

BAB V

SIMULASI DAN ANALISA STABILITAS TRANSIEN

SISTEM TENAGA LISTRIK DI HESS (INDONESIA-PANGKAH) *Ltd.*

5.1. Simulasi dan Analisa Stabilitas Transien di HESS

Setelah didapatkan pemodelan dari sistem kelistrikan di Hess (Indonesia-Pangkah) *Ltd.*, maka selanjutnya akan dilakukan simulasi dan analisa stabilitas transien dengan beberapa studi kasus. Pada simulasi ini akan dianalisa respon tegangan dan frekuensi pada bus 160-ES-01 (*substation A*), 160-ES-12 (*substation kiosk*), dan 360-ES-01A&B (*substation B*). Sedangkan pada generator akan di analisa penambahan beban pada setiap studi kasus yang ada. Beberapa studi kasus yang akan dilakukan simulasi adalah sebagai berikut:

5.1.1. Studi kasus terhadap *starting motor*

Pada studi kasus ini, akan dilakukan *start motor high voltage (HV)* satu persatu sampai batas maksimum kemampuan satu unit generator, dengan kondisi awal semua transformer sudah terbebani, motor *heating medium pump* (145-PM-01A), motor *sea water intake pump* (135-PM-30 A,B) pada kondisi *running*, dan disuplai hanya satu unit generator 160-GTG-A. Studi kasus ini bertujuan untuk mengetahui kapan saat yang tepat melakukan penambahan pembangkit untuk bekerja secara parallel dengan pembangkit yang sudah terlebih dahulu *online* (160-GTG-01A).

Detail keseluruhan studi kasus *starting motor* ini, terlihat pada tabel 5.1 berikut ini:

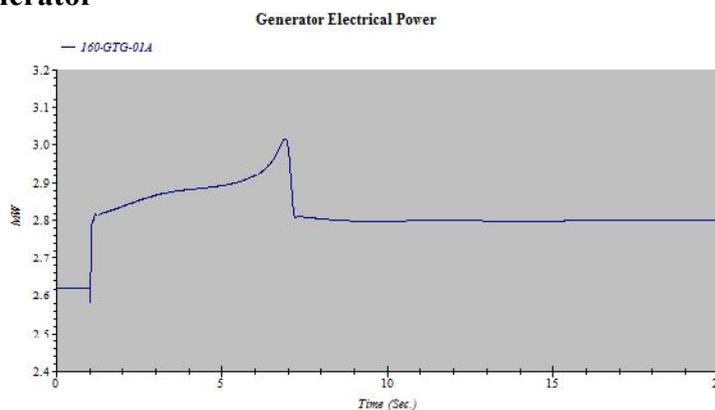
Tabel 5.1 Detail keseluruhan studi kasus *starting* motor.

Studi Kasus TS1	
Kondisi Awal	Kasus
> 160-GTG-01A running > Crude Oil shipping Pump 381-PM-01 A,B,C, & D Off > Heating medium pump 149-PM-01A running > SWI pump 135-PM-30A,B running > VRU compressor 339-CM-03A,B off > Emergency generator off	135-PM-30C start pada detik ke 1.00
Studi Kasus TS1a	
Kondisi Awal	Kasus
> 160-GTG-01A running > Crude Oil shipping Pump 381-PM-01 A,B,C, & D Off > Heating medium pump 149-PM-01A running > SWI pump 135-PM-30A,B, & C running > VRU compressor 339-CM-03B off > Emergency generator off	339-CM-03A start pada detik ke 1.00
Studi Kasus TS1b	
Kondisi Awal	Kasus
> 160-GTG-01A&B running > Crude Oil shipping Pump 381-PM-01 A,B,C, & D Off > Heating medium pump 149-PM-01A running > SWI pump 135-PM-30A,B, & C running > VRU compressor 339-CM-03B off > Emergency generator off	339-CM-03A start pada detik ke 1.00

a) Penambahan beban motor 135-PM-30C (TS1)

Penambahan beban motor *sea water intake pump C*, dengan disuplai hanya satu unit generator A dan kondisi beban awal sebagaimana tabel 5.1 pada bagian studi kasus TS1. Dengan adanya penambahan beban tersebut maka akan terjadi perubahan pada :

➤ **Generator**



Gambar 5.1. Respon Generator saat *starting* motor 135-PM-30C.

Dari hasil simulasi pada gambar 5.1 diatas, terlihat adanya penambahan beban pada detik pertama, dan terlihat adanya *spike* 5,881 detik setelah motor 135-PM-30C di *start*, dengan besar daya yang diserap 3,016 MW (70%).

