

# ANALISIS PENGARUH PERUBAHAN BEBAN TERHADAP KARAKTERISTIK GENERATOR DI PLTMGG SUMBAGUT 2 PEAKER 250 MW

M. Hafiz, F. I. Sitorus<sup>1</sup>, Andik Bintoro<sup>1</sup>, Asran<sup>1</sup>, Fetty Zulyanti<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh  
Jln. Batam No. 16 Kampus Bukit Indah Muara Satu - Lhokseumawe.

<sup>2</sup> Teknik Sipil Universitas Baturaja  
Jln. Ratu penghulu – Sumatera Selatan  
E-mail :andik@unimal.ac.id

**Abstrak**—Generator sinkron adalah mesin sinkron pengubah energi mekanik menjadi energi listrik yang memiliki frekuensi putar rotor sama dengan frekuensi tegangan yang dibangkitkan. Hampir semua energi listrik di Indonesia dibangkitkan dengan menggunakan generator sinkron, sehingga keberadaannya sangat berpengaruh terhadap kontinuitas pelayanan. Salah satu faktor yang mempengaruhi karakteristiknya adalah perubahan beban generator. Pada penelitian ini dilakukan beberapa skenario simulasi menggunakan perangkat lunak ETAP 12.6 yang menginterpretasikan gangguan dilapangan untuk melihat seberapa besar pengaruh perubahan beban terhadap karakteristik generator sinkron pada pembangkit di SUMBAGUT 2 PEAKER POWER PLANT 250 MW. Berdasarkan hasil simulasi di diketahui bahwa pada saat terjadi gangguan *Load Ramp* sebesar 10% selama 2 detik dalam keadaan beban minimum terlihat bahwa kecepatan generator turun hingga 80% dikarenakan lonjakan daya yang begitu besar terjadi secara tiba-tiba. Pada percobaan gangguan hilangnya beban terlihat seluruh parameter pada generator mengalami *collaps* dan tidak mampu kembali dalam keadaan stabil. Dan pada saat generator 1 mengalami gangguan kehilangan eksitasi, maka generator 2 menaikkan arus eksitasinya hingga mencapai 1,8 pu dari keadaan normal 1,2 pu agar tetap bisa menyuplai beban secara kontinyu dan mempertahankan kestabilan sistem. gangguan dilapangan sangat mempengaruhi parameter pada generator.

**Keywords**— karakteristik, Generator, *Transient stability*, *Load Ramp*, *Lost Excitation*

## I. PENDAHULUAN

Generator sinkron merupakan alat listrik yang berfungsi mengkonversikan energi mekanis berupa putaran menjadi energi listrik. Energi mekanis berupa putaran tersebut dihasilkan oleh penggerak mula (*prime mover*) yang dapat berupa turbin, mesin diesel, baling- baling dan lain-lain. Sedangkan energi listrik dikeluarkan oleh kumparan jangkar generator. Generator yang biasa digunakan dalam sistem

pembangkitan adalah jenis generator sinkron atau serempak dimana tegangan dan frekuensi yang dihasilkan sesuai dengan kecepatan putarnya, sehingga diperlukan putaran yang konstan untuk menghasilkan tegangan dan frekuensi yang juga konstan. Untuk mendapatkan tegangan dan frekuensi yang konstan pada terminal generator maka arus jangkar dan sudut daya harus tetap pula. Besarnya perubahan beban generator perlu diketahui dan disesuaikan dengan kemampuan generator sehingga kestabilan kinerja generator dapat tercapai [1].

Seiring dengan perkembangan teknologi yang semakin meningkat, kebutuhan akan tenaga listrik setiap hari juga semakin meningkat. Tenaga listrik yang dibutuhkan oleh konsumen setiap harinya tidak tetap. Hal ini akan menyebabkan beban yang diterima oleh generator akan berubah-ubah sehingga akan mempengaruhi sistem kelistrikannya sendiri [2].

