

Studi *Load Shedding* pada Sistem Kelistrikan Pengeboran Minyak Lepas Pantai, Kasus di Perusahaan X

TRIWAHYU RUBIANTO¹, SYAHRIAL², WALUYO³

Jurusan Teknik Elektro – Institut Teknologi Nasional (Itenas) Bandung

Email: wahyu_sunday@yahoo.com

ABSTRAK

Perubahan beban yang signifikan pada sistem kelistrikan dapat menyebabkan suatu sistem berjalan diluar batas stabil, Sehingga stabilitas sistem pada sistem kelistrikan sangat diperlukan, hal itu merupakan tujuan dilakukannya pembahasan kasus ini. Untuk menanggulangi suatu sistem agar mencapai kestabilan tersebut dilakukan proses load shedding dengan mengambil beberapa contoh asumsi menggunakan software simulasi dengan setting batas kerja UFR pada sistem untuk melakukan load shedding yang ditujukan jika terjadi perubahan frekuensi diluar batas standar perusahaan, dengan cakupan analisa pada saat generator load flow beban normal, saat kondisi pemasukan beban terbesar yaitu 1500HP, dan saat salah satu generator mengalami trip di $t=1s$ dalam rentang waktu simulasi 100s, dengan melihat kinerja sistem dari sisi speed generator, perubahan frekuensi dengan melihat standar frekuensi yang diperbolehkan dengan rujukan dari pelepasan beban dari ANSI/IEEE C37 106-1987 dan perubahan tegangan dengan standard dari perusahaan adalah $\pm 10\%$. Hasil yang didapatkan saat GTG trip, UFR bekerja di 58,5Hz dan 58,2Hz dengan total pelepasan beban sebesar 2727,25Kw, dan steady state pada $t=80,011s$.

Kata kunci : Stabilitas sistem, Pengeboran minyak lepas pantai, Load Shedding.

ABSTRACT

In the Electrical System often occurs a change in load can cause a system goes beyond the limit of stability, because about that the stability system is important, so that the stability system must be need to be explain in here. To make system back to stabil, the load shedding can be use by taking a few examples of assumption with simulation is used software include setting UFR to make loadshedding work when GTG(01) collapse and frekuensi turn down. Desired results of this project used multiple data methods with the electrical systems associated look in to perform of synchronous generator, the system stability, and load shedding, that is doing by some case is reviewed the ability of generator at load flow condition normal, while the biggest load condition start is 1500HP, and while one generator having trip at $t=1s$ in the 100s simulation period, and seen the response look at the performance of speed generator system, and changes frequency by looking at the standard frequencies allowed by referral from load shedding of ANSI/IEEE C37 106-1987 and for changing from voltage used company's standard is $\pm 10\%$. The result is, when GTG(01) collapse, then UFR will work at frequency 58,5Hz dan 58,2Hz with total final load shedding is 2727,25Kw, and steady state at time $t=80,011s$

Key word: Stability system, Load shedding, offshore.

1. PENDAHULUAN

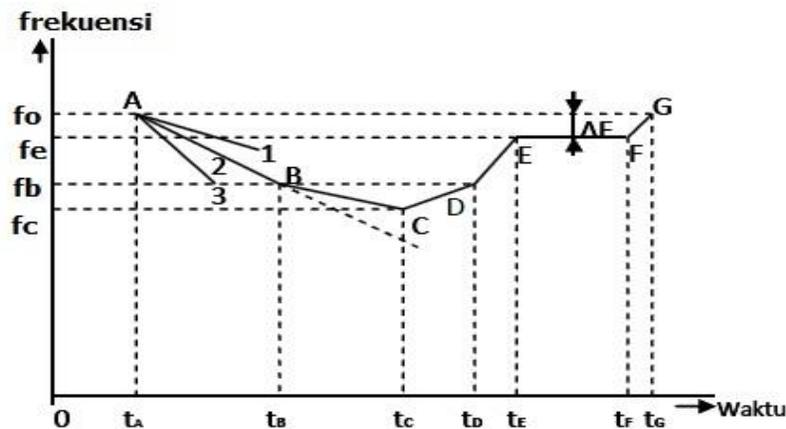
Dunia perminyakan dan gas sudah tidak asing lagi di telinga kita, sebagaimana yang kita ketahui pengeboran minyak ada yang terdapat di lepas pantai disebut *offshore*. Pada dasarnya di suatu sistem pembangkitan di *offshore* terdapat suatu sistem distribusi listrik yang didalamnya terdapat banyak mesin-mesin pendukung jalannya proses produksi. Perubahan beban yang bervariasi berdampak pada kestabilan sistem. Perubahan yang terjadi secara signifikan akan menyebabkan sistem bekerja diluar batas normal. Bila beban yang ditanggung oleh suatu pembangkit melebihi kemampuan akan menyebabkan generator *overload* yang bekerja diluar batas kerja generator itu sendiri sehingga akan terjadi penurunan frekuensi. Kestabilan sistem itu harus memenuhi beberapa syarat yaitu mampu memenuhi daya secara terus menerus, mampu menjalankan sistem secara normal dengan standard tegangan dan frekuensi, mampu untuk kembali kekeadaan normal saat terjadi gangguan (Chevron, 1996; Sheldrake, 1993).

