

Analisis Kestabilan Transien Dan Mekanisme Pelepasan Beban Di PT. Pusri Akibat Penambahan Generator Dan Penambahan Beban

Baghazta Akbar A, Margo Pujiantara, Daniar Fahmi

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya – 60111 Indonesia

e-mail: margo@ee.its.ac.id, daniar.fahmi@ee.its.ac.id

Abstrak — PT. Pusri Palembang adalah perusahaan yang didirikan sebagai produsen pupuk nasional yang juga bertanggung jawab dalam melaksanakan distribusi dan pemasaran pupuk bersubsidi untuk mendukung program pangan nasional. Untuk memenuhi kebutuhan produksi PT. Pusri Palembang melakukan penambahan pabrik baru. Maka untuk menjaga kontinuitas sistem kelistrikan yang ada diperlukan penambahan 1 unit pembangkit baru, pada mulanya ada 4 unit pembangkit yang beroperasi menjadi 5 unit pembangkit. Akibat penambahan pabrik baru ini, kestabilan transien pada plant belum dianalisis secara mendalam, sehingga perlu dilakukan studi stabilitas transien untuk mengetahui keandalan sistem saat terjadi gangguan transien. Pada penelitian ini akan dilakukan analisis kestabilan transien akibat generator lepas, *motor starting*, dan hubung singkat kemudian akan dilakukan perancangan mekanisme *load shedding* agar sistem mampu mempertahankan kestabilannya dan kontinuitas aliran daya tetap terjaga. Hasil simulasi menunjukkan bahwa saat salah satu generator *outage* pada case A dan saat generator PIB atau STG *outage* pada case B memerlukan mekanisme *load shedding*. Mekanisme *load shedding* yang dilakukan menggunakan standar frekuensi. Saat kasus hubung singkat pada bus SG-3301, SG-SB, dan STG_1 memerlukan mekanisme *load shedding*. Selain itu, kasus *motor starting* masih diperbolehkan saat 5 generator ON karena tidak memberikan efek yang signifikan pada respon tegangan, frekuensi, dan sudut rotor pada sistem.

Kata Kunci: Gangguan Transien, Kestabilan Transien, Pelepasan Beban.

I. PENDAHULUAN

SEIRING dengan perkembangan sistem tenaga listrik, masalah stabilitas pada sistem tenaga listrik menjadi hal yang utama untuk menjamin kontinuitas dan keandalan operasi dari suatu sistem tenaga listrik. Perkembangan sistem tenaga listrik baik pada beban maupun generator akan secara otomatis menimbulkan masalah-masalah baru yang menyangkut tentang masalah kestabilan sistem. Dalam suatu sistem atau *plant* yang besar, lebih dari dua generator yang bekerja secara bersamaan, kerugian besar mungkin dapat terjadi jika kontinuitas daya tidak stabil [1]. Suatu sistem dikatakan stabil ketika terdapat keseimbangan antara daya mekanik pada penggerak utama generator (*prime mover*) dengan daya output listrik. Daya output listrik sangat dipengaruhi oleh kenaikan dan penurunan beban dimana saat hal tersebut terjadi maka *prime mover* harus mampu menyesuaikan masukan daya input mekanik yang sesuai. Apabila pada saat yang sama *prime mover* tidak mampu

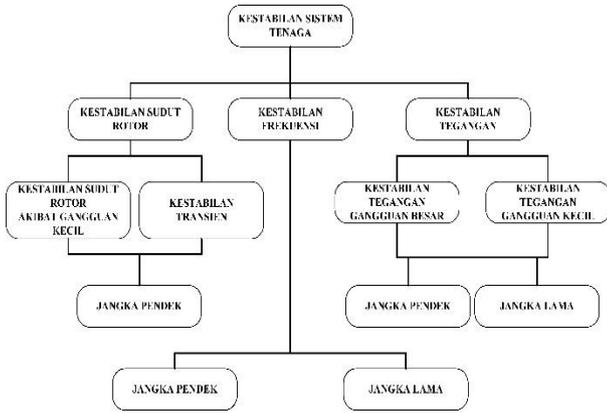
menyesuaikan dengan kondisi beban, hal ini dapat mengakibatkan sistem menjadi tidak stabil. Dalam keadaan setimbang maka generator berputar dengan kecepatan sinkron. Berdasarkan paper IEEE *Transactions on Power Systems* berjudul *Definition and Classification of Power System Stability*, kestabilan sistem tenaga listrik dikategorikan menjadi tiga, yaitu kestabilan frekuensi, sudut rotor, dan tegangan [2]. Definisi ini berlaku juga untuk sistem yang beroperasi dengan menginterkoneksi beberapa generator (*multimachine*) [3].