Dalam pembangkitan GGL induksi pada generator sinkron dibutuhkan arus penguatan (eksitasi) untuk mengatur kuat medan magnet pada kutub-kutub generator yang terletak pada rotor. “Sistem penguatan medan magnet (*excitation*) berfungsi mengendalikan output berupa tegangan, arus dan daya reaktif dari generator agar tetap stabil pada beban sistem yang fluktuatif dengan cara mengatur besaran-besaran input untuk mencapai titik keseimbangan baru” [3].

## II. DASAR TEORI

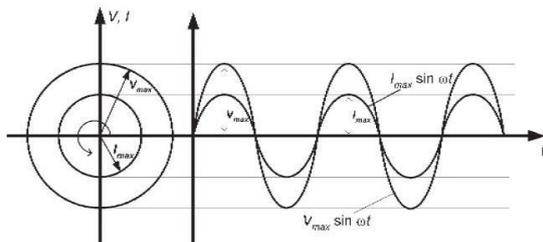
### A. Generator

Generator sinkron (*alternator*) adalah mesin listrik yang digunakan untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik dengan perantara induksi medan magnet. Dikatakan generator sinkron karena jumlah putaran rotornya sama dengan jumlah putaran medan magnet pada stator. Kecepatan sinkron ini dihasilkan dari kecepatan putar rotor dengan kutub – kutub magnet yang berputar dengan kecepatan yang sama dengan medan putar pada stator. Mesin ini tidak dapat dijalankan sendiri karena kutub – kutub rotor tidak dapat tiba – tiba mengikuti kecepatan medan putar pada waktu sakelar terhubung dengan jala – jala [4].

**B. Prinsip kerja generator Sinkron**

Generator dapat menghasilkan energi listrik karena adanya pergerakan relatif antaran medan magnet homogen terhadap kumparan jangkar pada generator (magnet yang bergerak dan kumparan jangkar diam, atau sebaliknya magnet diam sedangkan kumparan jangkar bergerak). Jadi, jika sebuah kumparan diputar pada kecepatan konstan pada medan magnet homogen, maka akan terinduksi tegangan sinusoidal pada kumparan tersebut. Medan magnet homogen ini bisa dihasilkan oleh kumparan yang dialiri arus DC atau oleh magnet tetap. Hukum tangan kanan berlaku pada generator dimana menyebutkan bahwa terdapat hubungan antara penghantar bergerak, arah medan magnet, dan arah resultan dari aliran arus yang terinduksi. Apabila ibu jari menunjukkan arah gerakan penghantar, telunjuk menunjukkan arah fluks, jari tengah menunjukkan arah aliran elektron yang terinduksi. Hukum ini juga berlaku apabila magnet sebagai pengganti penghantar yang digerakkan[5].

Gambar 2. 1 Gelombang tegangan bolak-balik



Grafik arus dan tegangan sebagai fungsi waktu

Prinsip kerja dari generator sinkron dapat dinyatakan sebagai berikut :

- Rotor disuplai dengan arus DC  $I_f$  yang kemudian menghasilkan fluks magnet  $\phi$
- Rotor digerakkan oleh turbin dengan kecepatan konstan sebesar  $n_s$ .
- Garis gaya magnet bergerak menginduksi kumparan pada stator.
- Frekuensi dari tegangan generator tergantung dari kecepatan putaran rotor yang dapat dinyatakan dengan persamaan :

**C. Sistem Eksitasi pada Generator Sinkron**

Eksitasi atau penguatan medan merupakan bagian yang penting dari sebuah generator sinkron. Tidak hanya untuk menjaga tegangan terminal tetap konstan tetapi juga harus merespon terhadap perubahan beban yang tiba-tiba[6].

Eksitasi pada generator sinkron adalah pemberian arus searah pada belitan medan yang terdapat pada rotor. Sesuai dengan prinsip elektromagnet, apabila suatu konduktor yang berupa kumparan yang dialiri listrik arus searah maka kumparan tersebut akan menjadi magnet sehingga akan menghasilkan fluks-fluks magnet. Apabila kumparan medan yang telah diberi arus eksitasi diputar dengan kecepatan tertentu, maka kumparan jangkar yang terdapat pada stator akan terinduksi oleh fluks-fluks magnet yang dihasilkan oleh kumparan medan sehingga akan menghasilkan tegangan

bolak-balik. Besarnya tegangan yang dihasilkan tergantung kepada besarnya arus eksitasi dan putaran yang diberikan pada rotor. Semakin besar arus eksitasi dan putaran, maka akan semakin besar tegangan yang dihasilkan oleh sebuah generator[7].