Untuk itu penulis akan membahas suatu sistem kelistrikan berdasarkan klasifikasi beban yang akan bekerja, dengan kemungkinan hal-hal yang akan berpengaruh dalam jalannya suatu sistem tersebut untuk mendapatkan kondisi stabil. Hal ini disebabkan karena gangguan-gangguan yang sering terjadi pada sistem pembangkitan, seperti gangguan lepasnya pembangkit, gangguan akibat arus starting, dan arus hubung singkat. Gangguan-gangguan tersebut dapat menyebabkan sistem bekerja diluar batas normal. Agar sistem dapat berjalan secara normal, sehingga tidak mengalami pemadaman total saat terjadi matinya suatu pembangkit, maka sebagian beban yang bekerja harus dilepas untuk sementara waktu, agar dapat mencapai kestabilan sistem. Pelepasan beban tersebut dilakukan berdasarkan standard ANSI IEEE C37.106-2003 (Primanda,1998).

Tabel 1 Skema load shedding menurut IEEE C37.106-2003

Step	Frequency Trip Point (Hz)	Frequency Trip Point (%)	Percent Load Shedding (%)	Fixed Time Delay (cycle) on Relay	Fixed Time Delay (second) on Relay
1	59,9	98,83	10	6	0,1
2	58,9	98,17	15	6	0,1
3	58,5	97,5	As Required to arrest decline before 58,2Hz/97%		

Tabel 1 menjelaskan step melakukan pelepasan beban untuk standard frekuensi normal di 60 Hz, yaitu dengan melakukan step pelepasan beban maksimal di frekuensi 58,2 Hz, dengan time delay pada relay 0,1 detik, dengan total beban yang telah ditentukan pada table. Proses pelepasan beban ini dapat dilihat seperti pada gambar 1 dibawah ini.



Gambar 1 perubahan frekuensi sebagai fungsi waktu dengan adanya pelepasan beban

Gambar 1 menjelaskan tentang hubungan antara frekuensi sebagai fungsi waktu terhadap pelepasan beban, dimana pada gambar 1 dimisalkan bahwa frekuensi menurun menurut garis 2. Setelah mencapai titik B dilakukan pelepasan beban tingkat pertama oleh *Under Frekuensi Relay* (UFR) yang bekerja setelah mendeteksi frekuensi sebesar f_b . Dengan adanya pelepasan beban tingkat pertama maka penurunan frekuensi berkurang kecepatannya, sampai di titik C UFR mendeteksi frekuensi sebesar f_c dan akan melakukan pelepasan beban tingkat ke dua. Setelah pelepasan beban tingkat kedua frekuensi sistem tidak lagi menurun tapi menunjukkan gejala yang baik yaitu naik kembali menuju titik D. Naiknya frekuensi dari titik C menuju titik D disebabkan karena daya yang masih tersedia dalam sistem adalah lebih besar daripada beban setelah mengalami pelepasan beban tingkat kedua. Mulai dari titik D, yaitu setelah proses tersebut di atas berlangsung selama t_d sekitar 4 detik. Governor unit-unit pembangkit dalam sistem mulai melakukan pengaturan primer. Periode sebelum governor melakukan pengaturan primer disebut periode transien dan ini berlangsung selama kira-kira 4 detik. Setelah governor melakukan pengaturan primer maka frekuensi mencapai titik f_e yaitu kondisi pada titik E. Kemampuan governor melakukan pengaturan primer sangat tergantung kepada besarnya *spinning reserve* yang masih tersedia dalam sistem. Seandainya unit-unit pembangkit yang masuk (paralel) keadaan sistem mempunyai kemampuan pembangkitan 100 MW tetapi bebannya baru 70 MW maka dikatakan bahwa *spinning reserve* masih $100 - 70 = 30$ MW. Setelah mencapai titik E masih ada deviasi frekuensi sebesar F terhadap frekuensi yang diinginkan yaitu f_o dan deviasi ini dikoreksi dengan pengaturan sekunder yang dimulai pada titik F.

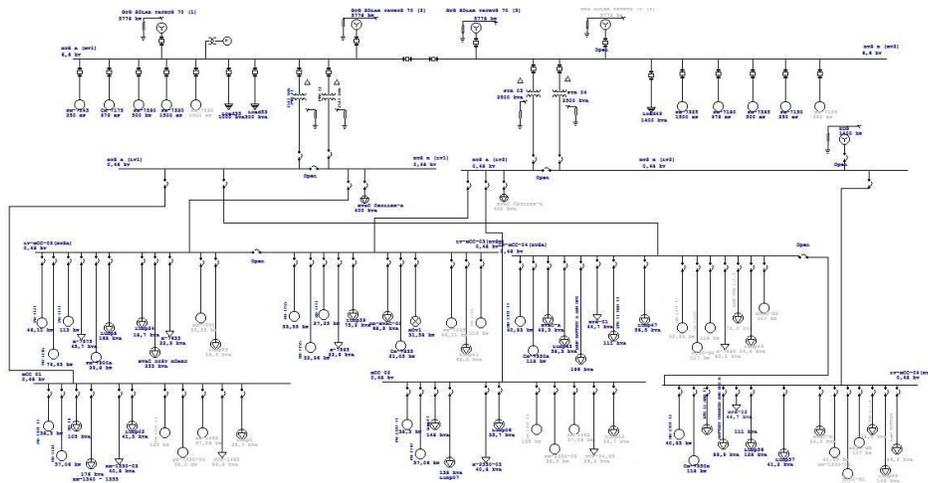
Sehingga pada tugas akhir ini penulis akan membahas tentang sistem kelistrikan pada suatu pembangkitan *offshore* dengan menggunakan 4 *Gas Turbine Generator* (GTG) berkapasitas 5778kW. Penulis akan membahas tentang kestabilan sistem, pada saat keadaan normal, pada saat mengalami gangguan, hingga kembali ke kondisi semula dengan menggunakan simulasi proses *load shedding* dan melakukan analisa dari beberapa gangguan-gangguan yang terjadi, dengan melihat dari perubahan frekuensi generator saat terjadi perubahan beban, saat salah satu generator mengalami *trip*, beserta cara kerja *load shedding* saat hal-hal seperti yang telah dijelaskan tersebut terjadi pada sistem kelistrikan *central processing platform* pengeboran minyak lepas pantai agar sistem dapat berjalan dengan seharusnya, dan kembali ke keadaan

normal dengan batas standar yang diperbolehkan dari sisi penurunan tegangan sebesar $\pm 10\%$ dan penurunan frekuensi sebesar $\pm 3\%$ saat sistem mengalami gangguan (Primanda, 1998; Kundur P, 1996).

