

STUDI KESTABILAN FREKUENSI SISTEM KELISTRIKAN PADA PABRIK PT. SEMEN TONASA SETELAH *ON-GRID* DENGAN PLN

Sri Mawar Said
Departemen Teknik Elektro
Universitas Hasanuddin
Makassar, Indonesia
srimawarsaid@yahoo.com

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

Fatimah Az-zahra
Departemen Teknik Elektro
Universitas Hasanuddin
Makassar, Indonesia
azzahraf18d@student.unhas.ac.id

Abstrak- PT. Semen Tonasa telah beralih untuk mendapatkan suplai penuh dari PLN sejak tahun 2021 hingga saat ini. Disisi lain, sebagai produsen semen terbesar di Indonesia timur, PT. Semen Tonasa memiliki beban-beban motor yang akan mempengaruhi stabilitas frekuensi pada saat dihubungkan ke sistem. Oleh karena itu, dilakukan simulasi kestabilan frekuensi menggunakan software untuk melihat bagaimana respon frekuensi sistem pada saat starting dan lepasnya motor berkapasitas besar. Penelitian ini dimulai dengan pengumpulan data sistem kelistrikan PT. Semen Tonasa, dan sistem Sulbagsel di kantor UIKL Sulawesi dan UP2B Makassar. Data yang mencakup data beban motor dan transformator pada PT. Semen Tonasa, data pembangkit, interbus, transformator saluran transmisi, dan beban sistem Sulbagsel kemudian di input pada SLD yang telah digambar pada aplikasi. Penelitian kemudian dilanjutkan dengan melakukan simulasi kestabilan frekuensi dengan beberapa skenario. Simulasi Pertama, dilakukan simulasi aliran daya pada sistem kelistrikan PT. Semen Tonasa setelah on-grid dengan PLN, simulasi kedua dilakukan skenario starting motor berkapasitas besar, simulasi ketiga dilakukan skenario lepasnya motor berkapasitas besar. Hasil skenario memperlihatkan kondisi semua bus pada PT. Semen Tonasa dalam keadaan stabil setelah on-grid dengan PLN memenuhi batas-batas toleransi tegangan yang diperbolehkan yaitu -10% hingga +5%. Ketika dilakukan simulasi starting motor berkapasitas besar frekuensi turun hingga 49,924 Hz, frekuensi ini masih dalam batas frekuensi yang diizinkan. Selain itu, ketika dilakukan starting 2 motor secara bersamaan frekuensi sistem mengalami penurunan hingga 49,875 Hz, dan membuat sistem terus berosilasi namun masih dalam rentang frekuensi yang diizinkan. Kemudian ketika dilakukan simulasi lepasnya motor berkapasitas besar frekuensi naik hingga 50,030 Hz, dimana frekuensi sistem tidak mengalami kenaikan yang signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa sistem mampu untuk mempertahankan kestabilannya pada saat terjadi

gangguan dan mampu untuk kembali ke kondisi normal yang baru setelah terjadinya gangguan.

Kata Kunci: *PT. Semen Tonasa, Kestabilan Frekuensi, starting motor, Lepasnya motor.*

I. PENDAHULUAN

Energi listrik telah menjadi salah satu kebutuhan primer dalam menunjang kehidupan sehari-hari bagi konsumen rumah tangga dan untuk menunjang kinerja pada sistem produksi bagi konsumen Industri. Sistem tenaga listrik berfungsi untuk mengubah suatu bentuk energi ke bentuk energi listrik kemudian mendistribusikannya ke sisi konsumen baik itu konsumen rumah tangga maupun industri. Agar dapat beroperasi dengan baik suatu sistem tenaga listrik harus memenuhi standar minimum parameter yang telah ditetapkan untuk frekuensi, tegangan, dan tingkat keandalan sistem tenaga listrik tersebut.

Keseimbangan daya antara kebutuhan beban dengan kapasitas pembangkitan generator menjadi salah satu parameter dari kestabilan operasi sistem tenaga listrik. kestabilan sistem tenaga listrik merupakan kemampuan suatu sistem tenaga listrik untuk tetap dalam kondisi stabil (steady state) pada operasi normal, dan kemampuan untuk mencapai kondisi normal setelah mengalami gangguan. oleh karena itu, suatu sistem tenaga listrik yang andal harus mampu mempertahankan kestabilannya dan menahan berbagai macam gangguan.