Gangguan transien sangat mempengaruhi stabilitas dari suatu sistem kelistrikan pada industri-industri besar sehingga perlu dianalisis lebih lanjut. Setelah dilakukan penambahan generator dan penambahan beban, PT. Pusri Palembang belum melakukan studi transien yang lebih mendalam. Sehingga dibutuhkan studi stabilitas transien untuk mengetahui kestabilan sistem saat terjadi gangguan transien. Berdasarkan paper referensi *Definition and Classification of Power System Stability*, maka pada penelitian ini dilakukan analisis yang meliputi kestabilan frekuensi, sudut rotor, dan tegangan [2]. Sedangkan perubahan yang akan terjadi pada sistem meliputi generator lepas, motor starting, dan hubung singkat. Pada penelitian ini juga akan dianalisis mekanisme pelepasan beban untuk mengatasi gangguan transien yang terjadi.

II. KESTABILAN TRANSIEN

A. Kestabilan Sistem Tenaga

Sistem tenaga listrik yang kompleks memiliki banyak beban-beban dinamis yang besar daya yang diserapnya sangat variasi dalam rentang waktu tertentu, dengan adanya perubahan ini pasokan daya yang disalurkan oleh generator harus sesuai dengan kebutuhan bebannya. Kestabilan sistem tenaga listrik secara umum dapat didefinisikan sebagai kemampuan dari suatu sistem tenaga listrik untuk mempertahankan keadaan sinkronnya pada saat dan sesudah terjadi gangguan. Definisi ini berlaku juga untuk sistem yang beroperasi dengan menginterkoneksi beberapa generator (*multimachine*). Ketika kondisi sistem tidak sinkron perlu dilakukan usaha untuk mengembalikan sistem menjadi sinkron setelah terjadi gangguan. Berdasarkan Paper IEEE *definition and classification of power system stability*, kestabilan sistem tenaga listrik dibagi menjadi tiga kategori, yaitu :



Gambar 1. Klasifikasi Kestabilan Sistem Tenaga

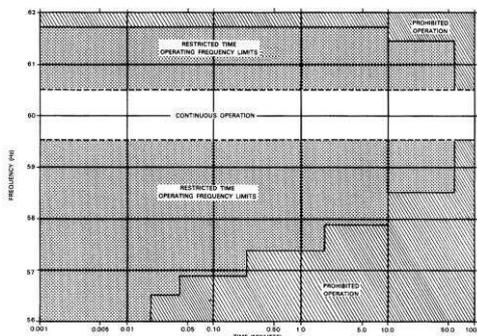
1. Kestabilan sudut rotor
Kestabilan sudut rotor merupakan kemampuan dari mesin sinkron yang terhubung dengan sistem untuk tetap sinkron setelah terjadi gangguan. Ketidakstabilan akan mengakibatkan naiknya sudut rotor yang berbeda-beda dari generator sehingga dapat mengakibatkan generator mengalami hilang sinkronisasi dengan generator lain [2].
2. Kestabilan frekuensi [1]
Kestabilan frekuensi merupakan kemampuan dari sistem tenaga mempertahankan frekuensi untuk tetap stabil ketika terjadi gangguan dan setelah terjadi gangguan. Biasanya gangguan ini berupa perubahan pembangkit atau bebanyang signifikan.
3. Kestabilan tegangan [1]
Kestabilan tegangan merupakan kemampuan dari sistem tenaga mempertahankan tegangan untuk tetap stabil pada semua bus setelah terjadi gangguan. Hal ini tergantung dari sistem untuk tetap mempertahankan keseimbangan antara suplai daya dan beban.