2. METODOLOGI SIMULASI LOAD SHEDDING DAN PENENTUAN KURVA KAPABILITAS

2.1 Cara Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan mengambil data dari perusahaan x beserta *philosophy* dari sistem *load shedding* pada perusahaan, membaca buku yang berkaitan dengan sistem *load shedding* pada buku perusahaan oil dan gas, mencari bahan melalui internet yang berkaitan dengan stabilitas sistem tenaga listrik, dan dari *tutorial* program simulasi yang digunakan yaitu dengan *setting* batas UFR pada kelistrikan, kemudian di running dan melihat sistem bekerja dan menganalisa dari perubahan frekuensi, kecepatan putaran generator, dan dari perubahan tegangannya, kemudian pelepasan beban harus memilih beban yang tidak berhubungan dengan proses produksi agar produksi tetap berjalan.



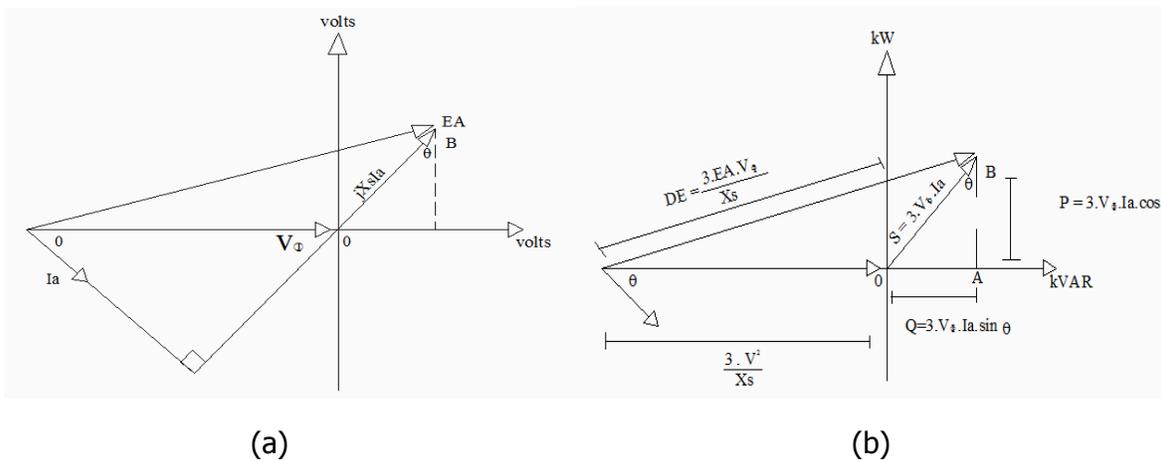
Gambar 2 *Single line diagram* Perusahaan x

Gambar 2 merupakan gambar diagram kelistrikan di perusahaan x dimana perusahaan x minyak lepas pantai ini mempunyai 5 pembangkitan, 4 GTG SOLAR TAURUS 70 dengan kapasitas 5778Kw (3 dalam kondisi operasi dan 1 kondisi *standby*), 1 EDG yang berkapasitas 1400kW berguna sebagai *backup* daya pada bus proses *essential* saat *black start*. Pada sistem ini batas-batas standar tegangan dan frekuensi saat terjadi gangguan *short circuit* atau *starting motor* yaitu, $\pm 10\%$ untuk tegangan dan $\pm 3\%$ untuk frekuensi. Namun secara keseluruhan sistem ini dirancang untuk tegangan jatuh saat kondisi beban normal dan tegangan jatuh tidak diizinkan melebihi 5% pada konsumen terminal. Untuk transient tegangan jatuh saat starting motor secara group pada saat starting serempak tidak di izinkan melebihi 15% dari tegangan nominal pada *supply switch board*.

2.2 Metodologi Perhitungan Kurva Kapabilitas

Batas pemanasan stator dan rotor, bersama dengan batas-batas eksternal pada generator sinkron dapat dinyatakan dalam bentuk grafis dengan diagram kemampuan generator. Diagram kapabilitas adalah plot dari daya kompleks $S = P + jQ$. Hal ini berasal dari diagram fasor generator, dengan asumsi bahwa V_ϕ konstan pada tegangan rata-rata mesin. Gambar 3(a) menunjukkan diagram fasor generator sinkron beroperasi pada factor daya *lagging* dan tegangan rata-rata. Sebuah set orthogonal dari sumbu digambarkan pada diagram yang berasal dari ujung V_ϕ dan dengan satuan satuan volt. Pada diagram ini, segmen vertikal AB memiliki panjang $X_S I_A \cos \theta$, dan segmen horizontal OA memiliki panjang $X_S I_A \sin \theta$. Daya nyata pada generator adalah (Chapman,1985) :

$$P = 3 V_\phi I_A \cos \theta \quad (1)$$



Gambar 3 Derivasi dari kurva kemampuan generator sinkron: (a) diagram fasor generator. (b) korespondensi unit daya