Salah satu karakteristik pada sistem tenaga listrik yang sangat penting untuk dijaga kestabilannya adalah frekuensi. Frekuensi sistem yang tidak stabil menjadi indikator adanya ketidakseimbangan suplai daya dari pembangkit dengan daya beban. frekuensi sistem yang bergeser dari posisi normal dapat diakibatkan oleh gangguan seperti adanya generator yang lepas, gangguan hubung singkat, *starting motor* ataupun adanya perubahan beban yang terjadi secara tiba-tiba. perubahan yang signifikan pada frekuensi sistem akan mengakibatkan sistem keluar dari daerah kestabilannya.

Dalam tugas akhir ini, Penelitian yang akan dilakukan adalah menganalisis kestabilan frekuensi sistem kelistrikan PT. Semen Tonasa yang merupakan produsen semen terbesar di Kawasan Timur Indonesia. Dalam operasinya PT. Semen Tonasa ditunjang oleh utilitas Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) dengan kapasitas 2x25 MW dan 2x35 MW serta suplai daya dari PLN (PT. SemenTonasa, 2021).

Namun, PT. Semen Tonasa beralih untuk mendapatkan suplai penuh dari PLN, dilansir dari website resmi PT. Semen Tonasa, sejak Maret 2021 telah menandatangani program akuisisi beban listrik (*Incentive Captive Acquisition*) oleh PLN dengan komitmen sebesar 190 juta kiloWatt hour (kWh) untuk tahun Pertama dan kemudian melanjutkan kerjasama untuk tahun kedua dengan komitmen sebesar 240 juta kWh, dimulai sejak 1 April 2022 hingga Maret 2023. Program *Incentive Captive Acquisition* sendiri merupakan layanan PLN dimana pelanggan yang memiliki *captive power* untuk memenuhi kebutuhan listrik, dapat beralih untuk mendapatkan pasokan listrik secara penuh oleh PLN (PT.PLN, 2022).

Dalam penelitian ini akan dilihat bagaimana kestabilan frekuensi sistem kelistrikan pada pabrik PT. Semen Tonasa setelah disuplai penuh oleh PLN, karena sebagai industri penghasil semen, PT. Semen Tonasa memiliki beban-beban induktif yang banyak untuk menunjang proses produksi seperti motor-motor berkapasitas besar. Motor-motor dengan kapasitas besar ini tentunya akan mempengaruhi kestabilan frekuensi sistem ketika dihubungkan ke sistem. Oleh karena itu analisis kestabilan frekuensi pada sistem kelistrikan PT. Semen Tonasa perlu dilakukan kembali karena kestabilan kelistrikan di industri sangat erat kaitannya dengan kemampuan sistem untuk mempertahankan keadaan stabil agar peralatan dapat beroperasi deng Dalam penelitian ini akan dianalisis kestabilan frekuensi sistem kelistrikan pada pabrik PT. Semen Tonasa pada saat proses starting motor dan lepasnya motor berkapasitas besar, hal ini dilakukan untuk mengetahui apakah ketika terjadi gangguan, frekuensi sistem masih dalam batas yang telah ditentukan atau tidak. an baik dan dengan efisiensi yang tinggi.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Sistem Tenaga Listrik

Menurut Supripto (2016) Suatu sistem tenaga listrik pada umumnya terdiri atas empat unsur yaitu. Unit pembangkitan, sistem transmisi, sistem distribusi dan beban. Pada unit pembangkitan tenaga listrik terdapat proses perubahan sumber energi primer menjadi energi listrik. Masing-masing jenis pembangkit tenaga listrik mempunyai prinsip kerja yang berbeda, sesuai dengan prime movernya. Sistem

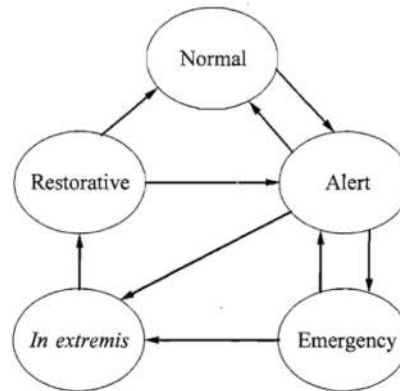
penyaluran listrik mulai dari unit pembangkit menggunakan saluran transmisi. Sedangkan untuk penyaluran tenaga listrik sampai ke pihak konsumen, menggunakan sistem distribusi.