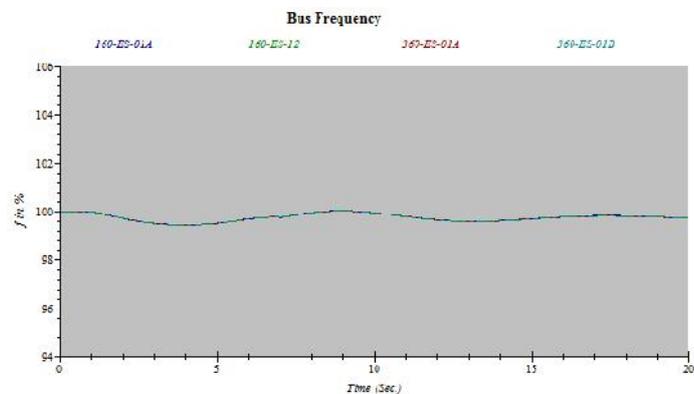
Untuk detail perubahan total daya mekanik dan elektrik yang disuplai oleh generator pada saat, sebelum, dan sesudah transien terlihat pada tabel 5.2

Tabel 5.2.Perubahan daya dari generator saat *starting* motor 135-PM-30C.

Generator	160-GTG-01A			Acceptable Frequency (Hz)	Spinning Reserve (MW)	Remark
	Before @ 0 Sec	Transient @5.881 Sec	After @20 Sec			
Elect Power (MW)	2.621	3.016	2.799	-	1.53	Accepted
Mech Power (MW)	2.627	2.993	2.770	-		Accepted
Frequency	50.00	49.89	49.87	47.5 - 52.5	-	Accepted

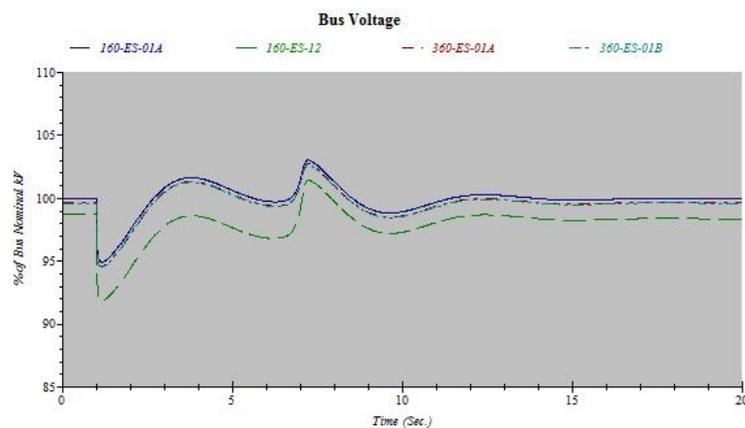
Dari simulasi diatas terlihat bahwa total beban yang harus di tanggung oleh generator masih dibawah kemampuannya, baik itu sewaktu transien maupun kondisi setelah transien (*steady state*), dengan daya tersisa (*spinning reserve*) 1,53 MW.

➤ **Bus**



Gambar 5.2. Perubahan frekuensi bus saat *starting* motor 135-PM-30C.

Penurunan frekuensi akibat *start* motor 135-PM-30C dialami oleh semua bus, paling rendah terjadi pada 3,581 detik setelah *starting* motor, yaitu sebesar 49,73 Hz (99,46%). Akibat dari *starting* motor 135-PM-30C ini, relatif tidak berpengaruh banyak terhadap perubahan frekuensi pada setiap bus, sebagaimana pada gambar 5.2.



Gambar 5.3. Perubahan tegangan bus saat *starting* motor 135-PM-30C.

Akibat *starting* motor 135-PM-30C sangat mempengaruhi kestabilan pada tegangan bus. Pada gambar 5.3 terlihat adanya osilasi tegangan selama ± 10 detik dengan perubahan tertinggi pada 0,161 detik setelah *starting* motor, yaitu 92,18%.

Berikut ini secara detail ditunjukkan nilai tegangan pada tiap bus dengan berbagai kondisi. Dari tabel 5.3, osilasi tertinggi terjadi pada bus 160-ES-12 yaitu 91,90%, kondisi ini masih dapat diterima oleh sistem, dimana toleransi tegangan pada saat transien berdasarkan Hess *electrical design philosophy* (Tripatra, 2007) adalah -15% selama transien dan -10% pada saat sudah *steady state*.