Daya reaktif *output* adalah :

$$Q = 3 V_\phi I_A \sin \theta \quad (2)$$

Daya semu *output* adalah :

$$S = 3 V_\phi I_A \quad (3)$$

Sehingga sumbu vertical dan horisontal dari angka ini dapat dikalibrasi ulang dalam hal daya nyata dan daya reaktif (Gambar 3(b)). Faktor konversi yang diperlukan untuk mengubah skala dari sumbu volt untuk voltampere (unit daya) adalah $3 V_\phi / X_S$

$$\begin{aligned} P &= 3 \cdot V_\phi \cdot I_\phi \cdot \cos \theta \\ &= \{ (3 V_\phi) / X_S \} \cdot \{ X_S \cdot I_A \cdot \cos \theta \} \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} Q &= 3 \cdot V_\phi \cdot I_\phi \cdot \sin \theta \\ &= \{ (3 V_\phi) / X_S \} \cdot \{ X_S \cdot I_A \cdot \sin \theta \} \end{aligned} \quad (5)$$

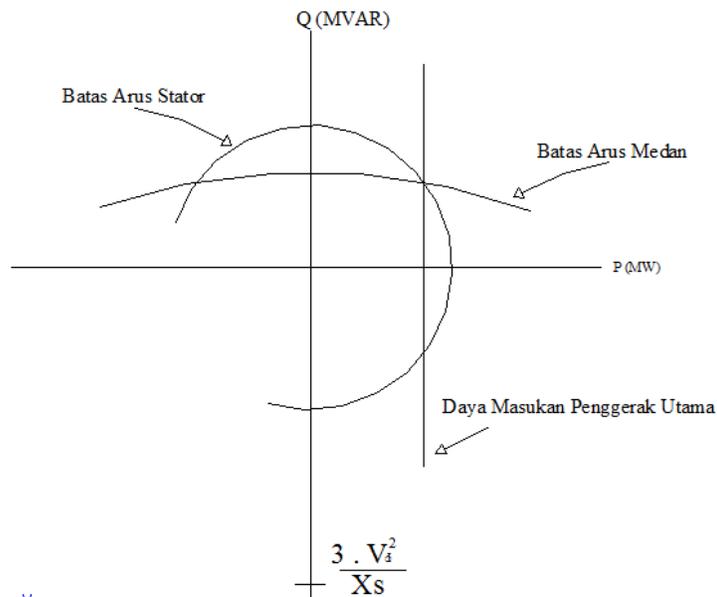
Pada sumbu tegangan asal dari diagram fasor adalah di $-V$ pada sumbu horizontal sehingga titik asal dari diagram daya adalah :

$$Q = -\frac{3V^2\Phi}{X_s} \quad (6)$$

Arus medan sebanding dengan fluks mesin, dan fluks sebanding dengan $E_a = k\Phi\omega$. Dimana panjang E_a pada sudut daya adalah :

$$DE = -\frac{3E_a \cdot V}{X_s} \quad (7)$$

Arus jangkar I_A adalah sebanding dengan $X_s I_A$, dan panjang sesuai dengan $X_s I_A$ pada Gambar 4 dimana kemudian akan dihasilkan gambar kurva kapabilitas seperti dibawah.



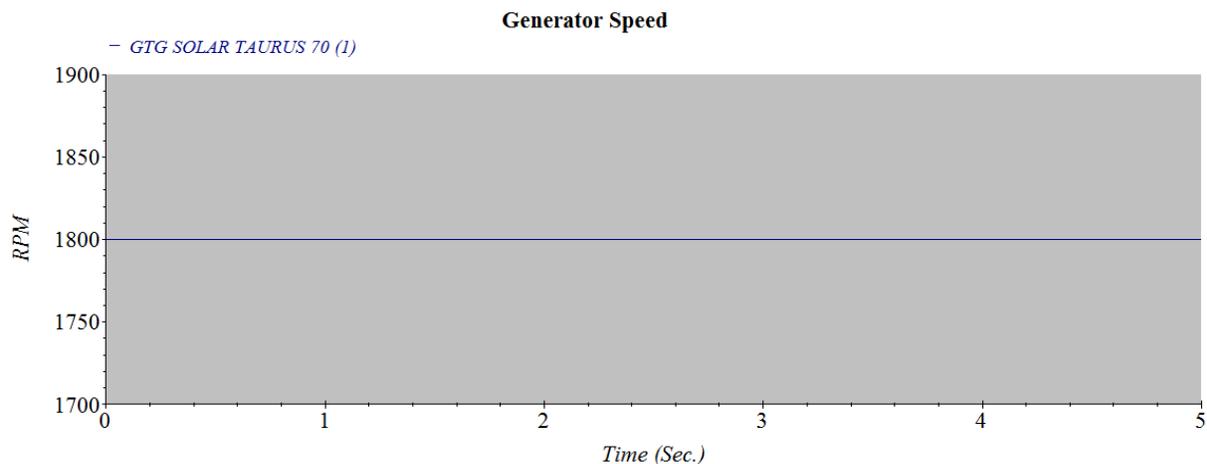
Gambar 4 kurva kapabilitas generator sinkron

3. ANALISIS STABILITAS TRANSIEN DAN PERHITUNGAN DAYA REAKTIF GTG

Pada kasus ini respon dipantau pada salah satu Gas Turbine Generator Solar Taurus 70 (ETAP, 2009; Saadat, 1999).