B. Sistem Interkoneksi

Sistem interkoneksi kelistrikan merupakan sistem terintegrasi pusat pembangkit menjadi satu sistem pengendalian dengan adanya sistem interkoneksi ini akan diperoleh suatu keharmonisan antara pembangunan stasiun pembangkit dengan saluran transmisi dan saluran distribusi agar bisa menyalurkan daya dari stasiun pembangkit ke pusat beban secara ekonomis, efisien, dan optimum dengankeandalan tinggi.

C. Status Operasi Sistem Tenaga Listrik

Kondisi operasi sistem tenaga listrik dapat diklasifikasikan menjadi lima keadaan, yaitu normal, waspada, darurat, ekstrim dan restoratif. Gambar 1 mengilustrasikan status operasi ini



Gambar 1 Status operasi untuk sistem tenaga listrik (Kundur, 1994)

Dalam keadaan normal, sistem dapat beroperasi dengan aman. Sistem memasuki status waspada jika variabel sistem berada di bawah batas tertentu tetapi masih dalam rentang yang dapat diterima. Keadaan darurat terjadi jika sistem tidak mampu untuk menahan segala kemungkinan karena kelebihan beban. Jika tingkat keparahan gangguan meningkat, sistem memasuki kondisi ekstrim (atau keadaan darurat ekstrim) hasilnya adalah pemadaman berjenjang dan mungkin sebagian besar sistem dimatikan. Akhirnya keadaan restoratif mewakili situasi di mana tindakan kontrol digunakan untuk menghubungkan kembali semua fasilitas dan memulihkan beban sistem, sistem berpindah dari status ini ke status waspada atau status normal, tergantung pada kondisi sistem (Kundur, 1994).

D. Kestabilan Sistem Tenaga Listrik

Kestabilan sistem tenaga listrik merujuk pada kemampuan sistem untuk tetap beroperasi secara normal selama dan setelah terjadi gangguan pada

sistem tersebut. Setelah terjadi gangguan untuk mengembalikan sistem pada kondisi operasi sinkron disebut dengan periode transien. Kriteria utama stabilitas adalah bagaimana mesin-mesin mampu mempertahankan sinkronisasi pada akhir periode transien tersebut.

Suatu sistem tenaga mengalami berbagai gangguan, dan tidak pernah dalam kondisi tunak. Analisis kestabilan biasanya digolongkan kedalam tiga jenis, tergantung pada sifat dan besarnya gangguan yaitu (Kundur, 1994):

1. Kestabilan keadaan Tetap (*Steady State Stability*)
Adalah kemampuan sistem tenaga listrik untuk menerima gangguan kecil yang bersifat gradual yang terjadi disekitar titik keseimbangan pada kondisi tetap.
2. Kestabilan Dinamis (*Dynamic Stability*)
Adalah kemampuan sistem tenaga listrik untuk kembali ke titik keseimbangan setelah timbul gangguan yang relatif kecil secara tiba-tiba dalam waktu yang lama.
3. Kestabilan Peralihan (Transient Stability)
Adalah kemampuan sistem untuk mencapai titik keseimbangan setelah mengalami gangguan yang besar yang menyebabkan sistem kehilangan kestabilan karena gangguan terjadi diatas kemampuan sistem.

E. Kestabilan Frekuensi

Menurut Sepriawan (2014) Kestabilan frekuensi merujuk pada kemampuan suatu sistem tenaga untuk menjaga frekuensi pada kondisi mantap setelah terjadi gangguan yang menyebabkan ketidakseimbangan antara pembangkitan dan pembebanan.

Klasifikasi dari kestabilan frekuensi dibagi menjadi 2 yaitu untuk jangka panjang dan juga untuk jangka pendek yaitu (Das, 2010):

1. Kestabilan Frekuensi jangka panjang
Fenomena jangka panjang umumnya terjadi ketika kontrol governor tidak berfungsi dengan baik saat menghadapi gangguan besar
2. Kestabilan Frekuensi jangka pendek
Perubahan fluktuasi pada sisi beban dapat menyebabkan generator mengalami kesulitan dalam memenuhi kebutuhan pasokan daya dalam sistem.

Daya yang dihasilkan oleh generator dapat diartikan sebagai momen gaya (torsi) yang dialami generator yang berputar sebesar sudut tertentu per satuan waktu seperti pada persamaan 1

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

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.

