan daya bangkitan namun frekuensi tersebut masih dibawah batas maksimal kestabilan frekuensi yang diizinkan yaitu 51 Hz.
2. Ketika PLTA Bakaru II 140 MW (2x70 MW) lepas sinkron, frekuensi turun menjadi 49.867 Hz, namun masih bisa dikontrol oleh governor karena cadangan putar (*spinning reserve*) pada sistem masih mencukupi yaitu sebesar 273.11 MW.
3. Frekuensi sistem Sulbagsel akan lebih stabil setelah integrasi PLTA Bakaru II dilakukan, hal tersebut karena momen inersia dari pembangkit listrik tenaga air berkontribusi dalam meredam osilasi frekuensi yang disebabkan oleh fluktuasi PLTB, dalam hal ini ketika PLTB tidak membangkitkan daya yaitu 0 MW atau membangkitkan daya maksimum yaitu 72.75 MW. ketika PLTB berada dalam pembangkitan minimum, frekuensi sistem sebelum integrasi PLTA Bakaru II turun menjadi 49.909 Hz, sedangkan setelah integrasi PLTA Bakaru II sebesar 49,944 Hz. Ketika PLTB berada dalam pembangkitan maksimum, frekuensi sistem sebelum integrasi PLTA Bakaru II naik menjadi 50,183 Hz, sedangkan setelah integrasi PLTA Bakaru II sebesar 50,162 Hz.

VI. REFERENSI

- [1] Suripto, Slamet. 2016. *Buku Ajar Sistem Tenaga Listrik*. Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Yogyakarta.
- [2] Sadaat, Hadi. 1999. *Power system Analysis*. Mc Graw Hill Company. Singapore.
- [3] Marsudi, Djiteng. 2006. *Operasi Sistem Tenaga Listrik*. Graha ilmu. Yogyakarta.