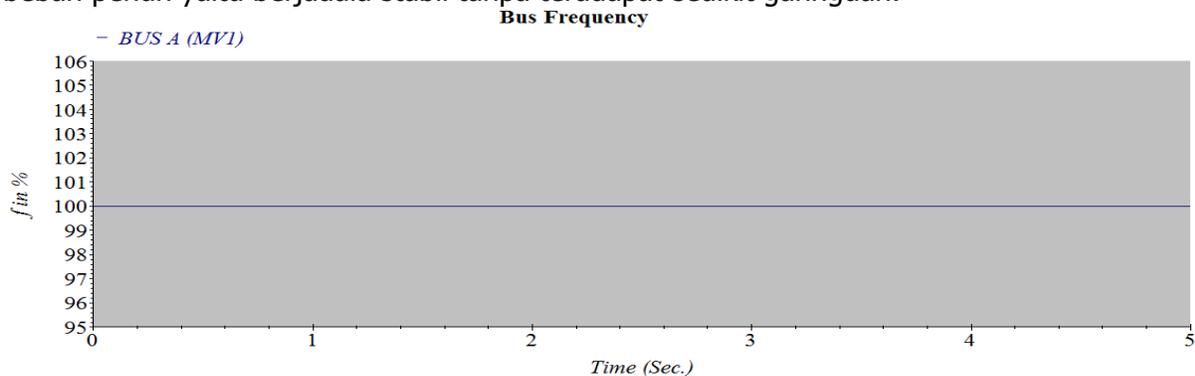
3.1 Kondisi Normal

Sistem dijalankan secara normal dalam keadaan beban penuh tanpa diberikan gangguan untuk dapat melihat hasil keluaran respon sistem secara normal dari generator terhadap putaran kecepatan generator, frekuensi, dan tegangan bus, dimana putarannya adalah 1800 rpm, dan frekuensi pada sistem ini adalah 60 Hz.



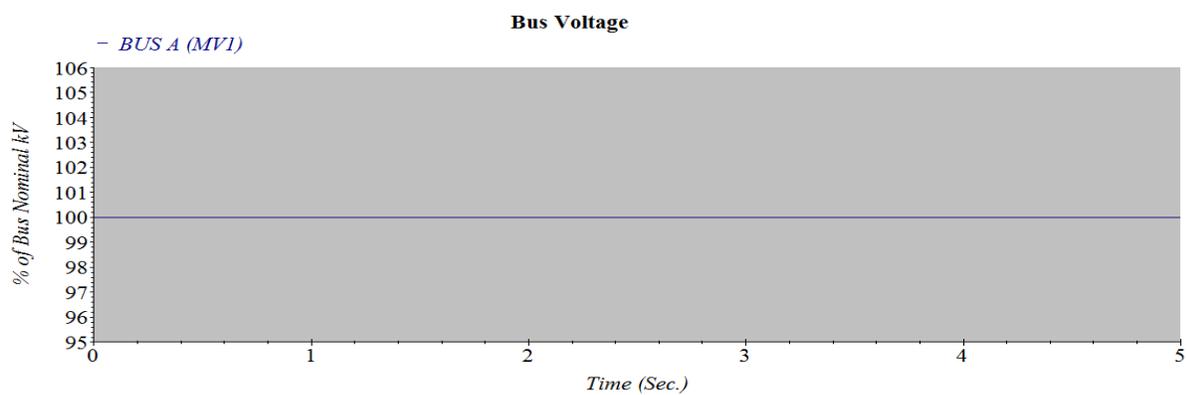
Gambar 5 Respon natural generator *speed* GTG ST70 pada keadaan normal.

Gambar 5 menunjukkan *speed* dari GTG ST70 yaitu 1800 rpm pada saat keadaan normal beban penuh yaitu berjadala stabil tanpa teradapat sedikit gannguan.



Gambar 6 Respon frekuensi pada Bus A (MV1) pada saat keadaan normal.

Gambar 6 menunjukkan frekuensi sistem yang berjalan pada 100% yaitu 60 Hz tanpa ada gannguan.

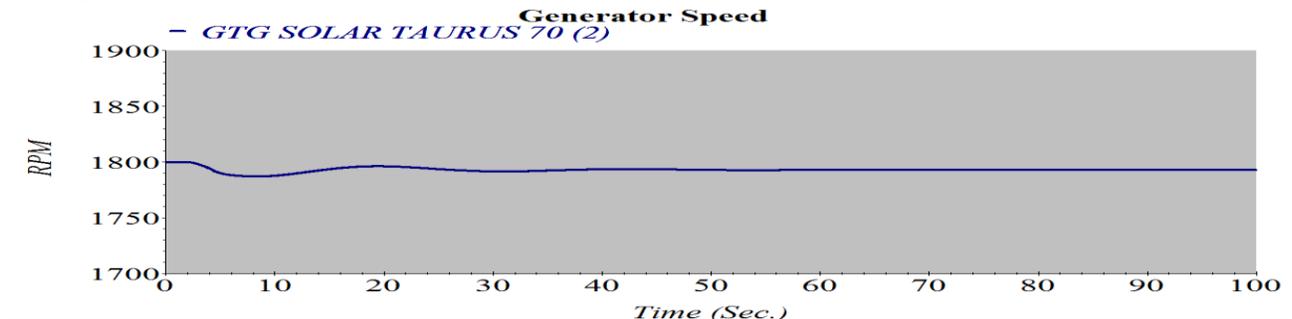


Gambar 7 Respon tegangan pada Bus A (MV1) saat keadan normal.

Gambar 7 menunjukkan respon pada tegangan bus saat keadaan normal pada posisi 100%, yang berarti tidak mengalami gangguan dan berjalan dalam posisi stabil.