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

$$P \approx \tau$$

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)

Dari persamaan 2 terlihat bahwa perubahan daya aktif yang dihasilkan oleh generator menyebabkan perubahan pada torsi kerja. Perubahan torsi ini berdampak pada frekuensi sistem. Jika generator beroperasi di luar rentang frekuensi yang diizinkan, dapat menyebabkan kerusakan pada generator dengan cepat. Oleh sebab itu, untuk mempertahankan besarnya frekuensi sistem diperlukan pengaturan pada besarnya kopel mekanis penggerak generator (Nugraheni, 2011).

Menurut Nugraheni (2011) Kopel mekanis penggerak generator berkaitan dengan besarnya bahan bakar yang digunakan untuk menggerakkan prime mover atau turbin. Untuk mendapatkan frekuensi konstan, besarnya kopel mekanis penggerak generator sama dengan besarnya torsi beban. hal ini merupakan tugas dari governor untuk mengatur banyaknya bahan bakar yang digunakan. Hal ini dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$T_G - T_B = J \frac{d\omega}{dt} = J 2\pi \frac{df}{dt} \quad (3)$$

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)

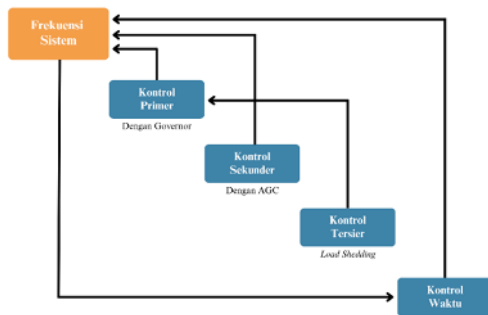
Dari persamaan 3 dapat diketahui bahwa (Nugraheni, 2011):

- a. 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 lambat dan frekuensinya semakin turun.

F. Kontrol Frekuensi Sistem Tenaga Listrik

Menurut (Abdulraheem & Gan, 2016) persyaratan dasar untuk stabilitas sistem tenaga listrik adalah untuk memastikan frekuensi sistem dan tingkat tegangan mendekati batas keadaan tunaknya. Untuk sistem tenaga interkoneksi, kontrol frekuensi digunakan dengan mekanisme kontrol untuk memulihkan frekuensi sistem selama kondisi kontinjensi. Gambar 2 mengilustrasikan berbagai tindakan kontrol yang diperlukan untuk memulihkan frekuensi sistem untuk mencegah pemadaman sistem tenaga.



Gambar 2 Kontrol frekuensi pada sistem tenaga

Kontrol frekuensi primer 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.

Kontrol frekuensi sekunder merupakan pengaturan otomatis (Automatic Generation Control/AGC) oleh pusat kontrol (pengatur beban) dalam mengatur variasi beban agar terciptanya frekuensi sistem tenaga listrik yang stabil. Kontrol frekuensi tersier merupakan upaya menjaga kestabilan frekuensi dengan melakukan pelepasan beban atau load shedding (Saputra, 2021).

G. Kriteria Frekuensi Sistem Tenaga Listrik

Pentingnya menjaga frekuensi berkaitan erat dengan upaya untuk menyediakan sumber energi yang berkualitas bagi konsumen 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 rentan 49 sampai dengan 51 Hz.

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

Sumber : Peraturan Menteri ESDM No. 20 (2020)

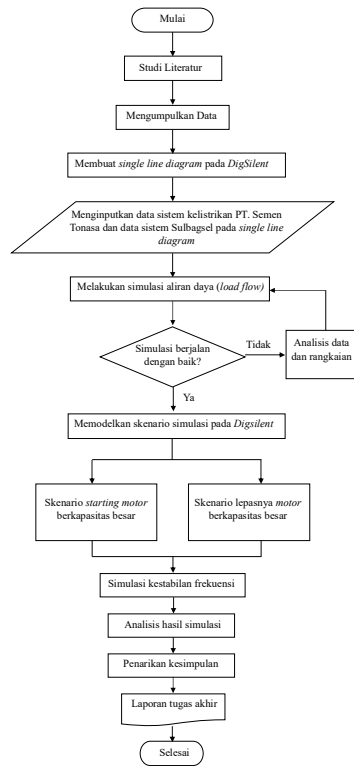
III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Teknik Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari PT. Semen Tonasa, PT. PLN (Persero) UP2B Makassar, dan PT. PLN (Persero) UIKL Sulawesi. Data tersebut antara lain: single line diagram sistem kelistrikan PT. Semen Tonasa, data transformator 2 belitan dan 3 belitan sistem kelistrikan PT. Semen Tonasa, data beban dan motor sistem kelistrikan PT. Semen Tonasa, single line diagram sistem sulbagsel, data saluran transmisi sistem sulbagsel, data transformator distribusi dan IBT sistem Sulbagsel, data beban sistem sulbagsel, data pembangkit sistem sulbagsel