Sistem ini merupakan sistem yang vital pada proses pembangkitan listrik. Pada perkembangannya, sistem eksitasi pada generator listrik ini dapat dibedakan menjadi 2 macam, yaitu :

1. Sistem eksitasi dengan menggunakan sikat (*brush excitation*)
2. Sistem eksitasi tanpa sikat (*brushless excitation*).

Sistem eksitasi mempunyai berbagai fungsi. Fungsi tersebut antara lain :

- a. Mengatur tegangan keluaran generator agar tetap konstan (stabil).
- b. Mengatur besarnya daya reaktif.
- c. Menekan kenaikan tegangan pada pelepasan beban (load rejection).

Sistem yang banyak digunakan saat ini baik dengan generator sinkron tipe kutub sepatu (*salient pole*) maupun tipe rotor silinder (*non-salient pole*) adalah sistem tanpa sikat. Pengeksitasi ac mempunyai jangkar yang berputar, keluarannya kemudian disearahkan oleh penyearah dioda silikon yang juga dipasang pada poros utama.

Keluaran yang telah disearahkan dari pengeksitasi ac, diberikan langsung dengan hubungan yang diisolasi sepanjang poros ke medan generator sinkron yang berputar. Keluaran dari pengeksitasi ac, dan berarti tegangan yang dibangkitkan oleh generator sinkron, dapat dikendalikan dengan mengubah kekuatan medan pengeksitasi ac. Jadi sistem eksitasi tanpa sikat tidak mempunyai komutator, cincin-slip atau sikat-sikat yang sangat menyederhanakan pemeliharaan mesin.

Setelah generator ac mencapai kepesatan yang sebenarnya oleh penggerak mulanya, medannya dieksitasi dari catu dc. Ketika kutub lewat di bawah konduktor jangkar yang berada pada stator, fluksi medan yang memotong konduktor menginduksikan ggl kepadanya. Ini adalah ggl bolak-balik, karena kutub dengan polaritas yang berubah-ubah terus-menerus melewati konduktor tersebut. Karena tidak menggunakan komutator, ggl bolak-balik yang dibangkitkan keluar pada terminal lilitan stator. Besarnya ggl yang dibangkitkan bergantung pada laju pemotongan garis gaya; atau dalam hal generator, besarnya ggl bergantung pada kuat medan dan kepesatan konstan, maka besarnya ggl yang dibangkitkan menjadi bergantung pada eksitasi medan. Ini berarti bahwa besarnya ggl yang dibangkitkan dapat dikendalikan dengan mengatur besarnya eksitasi medan yang dikenakan pada medan generator.

$$f = p^2 \times n60 = p n120$$

- dimana : f = frekuensi (Hz)  
p = jumlah kutub  
n = kecepatan putaran rotor (rpm)

Adapun besar GGL induksi kumparan stator atau GGL induksi armatur per fasa adalah :

$$E_a / \phi h = 4,44. f. M. \phi. K_d$$

dimana :  $E_a$  = Gaya gerak listrik armatur per fasa (volt)

- f = Frekuensi output generator (Hz)
- M = Jumlah kumparan per fasa
- Z = Jumlah konduktor seluruh slot per fasa
- Kd = Faktor distribusi. Hal ini diperlukan karena kumparan armatur atau alternator tidak terletak di dalam satu slot melainkan terdistribusi dalam beberapa slot per fasa
- $\phi$  = Flux magnet per kutub per fasa

**D. ETAP**

ETAP (*Electric Transient and Analysis Program*) merupakan suatu perangkat lunak yang mendukung sistem tenaga listrik. Perangkat ini mampu bekerja dalam keadaan offline untuk simulasi tenaga listrik, online untuk pengelolaan data *real-time* atau digunakan untuk mengendalikan sistem secara *real-time*. Fitur yang terdapat didalamnya pun bermacam-macam antara lain fitur yang digunakan untuk menganalisa pembangkitan tenaga listrik, sistem transmisi maupun sistem distribusi tenaga listrik. Pada penelitian ini, akan dilakukan pemodelan system pembangkitan tenaga listrik untuk di analisa pengaruhnya terhadap generator. Perangkat lunak yang bisa digunakan untuk simulasi sistem tenaga listrik salah satunya adalah Etap 12.6.0. Perangkat lunak tersebut dikembangkan oleh perusahaan operation technology inc, dan mengalami perubahan versi dari tahun ke tahun.