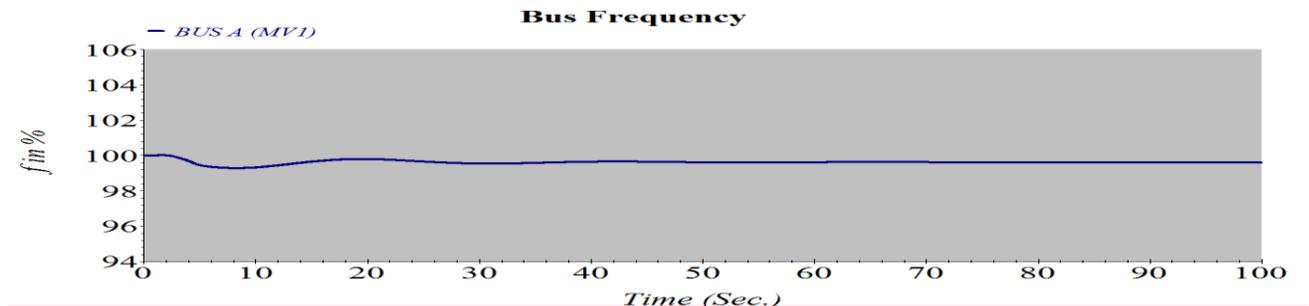
3.2 Skenario Kondisi Beban Terbesar *Start*

Pada skenario ini beban yang digunakan adalah beban PM-7320 yaitu sebesar 1500HP dengan *setting* waktu *start* pada saat $t=2$ s.



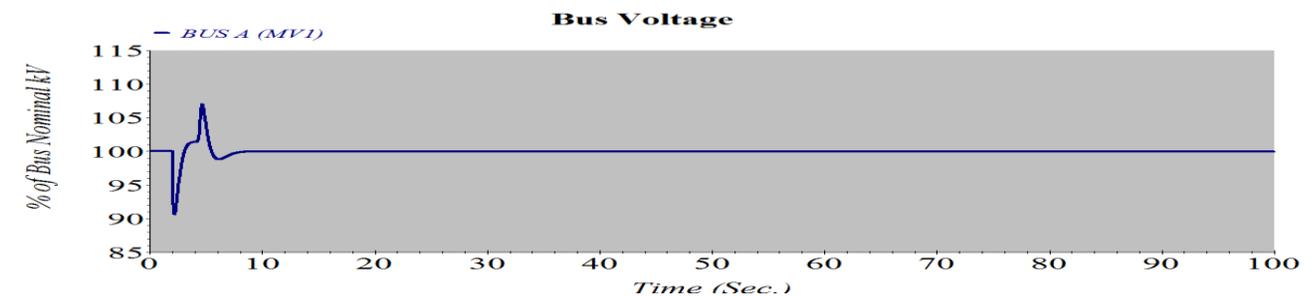
Gambar 8 Respon *speed* GTG ST70 (1) saat beban terbesar masuk

Pada gambar 8 menunjukkan respon *speed* pada GTG ST70 (1) saat beban terbesar sebesar 1500HP *start*, kecepatan hanya mengalami penurunan menuju 1780 rpm dan kembali naik menuju 1797 rpm dan masih dalam batas wajar.



Gambar 9 Respon frekuensi bus A saat beban terbesar masuk.

Gambar 9 menunjukkan respon frekuensi pada bus A yang mengalami penurunan sebesar 0,7% sehingga masih memenuhi persyaratan penurunan frekuensi sebesar $\pm 3\%$, sehingga UFR yang telah di *setting* tidak bekerja.



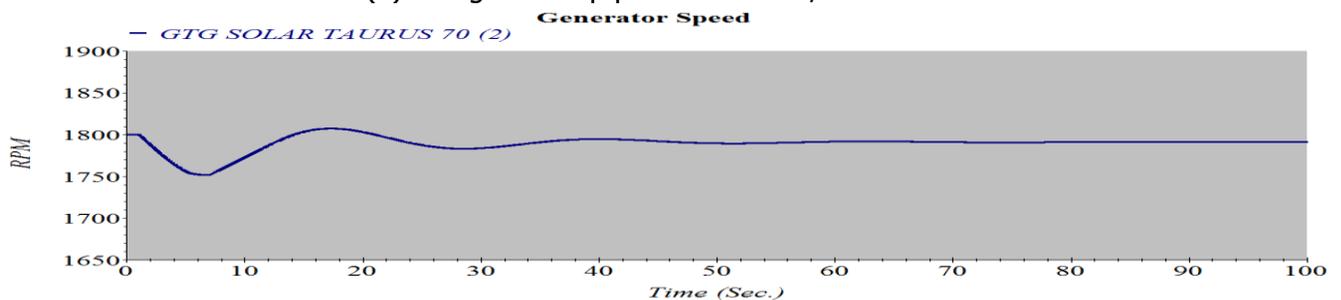
Gambar 10 Respon tegangan bus A saat beban terbesar masuk.

Gambar 10 menunjukkan respon tegangan bus yang mengalami penurunan hingga mencapai 7% dari nominalnya sehingga masih dalam batas yang di perbolehkan jika melihat dari standard perusahaan yaitu 10%.

Dari simulasi diatas dapat dianalisa bahwa sistem masih dalam batas standar penurunan frekuensi dan tegangan saat beban terbesar masuk, sehingga tidak perlu dilakukan *load shedding*.