B. Alur Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini ditunjukkan pada gambar 3 di bawah.

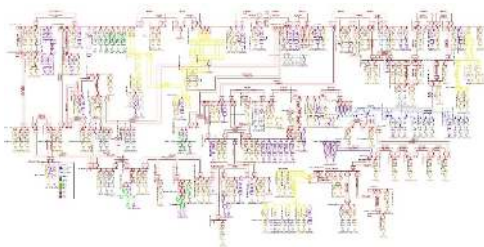


Gambar 3 Diagram Alur Penelitian

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Single Line Diagram Sistem Sulawesi Bagian Selatan

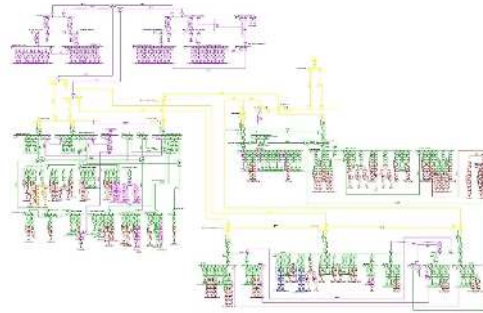
Data yang telah diperoleh kemudian di input ke dalam *Single Line Diagram* yang telah di gambar pada aplikasi *Digsilent Powerfactory 15.1.7* seperti pada gambar 4



Gambar 4 Single Line Diagram Sistem Sulbagsel 2022

B. Single Line Diagram Sistem Pabrik PT. Semen Tonasa

Selain data sistem Sulbagsel data juga di input kedalam *single line diagram* pabrik PT. Semen Tonasa seperti pada gambar 5



Gambar 5 Single Line Diagram PT. Semen Tonasa 2022

C. Hasil Simulasi

1. Analisis Aliran Daya Sistem Kelistrikan PT. Semen Tonasa

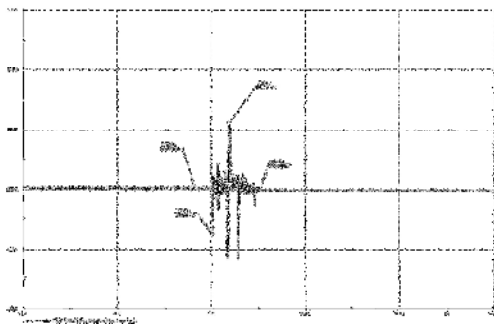
Dari hasil simulasi aliran daya yang ditunjukkan pada Tabel 2 berikut, dapat dilihat bahwa setelah *on-grid* dengan PLN semua bus-bus beban yang berada pada pabrik PT. Semen Tonasa berada pada kondisi stabil dan masih berada dalam batas-batas toleransi tegangan yang diijinkan yaitu -10% hingga +5%.

Adapun total suplai daya dari PLN untuk pabrik Tonasa adalah sebesar 88,4 MW untuk daya aktif dan 70,4 MVar untuk daya reaktif. Dengan keseluruhan total daya yang diserap pabrik PT. Semen Tonasa adalah sebesar 87,2 MW untuk daya aktif dan 66,2 MVar untuk daya reaktif sehingga hasil perhitungan rugi-rugi daya setelah dilakukannya simulasi aliran daya menggunakan software *Digsilent Powerfactory 15.1.7* menunjukkan total rugi rugi daya dari Gardu Induk Pangkep 70 kV hingga bus Tonasa adalah sebesar 1,2 MW untuk daya aktif dan 4,3 MVar untuk daya reaktif. Adanya rugi-rugi daya ini diakibatkan oleh besarnya arus yang mengalir pada saluran.