Gambar 2. 2 Aplikasi ETAP

Analisa tegangan yang dapat dilakukan ETAP:

1. Analisa aliran daya
2. Analisa hubung singkat
3. Arc flash analisis
4. Analisa kestabilan transient

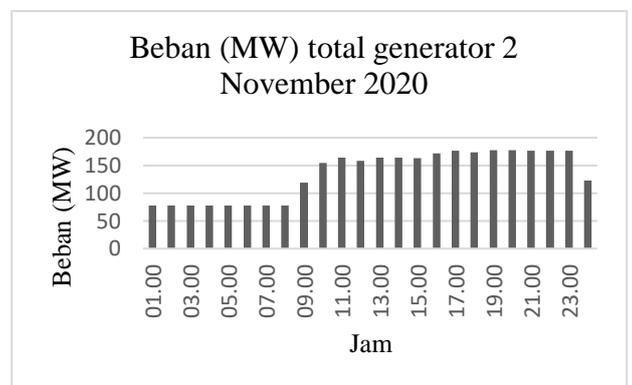
Dalam menganalisa tenaga listrik, suatu diagram saluran tunggal (*single line diagram*) merupakan notasi yang disederhanakan untuk sebuah sistem tenaga listrik tiga fasa. Sebagai ganti dari representasi saluran tiga fasa yang terpisah, digunakanlah sebuah konduktor. Hal ini memudahkan dalam pembacaan diagram maupun dalam analisa rangkaian. Elemen elektrik seperti misalnya pemutus rangkaian, transformator, kapasitor, bus bar maupun konduktor lain dapat ditunjukkan dengan menggunakan simbol yang telah distandardisasi untuk diagram saluran tunggal.

Elemen pada diagram tidak mewakili ukuran fisik atau lokasi dari peralatan listrik, tetapi merupakan konvensi

umum untuk mengatur diagram dengan urutan kiri-ke-kanan yang sama, atas-ke-bawah, sebagai saklar atau peralatan lainnya diwakili. Dalam menganalisa tenaga listrik, suatu diagram saluran tunggal (*single line diagram*) merupakan notasi yang disederhanakan untuk sebuah sistem tenaga listrik tiga fasa. Sebagai ganti dari representasi saluran tiga fasa yang terpisah, digunakanlah sebuah konduktor. Hal ini memudahkan dalam pembacaan diagram maupun dalam analisa rangkaian. Elemen elektrik seperti misalnya pemutus rangkaian, transformator, kapasitor, bus bar maupun konduktor lain dapat ditunjukkan dengan menggunakan simbol yang telah distandardisasi untuk diagram saluran tunggal. Elemen pada diagram tidak mewakili ukuran fisik atau lokasi dari peralatan listrik, tetapi merupakan konvensi umum untuk mengatur diagram dengan urutan kiri-ke-kanan yang sama, atas-ke-bawah, sebagai saklar atau peralatan lainnya diwakili.