B. Kestabilan Transien

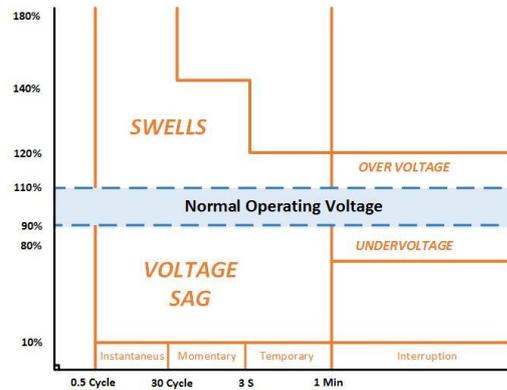
Kestabilan transien merupakan kemampuan dari sistem tenaga untuk mempertahankan sinkronisasi ketika mengalami gangguan transien. Gangguan transien ini berupa gangguan besar yang terjadi pada sistem seperti gangguan hubung singkat, *motor starting*, pelepasan beban serta penambahan beban secara tiba-tiba [2].

C. Standar yang Digunakan untuk Analisis Kestabilan Transien

Dalam menentukan suatu sistem tenaga listrik stabil atau tidak yaitu dengan mengevaluasi respon tegangan dan frekuensi sistem. Standart yang dipakai untuk menentukan sistem stabil atau tidak yaitu :



Gambar 2. Standar Frekuensi untuk Steam Turbin Generator (IEEEStdC37.106-2003)



Gambar 3. Definisi Voltage Magnitude Event berdasarkan Standar IEEE 1195-1995

D. Pelepasan Beban

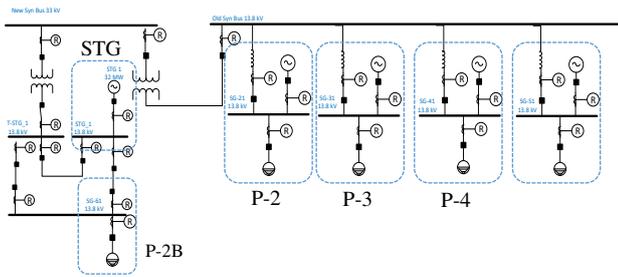
Pelepasan beban merupakan salah satu langkah untuk mempertahankan kestabilan. Jika terjadi gangguan seperti generator outage mengakibatkan daya yang tersedia tidak mampu melayani beban, sehingga untuk menjaga sistem tidak black out maka diperlukan pelepasan beban.

Ketika beban dalam kondisi kekurangan suplai daya, tidak diijinkan melepas beban secara besar-besaran. Terdapat dua skema pelepasan beban yang mengacu pada standar ANSI/IEEE C37.106-1987 [4], yaitu pelepasan beban tiga langkah dan pelepasan beban enam langkah.

III. SISTEM KELISTRIKAN PT. PUSRI PALEMBANG

PT Pusri Palembang mempunyai sistem kelistrikan yang besar dan kompleks. Pada kondisi awal sebelum diberi penambahan beban dan generator baru, PT Pusri Palembang memiliki tiga unit pembangkit dengan kapasitas 15 MW dan satu unit pembangkit dengan kapasitas 22,6 MW. Sistem kelistrikan di PT Pusri Palembang merupakan sistem kelistrikan *islanding*, yang saling terhubung dengan *synchronous bus* untuk menjaga keandalan dari sistem kelistrikan PT Pusri Palembang. *Islanding* tersebut terbagi atas Pusri 2, Pusri 3, Pusri 4, dan Pusri 1B.

Penambahan beban berupa Pusri 2B serta pembangkit STG-1 yang berkapasitas 38 MW membuat perubahan sistem kelistrikan pada PT PUSRI sehingga membutuhkan penambahan *synchronous bus* baru dengan kapasitas 33 kV untuk menghubungkan jaringan baru dan jaringan lama. *Powerplant* yang semula terbagi atas empat bagian, kini berubah menjadi lima bagian dengan adanya Pusri 2B. Pembangkit STG-1 ini mensuplai daya untuk Pusri 2B dan mengalirkan daya ke jaringan kelistrikan yang lama.