Tabel 2 Hasil Simulasi Aliran Daya

ID BUS	Nominal kV	kV%	Hasil Perhitungan (MW)	Daya (MVAR)
GI Pangkep 70 kV	70	101	70,6	88,4
Tonasa	70	98	68,57	87,2
BB TNS23	70	98	68,57	11,5
BB1 TNS 23	6,3	98,5	6,2	11,5
BB2 TNS 23	6,3	97,6	6,15	7,6
BB3 TNS 23	6,3	98,5	6,2	11,5
FMI LL TNS 23	6,3	98,5	6,2	2
BB4 TNS 23	6,3	98,5	6,15	7,6
BUSBAR	6,3	98,5	6,2	9,5
BUSBAR 1	6,3	97,6	6,15	7,6
BUSBAR 4	6,3	97,6	6,15	4,1
BUSBAR 6	6,3	97,5	6,14	2,1
Kantor	22	99,1	21,8	0,1
SG1	6,3	100,3	6,32	10,5
SG2	6,3	100,3	6,32	6,1
SG3	6,3	100,3	6,32	4,4
SG4	6,3	99,3	6,26	15,8
ESG1	6,3	99,3	6,26	0,4
SG4A	6,3	99,2	6,25	4,8
SG5	6,3	99,6	6,28	10
SG6	6,3	99,6	6,28	5
SG7	6,3	99,6	6,28	5
581SS51MB01	6,3	102,6	6,46	7,6
581SS52MB01	6,3	103,7	6,53	11,7
581SS53MB01	6,3	100,8	6,35	12,3
582ER55AMB01	6,3	103,3	6,51	7,1
582ER56MB01	6,3	103,5	6,52	2,2
582ER57MB01	6,3	103,5	6,52	2,3
582ER53MB01	6,3	102,3	6,45	0,4
582ER52AMB01	6,3	102,3	6,45	2,3
582ER51MB01	6,3	102,3	6,44	1,8
582ER54MB01	6,3	100,4	6,33	7,3
582ER58A	6,3	102,3	6,44	5,2
582ER58B	6,3	100,6	6,34	4,5
582ER59	6,3	100,7	6,34	0,4

2. Analisis kestabilan frekuensi pada saat *starting motor* berkapasitas besar



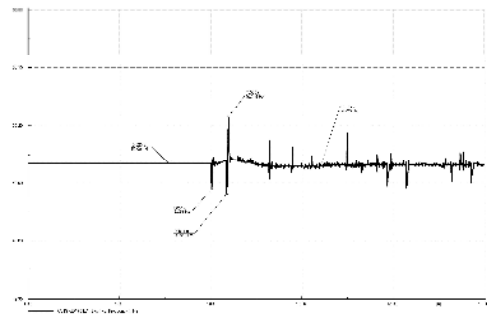
Gambar 6 Respon frekuensi pada bus pangkep 70 kV pada saat starting motor

Pada gambar 6 memperlihatkan grafik frekuensi pada bus pangkep 70kV pada saat motor M532FN11 di *start*. Pada grafik dapat dilihat bahwa pada detik 1 hingga detik ke 7 sistem bekerja pada frekuensi *steady state* 50,004 Hz kemudian setelah itu sistem mengalami penurunan frekuensi hingga 49,924 Hz pada detik 7,046s setelah motor di *start*, kemudian frekuensi sistem beresilasi dan mengalami kenaikan hingga 50,112 Hz pada detik 7,585s dan terus mengalami osilasi hingga pada detik 8,540s sistem mampu kembali stabil pada frekuensi 50,00 Hz.

Sistem mengalami penurunan frekuensi sebesar 0,2%. hal ini disebabkan oleh adanya lonjakan arus pada saat motor M532FN11 di *start*, Lonjakan arus ini mengakibatkan meningkatnya permintaan suplai daya ke beban

secara tiba-tiba yang mengakibatkan turunnya frekuensi sistem. Namun, penurunan frekuensi sebesar 0,2 % ini tidak membahayakan sistem karena masih berada pada rentang frekuensi yang diizinkan. Selain itu, pada kedua grafik tersebut juga dapat dilihat bahwa sistem mampu untuk kembali pada kondisi stabil dengan cepat setelah mengalami fluktuasi frekuensi selama beberapa detik.

3. Analisis kestabilan frekuensi pada saat *starting 2 motor* berkapasitas besar secara bersamaan



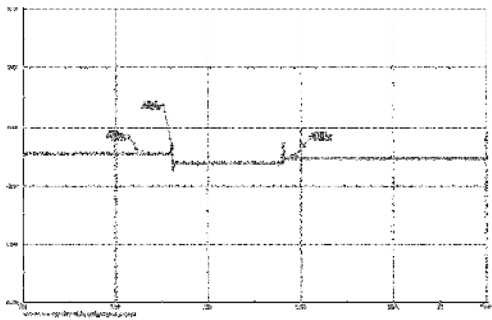
Gambar 7 Respon frekuensi pada bus pangkep 70 kV pada saat starting 2 motor bersamaan