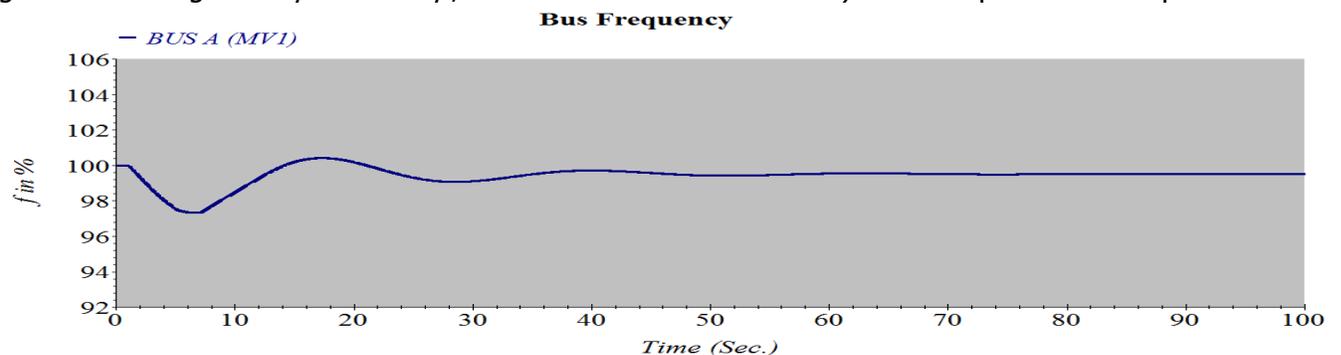
3.3 Skenario Kondisi Generator Trip dan proses *Load Shedding*

Pada skenario ini GTG ST70 (1) mengalami trip pada saat $t=1s$,



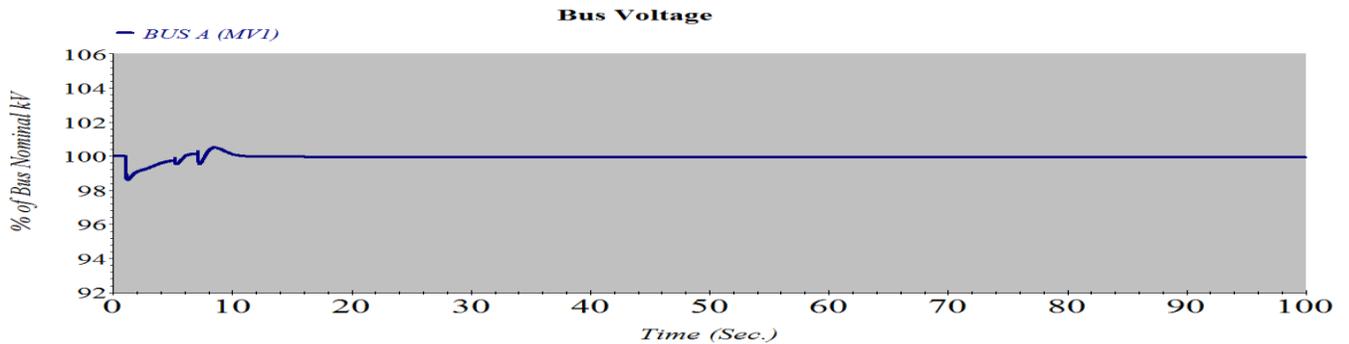
Gambar 11 Respon *speed* GTG ST70 (2) saat *load shedding*

Gambar 11 menunjukkan respon *speed* GTG ST70 (2), saat GTG ST70(1) trip pada saat $t=1s$ generator mengalami *speed droop*, dan kembali ke kondisi *steady state* di putaran 1793rpm.



Gambar 12 Respon frekuensi pada bus A saat *load shedding* dengan Simulasi

Gambar 12 menunjukkan respon saat terjadi *load shedding* tahap 1 sebesar 1027kW terlihat turunnya frekuensi sebesar 0,5% yaitu $f=58,4Hz$ berubah dari yang drastis menjadi yang tidak terlalu curam menjadi $f=58,2Hz$, namun karena masih turun menuju $f=58,2Hz$ kemudian dilakukan *load shedding* tahap 2 sebesar 1700kW yang kemudian terlihat frekuensi naik hingga menuju $f=59,72Hz$ pada saat $t=80,011s$.



Gambar 13 Respon tegangan pada Bus A (MV1) saat *load shedding* hingga kondisi *steady state*.

Gambar 13 menunjukkan respon tegangan pada Bus A (MV1) saat *load shedding*, yaitu dari 100% kemudian saat generator *trip*, tegangan turun menjadi 98,2% dapat dilihat pada standard sistem perusahaan yaitu penurunan tegangan yang diperbolehkan yaitu $\pm 10\%$.

3.4 Kurva Kapabilitas (Chapman,1985)

Data pada generator untuk menghasilkan kurva kapabilitas,

Tabel 2 Data Perhitungan Kurva Kapabilitas

S	= 7,223 MVA	f	= 60 Hz
P	= 5,778 MW	PF	= 0,8 lagging
Vt	= 6,6 kV	P pm	= 5,778 MW
Xs	= 1,55 Ω		-

- Tegangan pada generator

$$V_{\Phi} = \frac{V_t}{\sqrt{3}} = \frac{6,6kV}{\sqrt{3}} = 3,81kV$$

- Arus max pada generator

$$I_{a\ max} = \frac{S}{3 \cdot V_{\Phi}} = 631,93\ A$$

Rumus ini dicari untk mencari ukuran tegangan maksimum yang diberikan generator

- Titik mula lingkaran batas arus di rotor

$$Q_1 = -\frac{3 \cdot V^2}{X_s} = -28,09\ MVAR$$

Merupakan titik mula batas arus rotor pada kurva seperti pada Gambar 4

- Ukuran tegangan maksimum yang diberikan

$$E_a = V_\phi + jX_s I_a = 4,466 \text{ kV} \angle 10,103^\circ$$

- Maka jarak D_E yang sebanding dengan E_a adalah :