Gambar 2. Sistem Kelistrikan Baru PT. Pusri Palembang

IV. SIMULASI DAN ANALISIS

A. Studi Kasus Kestabilan Transien

Pada simulasi ini dilakukan analisis kestabilan transien dan mekanisme pelepasan beban di PT. Pusri Palembang akibat generator *outage*, *short circuit*, motor *starting*. Parameter-parameter yang perlu diperhatikan dalam penelitian ini adalah respon dari frekuensi, tegangan, dan sudut rotor pada sistem.

B. Simulasi Generator Outage

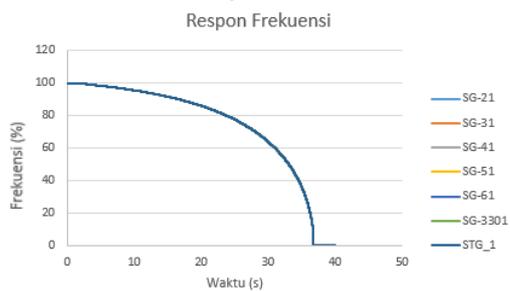
Terdapat 2 case untuk generator outage yaitu case A (saat plant P2B sudah terhubung dengan sistem, pembangkit STG belum) dan case B (saat plant P2B dan pembangkit STG terhubung)

Tabel 1. Studi kasus generator outage

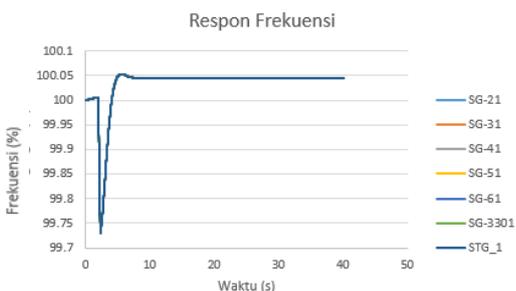
| Kasus | Keterangan |
|---------------|---|
| CASE A | Plant P2B terhubung, STG belum |
| Gen P-4 OFF | Generator P-4 <i>outage</i> dari sistem |
| CASE B | Plant P2b dan STG terhubung |
| Gen STG OFF | Generator STG <i>outage</i> dari sistem |

B.1 Studi kasus CASE A, Gen P-4 off

Pada kasus ini disimulasikan case A (STG belum terhubung) lepasnya generator P-4 dan dilanjutkan mekanisme *load shedding*.

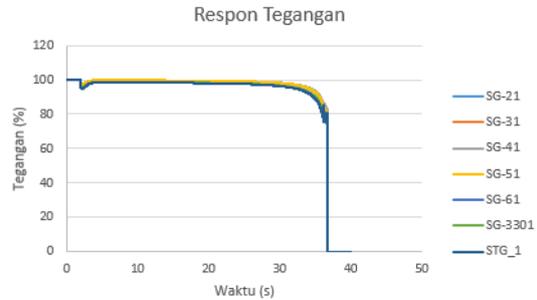


Gambar 3. Respon Frekuensi Saat Generator P-2 Outage dari Sistem

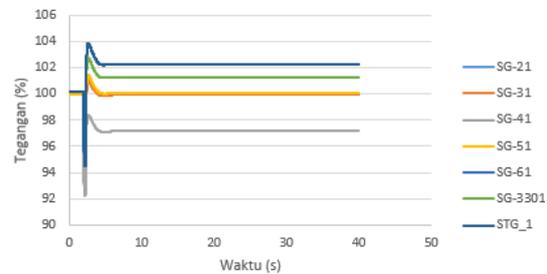


Gambar 4. Respon Frekuensi Saat Generator P-2 Outage dari Sistem dengan mekanisme *load shedding*

Gambar 3 menunjukkan ketika generator P-4 outage frekuensi terus menurun. Gambar 4 menunjukkan setelah dilakukan mekanisme *load shedding* sistem masih dapat mempertahankan kestabilannya. Penurunan frekuensi terendah 99,73% dan kembali steady state pada 100,04%. Berdasarkan kepada standar ANSI/IEEE C37.106-1987 [4] penurunan frekuensi yang terjadi pada studi kasus ini masih diperkenankan.