Gambar 7 memperlihatkan grafik respon frekuensi bus GI Pangkep, dimana menunjukkan respon ketika 2 motor berkapasitas besar di *start* secara bersamaan. Dari grafik dapat dilihat bahwa mulanya, frekuensi sistem bekerja pada kondisi *steady state* 50,004 Hz dari detik ke 1 hingga detik ke 7. Kemudian setelah motor di *start* pada detik ke-7 frekuensi sistem mengalami penurunan hingga 49,875 Hz pada detik 7,034s, kemudian pada detik 7,534s kembali mengalami penurunan hingga 49,848 Hz. Setelah itu frekuensi sistem mengalami osilasi, namun hingga waktu simulasi berakhir, sistem tidak bekerja pada frekuensi *steady state*, melainkan terus beresilasi pada rentang frekuensi yang diizinkan.

Seperti pada simulasi sebelumnya, pada simulasi *starting 2 motor* secara bersamaan frekuensi sistem juga mengalami penurunan yang sedikit lebih besar dari pada simulasi sebelumnya, dimana pada simulasi ini frekuensi sistem mengalami penurunan sebesar 0,3%, Hal ini disebabkan oleh lonjakan arus yang lebih besar saat 2 motor di *start* secara bersamaan dibanding pada saat hanya 1 motor yang di *start*. Selain itu lonjakan arus ini juga menjadi penyebab frekuensi sistem masih terus beresilasi hingga berakhirnya waktu simulasi, meski demikian osilasi frekuensi tersebut masih berada pada rentang yang diizinkan dan tidak menyebabkan trip pada sistem. Faktor lain yang dapat menyebabkan hal ini adalah karena data sistem kontrol yang dimasukkan pada simulasi merupakan data typical sehingga, sistem kontrol pada pembangkit membutuhkan waktu yang lebih lama untuk menstabilkan frekuensi

sistem akibat adanya permintaan yang besar secara tiba-tiba yang disebabkan lonjakan arus pada saat *starting motor*.

4. Analisis kestabilan frekuensi pada saat lepasnya motor berkapasitas besar



Gambar 8 Respon frekuensi bus Pangkep 70 kV pada saat lepasnya motor

Gambar 8 memperlihatkan respon frekuensi pada bus Pangkep 70 kV pada saat lepasnya motor M553MD01. Pada grafik dapat dilihat bahwa pada pada detik 1 hingga detik ke 7s sistem bekerja pada frekuensi *steady state* 50,009 Hz, kemudian setelah lepasnya motor M553MD01 pada detik ke 7,022s frekuensi sistem mengalami kenaikan hingga 50,030 Hz kemudian mengalami osilasi hingga kembali bekerja pada frekuensi stabil 49,994Hz pada detik 10,175.

Dari grafik respon frekuensi diatas dapat dilihat bahwa pada saat lepasnya motor M553MD01, terjadi kenaikan frekuensi hingga 0,06%, kenaikan frekuensi ini diakibatkan oleh terjadinya ketidakseimbangan antara permintaan suplai daya ke beban dan suplai daya dari pembangkit. Pada saat lepasnya motor, jumlah suplai daya aktif dari pembangkit menjadi lebih tinggi dibanding jumlah beban yang disuplai pada sistem dikarenakan lepasnya motor secara tiba-tiba, mengakibatkan naiknya frekuensi sistem. Setelah itu frekuensi kembali turun karena peralatan kontrol pada pembangkit di sistem mengurangi daya bangkitannya sehingga sistem kembali stabil pada frekuensi 49,994 Hz. Adapun kenaikan frekuensi sebesar 0,06% ini tidak membahayakan sistem karena tidak melewati batas toleransi yang diizinkan dan terjadi dalam waktu yang singkat.

V. KESIMPULAN

1. Setelah on-grid dengan PLN semua busbar yang berada di pabrik PT. Semen Tonasa berada dalam kondisi stabil, memenuhi batas-batas toleransi tegangan yang diperbolehkan yaitu -10% hingga +5%, Adapun losses pada sistem kelistrikan PT. Semen Tonasa yaitu sebesar 1,2 MW untuk daya aktif dan 4,3 MVAR untuk daya reaktif.