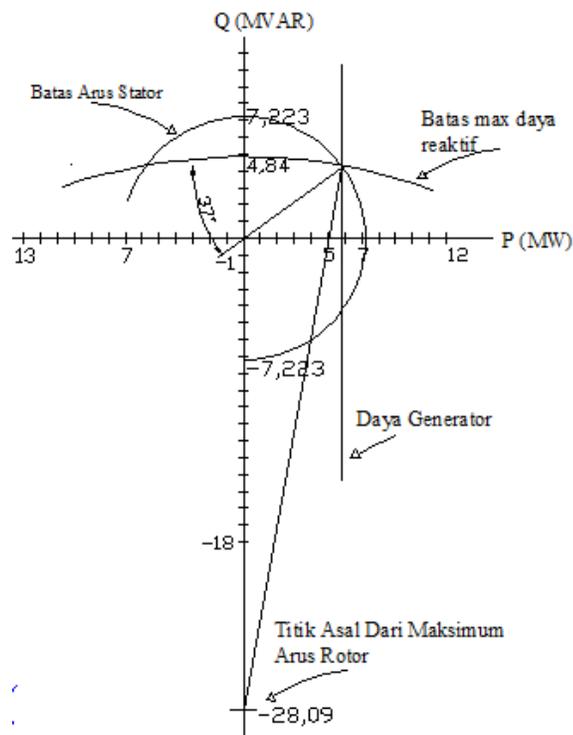
$$D_E = \frac{3 \cdot E_a \cdot V_\phi}{X_s} = 32,93 \text{ MVAR}$$

- P_{\max} prime mover = 5,778 MW
dimana : Daya reaktif

$$Q = D_E - Q_1$$

$$= 4,84 \text{ MVAR}$$

Merupakan batas daya reaktif dan cara menggambar nya melalui titik pusat Q_1 , dan batas lingkarannya adalah D_E



Gambar 14 Kurva Kapabilitas

Gambar 14 menjelaskan gambar yang didapat dari hasil perhitungan diatas, dimana menghasilkan titik yang yang kemudian dihubungkan untuk membentuk gambar kurva kapabilitas, dan batas kerja dari generator tersebut, jika dilihat garis titik asal arus rotor yang dihubungkan dengan batas daya reaktif merupakan garis yang terbentuk pada diagram phasor daya, 37° merupakan pf pada sistem yaitu 0,8.

4. KESIMPULAN

Dari hasil pengamatan pada single line diagram, simulasi dan analisis diatas dapat disimpulkan :

1. Sistem *load flow* beban normal berjalan pada $f = 60\text{Hz}$, 1800rpm, dengan daya yang digunakan sebesar 12,006Mw, dan total daya yang tersedia adalah 17334kW sehingga masih tersisa daya sebesar 30%, dan governor dapat bekerja dengan seharusnya.
2. Untuk skenario saat beban terbesar masuk sebesar 1500 HP, generator masih dalam batas kerja yang normal yaitu frekuensi belum melewati *setting* UFR = 58,5Hz, hanya mencapai $f=59,5\text{Hz}$ dan kembali steady state pada $f=59,7\text{Hz}$ sehingga tidak melebihi standard under frekuensi yaitu $\pm 3\%$ sehingga tidak perlu melakukan *load shedding*.
3. Akibat gangguan saat $t=1$ detik GTG ST70(01) *trip*, sehingga generator pada saat $t=1,11$ mengalami penurunan putaran sebesar 2,5% sebesar 1756rpm dengan naiknya daya beban sebesar $P=5755\text{kW}$ dengan $f=59,95\text{Hz}$, kemudian penurunan frekuensi terus berlanjut hingga pada saat $t=5,1\text{s}$ frekuensi mengalami penurunan hingga $f=58,5\text{Hz}$ sehingga UFR mendeteksi dan melakukan pelepasan beban pertama karena UFR pertama merasakan turunnya frekuensi mencapai batas UFR yaitu 58,5Hz, pelepasan kedua dilakukan setelah pelepasan beban pertama karena frekuensi masih turun hingga melebihi batas setting UFR kedua yaitu 58,2Hz, pelepasan beban ini dilakukan mengikuti tata cara grafik pelepasan beban untuk mencapai *steady state* dengan melihat batas turunnya frekuensi pada sistem ini yaitu $\pm 3\%$.
4. Pada sistem ini mencapai keadaan *steady state* pada saat $t=80,011\text{s}$ dengan mencapai $f=59,72\text{Hz}$. Batas daya reaktif yang diberikan kebagian medan (penguatan) adalah 4,84 MVAR untuk menjaga kumparan dari *overheating* agar generator tetap dalam keadaan sinkron.

DAFTAR RUJUKAN

- Chapman, Stephen J. (1985). "*Electric Machinery Fundamentals*", Singapore. McGraw-Hill, Inc.,
Chevron Corporation, (1996). "*Offshore Electrical Guidelines Chevron*".
ETAP, (2009). "*ETAP 7.0 User Guide*", Operation Technology, Inc.
Kundur P., (1996) "*Power System Analysis and Control*" McGraw Hill, Inc.
Primanda, "*Analisis Stabilitas Transien Dan Perancangan Pelepasan Beban Pada Sistem Kelistrikan Tabang Coal Upgrading Plant (TCUP) Kalimantan Timur*", Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
Saadat H. (1999), "*Power System Analysis*", McGraw-Hill, Inc.
Sheldrake, Alan L. (1993) "*Handbook Of Elcetrical Enggineering (For Practitioner in Oil, Gas and Petrochemical Industr)*", India.