Gambar 5. Respon Tegangan Saat Generator P-4 Outage dari Sistem

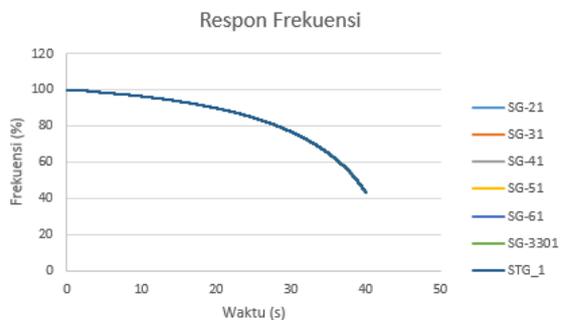


Gambar 6. Respon Tegangan Saat Generator P-4 Outage dari Sistem dengan mekanisme *load shedding*

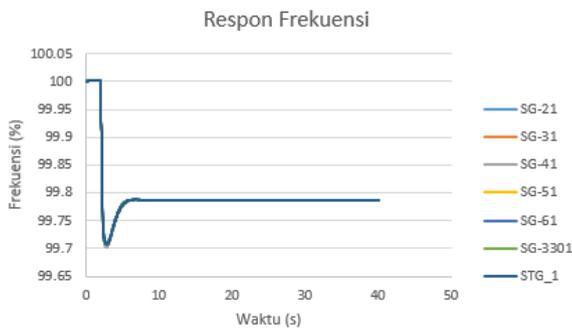
Gambar 5 menunjukkan ketika generator P-4 outage tegangan pada masing-masing bus terus turun. Gambar 6 menunjukkan tegangan pada masing-masing bus setelah dilakukan mekanisme *load shedding*, penurunan tegangan berada pada 90,86% - 96,23%. Kemudian sistem kembali stabil nilai tegangan antara 99,93% - 102,26%.

B.2 Studi kasus CASE B, Gen STG off

Pada kasus ini disimulasikan case B (STG terhubung) lepasnya generator STG dan dilanjutkan mekanisme *load shedding*.

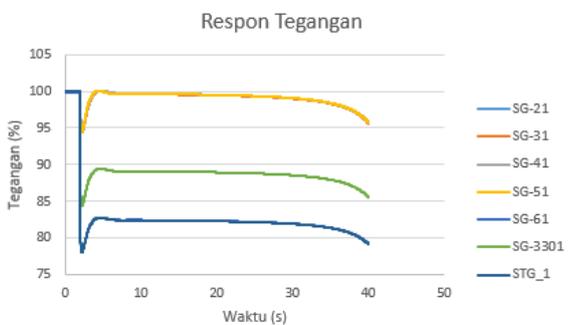


Gambar 7. Respon Frekuensi Saat Generator STG Outage dari Sistem

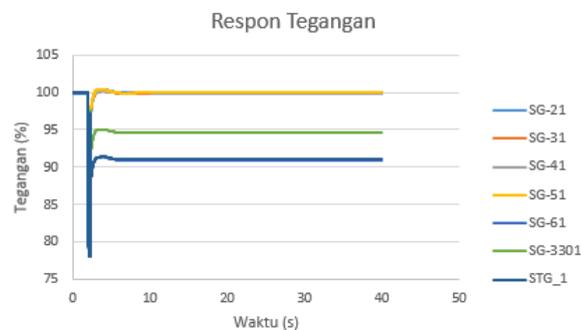


Gambar 8. Respon Frekuensi Saat Generator STG Outage dari Sistem dengan mekanisme *load shedding*

Gambar 7 menunjukkan ketika generator STG outage frekuensi terus menurun. Gambar 8 menunjukkan setelah dilakukan mekanisme *load shedding* sistem masih dapat mempertahankan kestabilannya. Penurunan frekuensi terendah 99,70% dan kembali steady state pada 99,78%. Berdasarkan kepada standar ANSI/IEEE C37.106-1987 [4] penurunan frekuensi yang terjadi pada studi kasus ini masih diperkenankan.