**III. ANALISA DAN PEMBAHASAN**

**A. Proses Penaikan dan Penurunan Beban Generator**

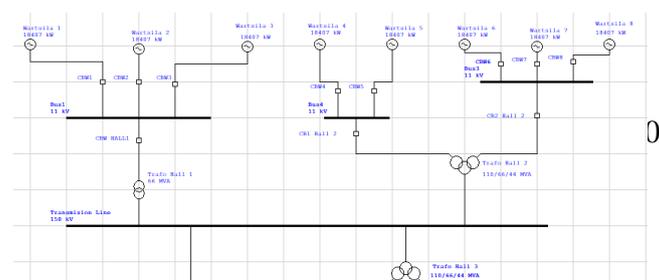


Gambar 3. 1 penaikan dan penurunan beban

Beban generator bersifat sangat fluktuatif. Proses penaikan dan penurunan beban pada generator ini disebabkan karena permintaan energi listrik yang diatur oleh PLN. Umumnya beban tinggi terjadi pada pukul 09.00 – 23.00 WIB dimana pada rentang waktu ini masyarakat secara bersamaan menghidupkan peralatan listrik. Di luar jam tersebut umumnya pembangkit tidak bekerja penuh dari kapasitas yang ada.

Sistem kelistrikan PLTMG Sumbagut 2 Peaker terhubung dengan sistem interkoneksi pulau Sumatera sehingga listrik yang disalurkan terhubung ke beberapa daerah dan beberapa GI. Apabila suatu daerah kekurangan pasokan daya listrik maka pembangkit lain yang mempunyai kapasitas lebih akan menyalurkan ke daerah tersebut. Sistem interkoneksi diatur oleh PLN dengan melihat pemakaian beban fluktuatif masyarakat di setiap daerah.

**B. Simulasi Generator dengan perangkat lunak ETAP 12.6**

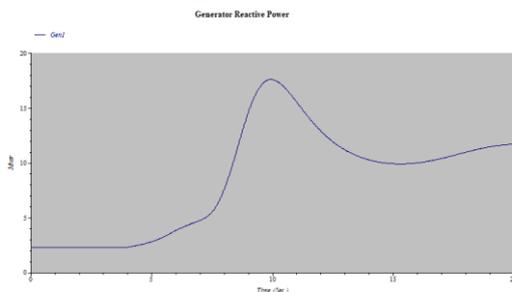


Gambar 3.3 Pemodelan Generator

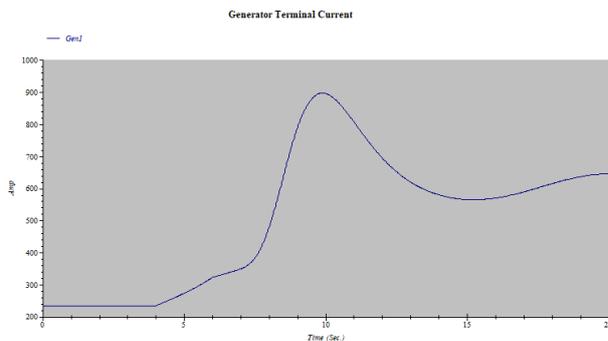
Simulasi yang dilakukan pada generator menggunakan perangkat lunak ETAP 12.6 dimana generator yang dimodelkan adalah generator sinkron 3 fasa bertipe Wartsilä (18V50SG) 21,655 MVA.

Spesifikasi generator pada simulasi berbeda dengan spesifikasi generator PLTMG Sumbagut 2 Peaker. hal ini dikarenakan keterbatasan data parameter generator,. Namun pada prinsipnya, cara kerja generator pada simulasi ini sama dengan generator di PLTMG Sumbagut 2 Peaker 250MW

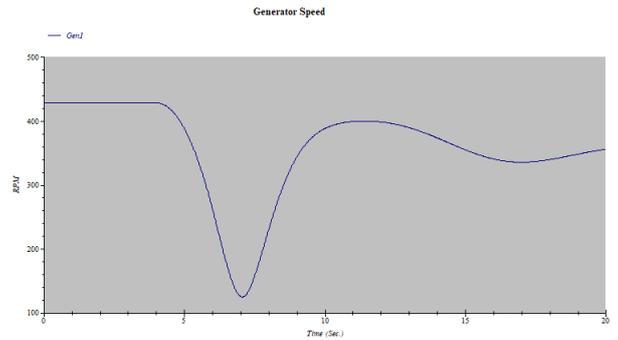
**C. Simulasi Transient Stability dengan skenario Load Ramp**