2. Frekuensi sistem kelistrikan PT. Semen Tonasa pada saat starting motor berkapasitas besar mengalami penurunan hingga 49,924 Hz dengan persentase penurunan sebesar 0,2%, namun penurunan frekuensi ini tidak membahayakan sistem karena masih berada dalam rentang frekuensi yang diizinkan yaitu $\pm 1\%$. Adapun ketika dilakukan starting 2 motor secara bersamaan frekuensi sistem mengalami penurunan hingga 49,875 Hz dengan persentase 0,3%, dan membuat sistem terus beresilasi namun masih dalam rentang frekuensi yang diizinkan.
3. Ketika lepasnya motor berkapasitas besar sistem kelistrikan PT. Semen Tonasa mengalami kenaikan frekuensi hingga 50,030 Hz dengan persentase kenaikan sebesar 0,06%, Adapun kenaikan frekuensi ini tidak membahayakan sistem karena tidak melewati batas frekuensi yang diizinkan yaitu 51 Hz.

VI. REFERENSI

- Abdulraheem, B. S., & Gan, C. K. (2016). Power System Frequency Stability and Control: Survey. *International Journal of Applied Engineering Research*, 11, 5688-5695.
- Das, J. C. (2010). *Transient in Electrical Systems, Analysis, Recognition, and Mitigation*. US: McGraw-Hill Professional.
- Faruq, U., Ridho, A., Vrayulis, M., & Julio, E. (2021). Analisa Aliran Daya pada Sistem Tenaga Listrik menggunakan ETAP 12.6. *SainETIn (Jurnal Sain, Energi, Teknologi & Industri)*, 6, 16-22.
- Fathurochman, A. (2016). *Analisis Stabilitas Transien Dan Tegangan Pada Sistem Tenaga Listrik Akibat Instalasi Pembangkitan Terdistribusi*. Tugas Akhir. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Febrianto, R. (2017). *Analisis Kestabilan Transien Dan Mekanisme Pelepasan Beban Di Pt. Pertamina Ru Iv Cilacap Akibat Integrasi Dengan PLN*. Tugas Akhir. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Hasibuan, A., Isa, M., Yusoff, M. I., & Abdul Rahim, S. R. (2020). Analisa Aliran Daya Pada Sistem Tenaga Listrik Dengan Metode Fast Decoupled Menggunakan Software Etap. *RELE (Rekayasa Elektrikal Dan Energi): Jurnal Teknik Elektro*, 3, 37-45.
- IEEE. (1987). Guide for Abnormal Frequency Protection for Power Generating Plants. *IEEE Std C37.106*. 1-32.
- Kundur, P. (1994). *Power System Stability and Control*. New York: McGraw-Hill, Inc.
- Marsudi, D. (2011). *Pembangkitan Energi Listrik*. Yogyakarta: Erlangga.

- Murtopo, S. A. (2015). *Analisis Kestabilan Transien Dan Koordinasi Proteksi Pada Pt. Kaltim Methanol Industri Akibat Integrasi Dengan Sistem 11 Kv Pt. Kaltim Daya Mandiri*. Tugas Akhir. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Nugraheni, A. (2011). *Simulasi Pelepasan Beban Dengan Menggunakan Rele Frekuensi Pada Sistem Tenaga Listrik Cnooc Ses Ltd*. Tugas Akhir. Depok: Universitas Indonesia.
- PT. SemenTonasa. (2021). *Profil Perusahaan PT. SemenTonasa.(Online)*.<https://www.sementonasa.co.id/profil-perusahaan/>. Diakses pada 15 April 2022
- PT.PLN. (2022). *Pasokan Listrik Andal dan Efisien, PT Semen Tonasa Tingkatkan Kerja Sama dengan PLN. 2022. (Online)*.<https://web.pln.co.id/media/siaranpers/2022/03/pasokan-listrik-andal-dan-efisien-ptsemen-tonasa-tingkatkan-kerja-sama-dengan-pln?>. diakses pada 25 April 2022
- Samodra, G. (2018). *Analisis Stabilitas Sistem Kelistrikan Kalimantan Dan Jawa 500 Kv Dc Menggunakan Time Domain Simulation*. Tugas Akhir. Surabaya: Institut Teknologi sepuluh Nopember.
- Saputra, R. (2021). *Regulasi Frekuensi Sistem* .
<https://id.linkedin.com/pulse/regulasi-frekuensi-sistem-riko-saputra>. diakses pada 26 Mei 2023
- Sepriawan, D. Y. (2014). *Analisis Stabilitas Transien Dan Perancangan Pelepasan Beban Pada Joint Operation Body (Job) Pertamina-Petrochina East Java*. Tugas Akhir. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Supripto, S. (2016). *Sistem Tenaga Listrik*. Yogyakarta: Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Weedy B.M. (1967). *Electric Power Systems* (2nd ed.). New York: A Wiley Trans.