Gambar 9. Respon Tegangan Saat Generator STG Outage dari Sistem dengan mekanisme *load shedding*

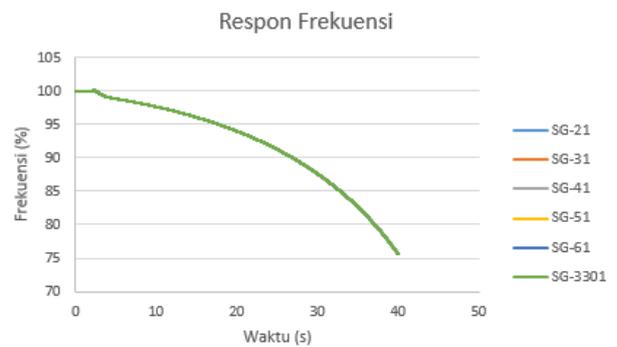


Gambar 10. Respon Tegangan Saat Generator STG Outage dari Sistem dengan mekanisme *load shedding*

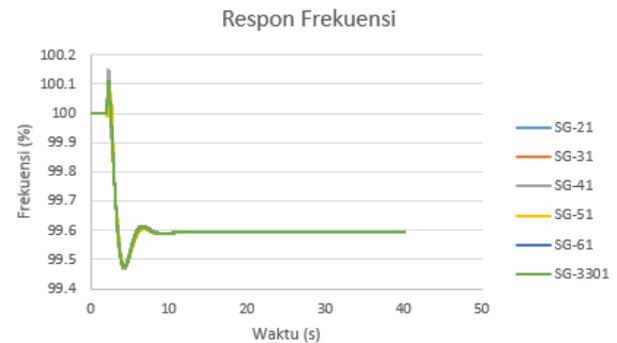
Gambar 9 menunjukkan ketika generator STG outage tegangan pada masing-masing bus terus turun. Gambar 10 menunjukkan tegangan pada masing-masing bus setelah dilakukan mekanisme *load shedding*, penurunan tegangan berada pada 78,12% - 94,50%. Kemudian sistem kembali stabil nilai tegangan antara 90,93% - 99,92%.

C. Simulasi Short Circuit

Simulasi kestabilan transien untuk studi kasus ketika terjadi *short circuit* pada Bus STG_1

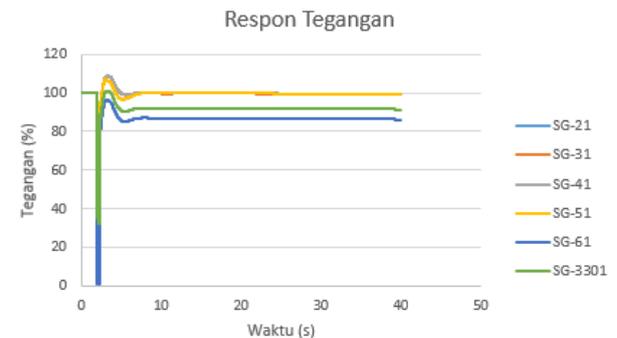


Gambar 11. Respon Frekuensi Saat Terjadi Gangguan Hubung Singkat di Bus STG_1

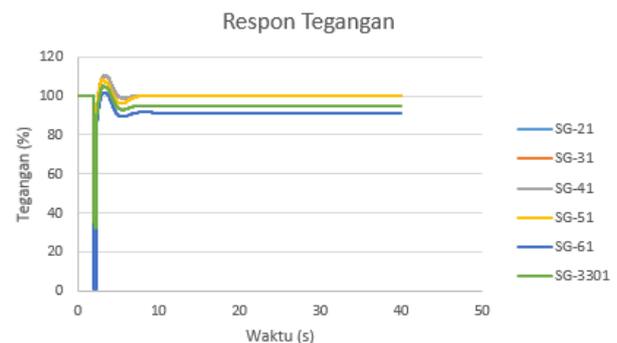


Gambar 12. Respon Frekuensi Saat Terjadi Gangguan Hubung Singkat di Bus STG_1 dengan mekanisme *load shedding*

Gambar 11 menunjukkan saat terjadi gangguan hubung singkat di bus STG_1 frekuensi terus menurun. Gambar 12 menunjukkan setelah dilakukan mekanisme *load shedding* sistem masih dapat mempertahankan kestabilannya. Penurunan frekuensi terendah 99,47% dan kembali steady state pada 99,59%. Berdasarkan kepada standar ANSI/IEEE C37.106-1987 [4] penurunan frekuensi yang terjadi pada studi kasus ini masih diperkenankan.