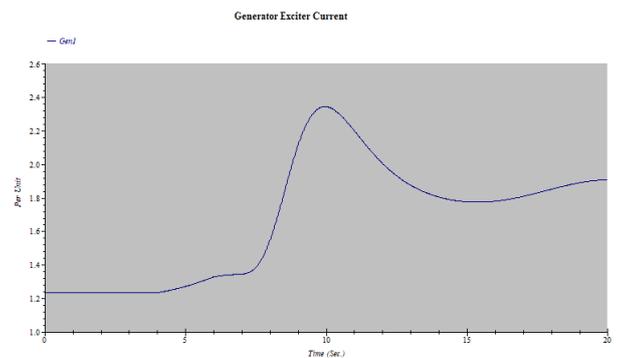
Gambar 3.4 daya reaktif



Gambar 3.5 Arus terminal



gambar 3.6 Kecepatan Generator

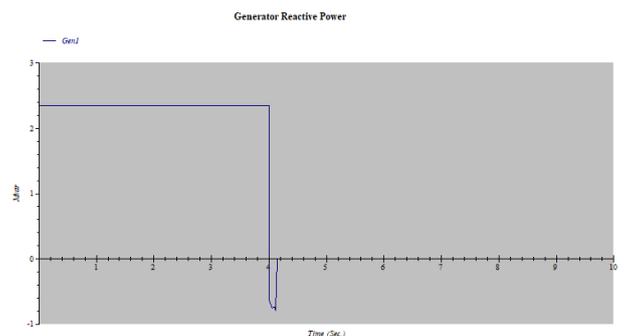


Gambar 3.7 Arus eksitasi

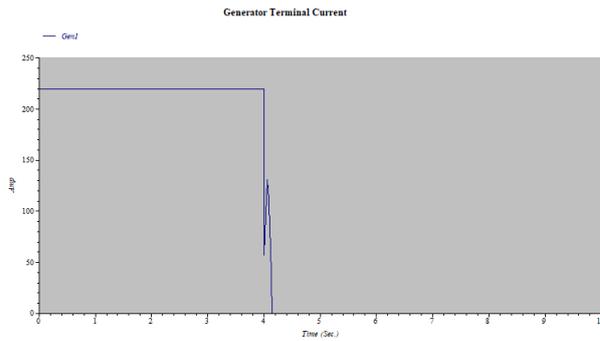
Pada simulasi load ramp beban minimum hasil dari output software ETAP 12.6 memperlihatkan bahwa perubahan parameter dari keadaan beban maksimum tidak mengalami perubahan karakteristik yang signifikan dan cenderung mengalami proses yang sama. Baik dari kecepatan generator, arus, dan arus eksitasi.

Perubahan beban berbanding lurus mempengaruhi arus beban generator, arus eksitasi, dan kecepatan generator Sejalan dengan Hukum Ohm, maka ketika terjadi perubahan beban, arus bebannya akan meningkat karena resistansi penghantar yang tidak berubah serta tegangannya tetap.

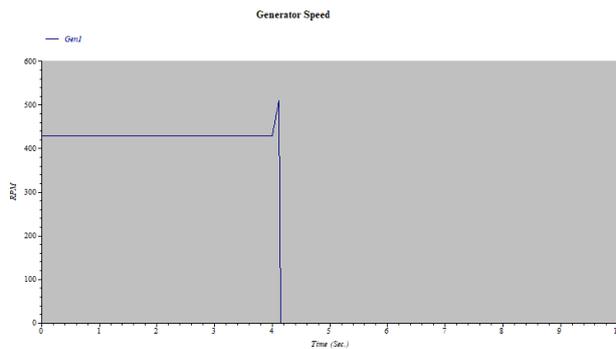
**D. Simulasi Transient Stability dengan skenario Lepas Beban**