Gambar 13. Respon Tegangan Saat Terjadi Gangguan Hubung Singkat di Bus STG_1

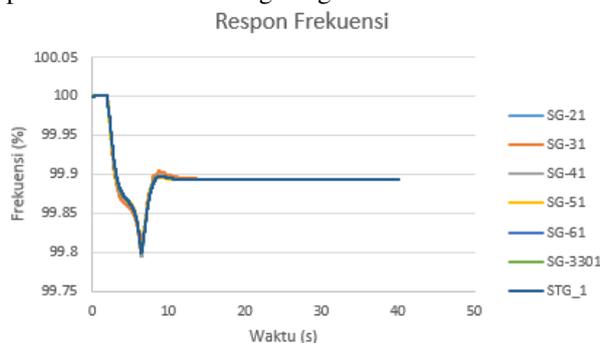


Gambar 14. Respon Tegangan Saat Terjadi Gangguan Hubung Singkat di Bus STG_1 dengan mekanisme *load shedding*

Gambar 13 menunjukkan tegangan saat terjadi gangguan hubung singkat di bus STG_1 masih sedikit beresilasi. Gambar 14 menunjukkan tegangan pada masing-masing bus setelah dilakukan mekanisme load shedding, penurunan tegangan berada pada 0,79% - 78,82%. Kemudian sistem kembali stabil nilai tegangan antara 91,35% - 99,87%. Kondisi tegangan sistem setelah dilakukan mekanisme *Load Shedding* pada saat studi kasus ini masih diperkenankan. Dengan kondisi koil kontaktor CB tidak dihubungkan dengan bus secara langsung melainkan dihubungkan dengan UPS atau sumber lain dan mengubah setting relay *undervoltage* menjadi lebih lama 0,2 s dari sebelumnya.

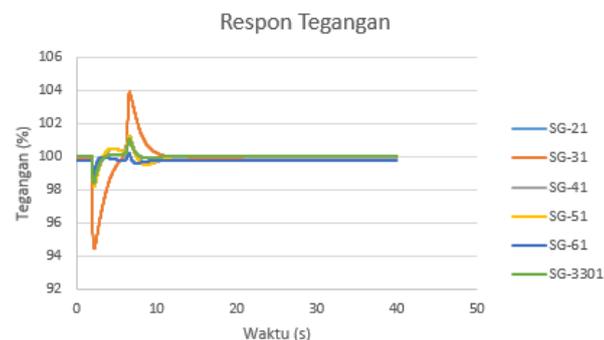
D. Simulasi Motor Starting

Simulasi kestabilan transien untuk studi kasus ketika terjadi *starting motor* dengan kapasitas yang terbesar. Pada kasus ini akan disimulasikan, motor dengan ID 101-J1' yang berkapasitas 2200 kW starting dengan metode *direct-online*.



Gambar 15. Respon Frekuensi Saat Starting Motor 101-J1'

Gambar 15 menunjukkan bahwa respon frekuensi bus pada saat 101-J1' start pada $t = 2$ s. Dari gambar menunjukkan bahwa frekuensi bus pada masing-masing level tegangan mengalami penurunan, akan tetapi sistem masih dapat mempertahankan kestabilannya. Penurunan frekuensi terendah mencapai 99,79% pada detik ke 6,3 s. Sistem kembali *steady state* pada 99,89% dari frekuensi normal. Berdasarkan kepada standar ANSI/IEEE C37.106-1987 [4] osilasi frekuensi yang terjadi pada studi kasus ini masih diperkenankan.



Gambar 16. Respon Tegangan Saat Starting Motor 101-J1'

Gambar 16 menunjukkan respon tegangan masing-masing bus pada saat 101-J1' start pada $t = 2$ s. Bus SG-21 mengalami penurunan tegangan hingga 98,30% dan kembali stabil pada 99,98%. Bus SG-31 mengalami penurunan tegangan hingga 94,44% dan kembali stabil pada 99,92%. Bus SG-41 mengalami penurunan tegangan hingga 98,27% dan kembali stabil pada 99,97%. Bus SG-51 mengalami penurunan tegangan hingga 98,17% dan kembali stabil pada 99,98%. Bus SG-61 mengalami penurunan tegangan hingga

98,77% dan kembali stabil pada 99,76%. Bus SG-3301 mengalami penurunan tegangan hingga 98,38% dan dan kembali stabil pada 100,01%. Bus STG_1 mengalami penurunan tegangan hingga 99,02% dan dan kembali stabil pada 99,99%. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa kondisi tegangan sistem pada saat studi kasus ini masih dalam batas aman.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari simulasi dan analisis pada penelitian ini, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- a) Dari 9 kasus lepasnya pembangkit sebelum dilakukan mekanisme *load shedding* dapat menyebabkan kondisi sistem kelistrikan yang berbahaya, yaitu 1 kasus menyebabkan *underfrequency* dan 5 kasus lainnya menyebabkan terjadi *underfrequency* dan *undervoltage*.
- b) Dari 4 kasus hubung singkat pada *plant* baru didapatkan bahwa kasus SC 1 (SG-3301) 33kV, SC 2 (SG-SB) 13,8kV, dan SC 4 (STG-1) 13,8 mengakibatkan sistem menjadi tidak stabil, sehingga tidak didapat kondisi *steady state*. Sedangkan pada kasus SC 3 (SG-61) menunjukkan bahwa respon tegangan, frekuensi, dan sudut rotor tetap stabil. Nilai tegangan antara 100,04%-100,42%, frekuensi 100,81%, dan sudut rotor beresilasi namun simpangannya tidak melebihi 90 derajat dan dapat stabil kembali. Nilai tersebut masih dalam batas standar yang diizinkan sehingga sistem masih aman.
- c) PT. Pusri Palembang sangat handal dalam hal *starting motor*. Penyalaan motor 2200 kW secara *direct online* saat 5 generator *ON* masih diizinkan karena tegangan dan frekuensi hanya mengalami penurunan yang sangat kecil. Penurunan frekuensi 0,10% dan penurunan tegangan 5,48% dari kondisi *steady state* serta sudut rotor mengalami sedikit osilasi namun masih dalam batas standar aman.

Saran yang dapat diberikan untuk memperbaiki sistem setelah melakukan analisis adalah sebagai berikut:

- a) Sebaiknya dalam perancangan pelepasan beban, beban-beban yang dilepas harus di dekat generator yang mengalami kasus *outage*/lepas.
- b) Untuk beberapa kasus lepasnya unit pembangkit yang mengakibatkan nilai tegangan bus mengalami penurunan hingga kurang dari 80%, perlu dilakukan setting rele pengaman (*undervoltage relay*) dengan delay waktu minimal sebesar total durasi waktu saat tegangan bus kurang dari 80% pada saat terjadi gangguan.
- c) Untuk kasus hubung singkat SC 1 (SG-3301) 33kV, SC 2 (SG-SB) 13,8kV, SC 3 (SG-61) dan SC 4 (STG-1) 13,8, saran kedepannya, nilai dari kedip tegangan (*voltage sag*) lebih diperhatikan agar tidak mempengaruhi kerja dari peralatan-peralatan elektronik atau peralatan control dalam pabrik/industri.
- d) Untuk kasus hubung singkat SC 1 (SG-3301) 33kV, SC 2 (SG-SB) 13,8kV, SC 3 (SG-61) dan SC 4 (STG-1) 13,8, perlu dilakukan setting rele pengaman (*undervoltage relay*) dengan delay waktu minimal sebesar total durasi waktu saat tegangan bus kurang dari 80% pada saat terjadi gangguan. Kontaktor *circuit breaker* dihubungkan dengan UPS atau sumber lain, tidak disarankan dihubungkan langsung dengan bus.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Grigsby, Leonard., "Power System Stability and Control, 3rd edition", CRC Press, Taylor and Francis Group, 2012.
- [2] IEEE/CIGRE Joint Task Force on Stability Terms and Definitions, "*Definition and Classification of Power System Stability*"IEEE Transactions on Power system , vol. 19, no. 2, may 2004.
- [3] Kundur, Prabha, "Power System Stability and Control", McGraw-Hill Companies Inc, 1994.
- [4] IEEE, "*Guide for Abnormal Frequency Protection for Power Generating Plants*", 1987. IEEE Std. C37.106-2003(Revision of ANSI/IEEE C37.106-1987).