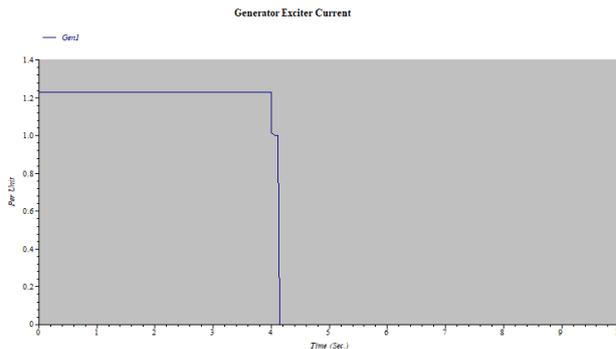
gambar 3.8 Daya reaktif



Gambar 3.9 Arus terminal



gambar 3.10 Kecepatan Generator



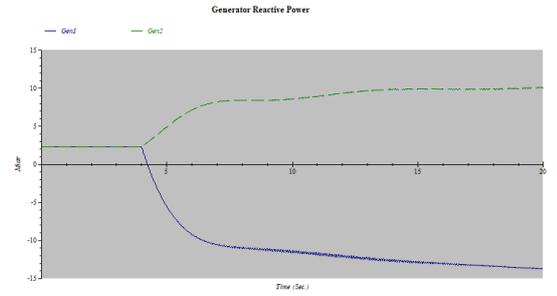
gambar 3.11 arus eksitasi

Pada simulasi Transient Stability pelepasan beban terlihat di keseluruhan parameter mengalami penurunan nilai menuju nol. Dikarenakan pada skenario ini disimulasikan terjadinya gangguan pada jalur beban sehingga menyebabkan hilangnya keseluruhan beban.

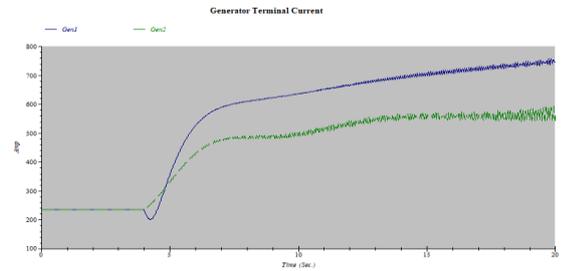
Dapat dilihat dari grafik yang ditampilkan pada gambar 3. 8 sampai 3. 11 generator tidak mampu bertahan padasaat mengalami gangguan kehilangan beban.

Dengan kata lain pada skenario ini generator mengalami *collaps*. Tentu saja hal ini sangat berbahaya dan harus selalu di antisipasi guna mengurangi resiko kerusakan dan meningkatkan masa pakai generator.

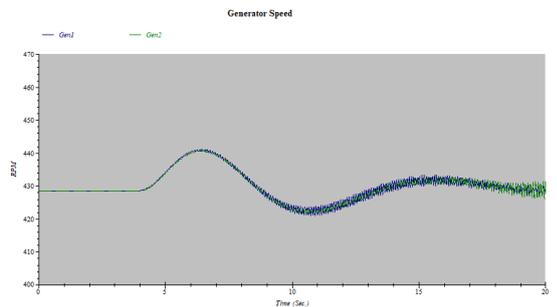
**E. Simulasi Transient Stability dengan skenario Lost Excitation pada generator**



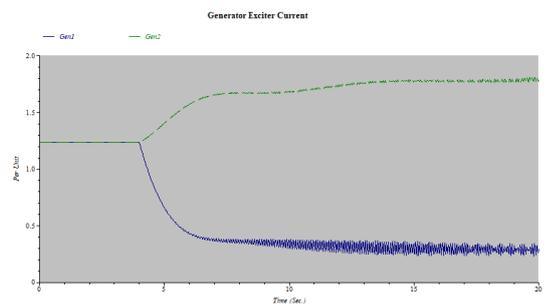
gambar 3.12 Daya reaktif



Gambar 3.13 Arus terminal



Gambar 3.14 kecepatan generator



Gambar 3.15 Arus eksitasi

perbandingan daya antara generator 1 dan generator 2 dimana pada waktu 4 sekon generator 1 mengalami penurunan daya secara drastis hingga menuju 0. Hal ini diakibatkan karena generator 1 mengalami kehilangan arus eksitasi yang disebabkan oleh gangguan.

Akan tetapi pada generator 2 pada saat generator 1 mengalami gangguan kehilangan eksitasi generator 2 justru mengalami kenaikan daya yang berbanding terbalik dengan generator 1. Hal ini disebabkan kerana generator 2 mendapat beban berlebih akibat kegagalan eksitasi pada generator 1.

dapat dilihat bahwa pada saat generator satu kehilangan eksitasi, generator dua juga ikut mengalami perubahan kecepatan secara serentak dimulai dari waktu 4 sekon dan naik pada puncak tertinggi pada waktu 5 sekon yang kemudian terus bergerak turun menuju keadaan stabil.

Dalam skenario ini memperlihatkan perbandingan kecepatan antara generator 1 dan generator 2. jika salah satu generator mengalami kehilangan eksitasi hanya mempengaruhi kecepatan putaran generator lain dan parameter lainnya tetap.

#### IV. KESIMPULAN

Setelah melakukan penelitian dan menganalisa data-data yang diperoleh selama melakukan penelitian di SUMBAGUT 2 PEAKER POWER PLANT 250 MW, maka penulis dapat menyimpulkan beberapa hal yaitu:

1. Perubahan beban sangat mempengaruhi karakteristik generator yang meliputi daya reaktif, arus, kecepatan, dan arus eksitasi. Terbukti pada keseluruhan simulasi yang telah dilakukan, perubahan beban akibat gangguan menyebabkan perubahan seluruh nilai parameter yang ada pada generator.
2. Untuk menjaga kestabilan kinerja generator pengaturan eksitasi yang dinamis adalah solusi mempertahankan generator tetap dalam kondisi stabil pada saat terjadi perubahan beban. Karena ketika terjadi lonjakan daya sebesar 19 Mvar pada generator 1 ketika simulasi *transient Stability Load Ramp*, arus eksitasi juga ikut naik pada waktu 2 detik setelah terjadi gangguan. Hal tersebut dikarenakan membutuhkan waktu untuk menyesuaikan keluaran arus eksitasi.
3. Percobaan simulasi *Transient Stability* dengan skenario generator *Lost Excitation* pada saat generator 1 mengalami gangguan kehilangan eksitasi, maka generator 2 secara otomatis menaikkan arus eksitasinya mencapai 1,8 pu dari keadaan normal 1,2 pu untuk tetap bisa menyuplai beban secara kontinyu dan mempertahankan kestabilan sistem.

#### V. REFERENSI

- [1] A. Annisa, W. Winarso, and W. Dwiono, "Analisis Pengaruh Perubahan Beban Terhadap Karakteristik Generator Sinkron," *J. Ris. Rekayasa Elektro*, vol. 1, no. 1, 2019, doi: 10.30595/jrre.v1i1.4928.
- [2] D. Ahmad Wahid, "Analisis Kapasitas Dan Kebutuhan Daya Listrik Untuk Menghemat Penggunaan Energi Listrik Di Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura," *J. Tek. Elektro UNTAN*, vol. 2, no. 1, p. 10, 2014.
- [3] S. Armansyah, "Pengaruh Penguatan Medan Generator Sinkron Terhadap Tegangan Terminal," *J. Tek. Elektro UISU*, vol. 1, no. 3, pp. 48–55, 2016.

- [4] H. Herudin and W. D. Prasetyo, "Rancang Bangun Generator Sinkron 1 Fasa Magnet Permanen Kecepatan Rendah 750 RPM," *Setrum Sist. Kendali-Tenaga-elektronika-telekomunikasi-komputer*, vol. 5, no. 1, p. 11, 2016, doi: 10.36055/setrum.v5i1.886.
- [5] Z. Anthony, *Mesin listrik dasar*. Padang, 2018.
- [6] A. Raikhani, T. Elektro, and I. Pendahuluan, "Penggunaan Exciter Sebagai Penguat Generator 25 MVA, 11KV Pada Trans Pacific Petrochemical Indotama ( TPPI ) Tasikharjo, Tuban," vol. 4, no. April, pp. 76–89, 2013.
- [7] P. Motor, S. Tiga, P. Tipe, S. Pole, and G. Sinkron, "PENGGUNAAN MOTOR SINKRON TIGA PHASA TIPE SALIENT POLE SEBAGAI GENERATOR SINKRON," vol. 9, no. 2, pp. 197–207, 2019.