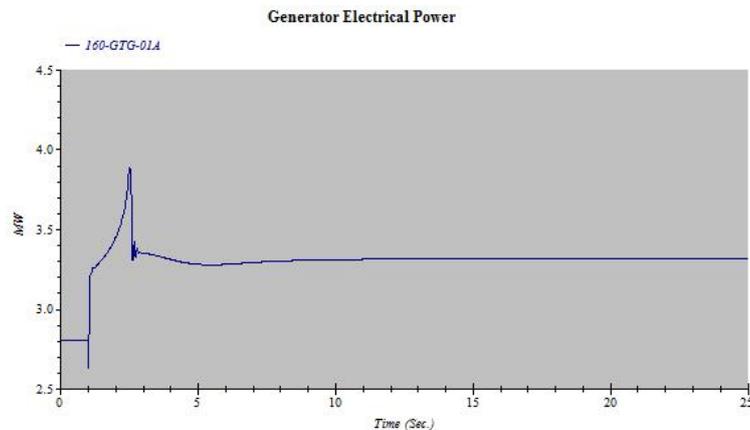
Tabel 5.3.Perubahan tegangan bus saat *starting* motor 135-PM-30C.

BUS	Before @0 Sec	Transient @1.161 Sec	After @20 Sec
	V (%)	V (%)	V (%)
160-ES-01A	99.97	94.93	99.94
160-ES-12	98.72	91.90	97.39
360-ES-01A	99.65	94.60	99.63
360-ES-01B	99.60	94.55	99.58

b) Penambahan beban motor 339-CM-01A (TS1a)

Setelah motor 135-PM-30C *running*, dilakukan penambahan beban lagi motor VRU *compressor* (339-CM-03A). Adapun hasil simulasi akibat adanya penambahan beban tersebut terhadap generator dan bus adalah sebagai berikut:

➤ **Generator**



Gambar 5.4 Perubahan daya generator pada saat *starting* motor 339-CM-01A.

Respon generator akibat *starting* motor 339-CM-01A sebagaimana terlihat pada gambar 5.4, terlihat osilasi beban yang cukup signifikan pada 0,501 detik setelah start motor 339-CM-01A.

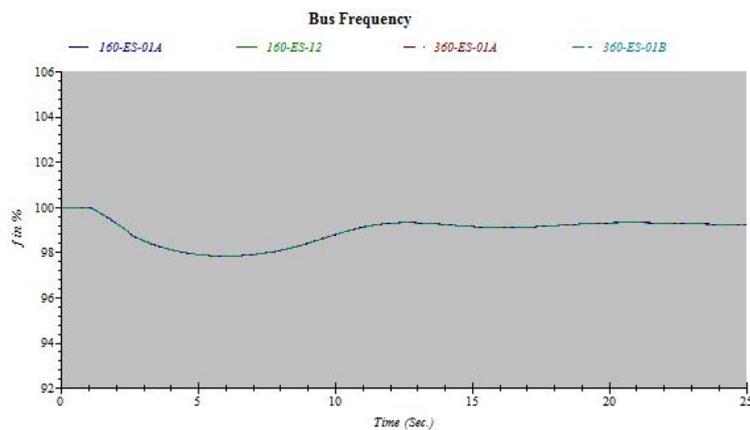
Berdasarkan tabel 5.5, total daya yang di tanggung oleh generator pada saat transien sebesar 3,889 MW (90,44%), kondisi ini

masih dapat diterima oleh turbin penggerak dengan daya maksimal 4,3 MW.

Tabel 5.4 Perubahan daya dari generator saat *starting* motor 339-CM-01A.

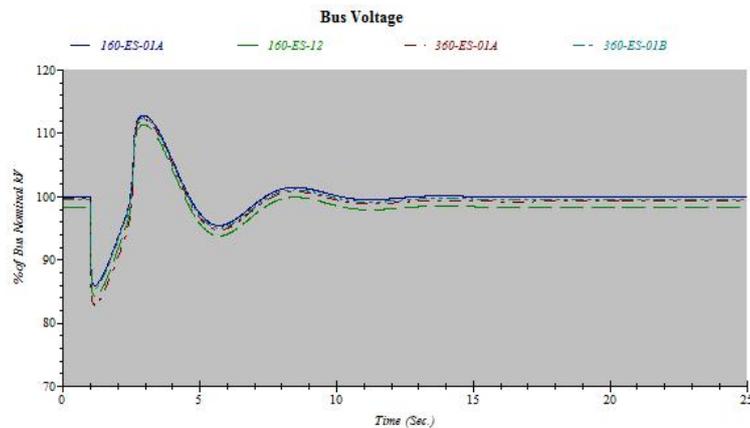
Generator	160-GTG-01A			Acceptable Frequency (Hz)	Spinning Reserve (MW)	Remark
	Before @ 0 Sec	Transient @ 2.501 Sec	After @ 25 Sec			
Elect Power (MW)	2.804	3.889	3.318	-	0.971	Accepted
Mech Power (MW)	2.810	2.779	3.329	-		Accepted
Frequency	50.00	49.32	49.62	47.5 - 52.5	-	Accepted

➤ Bus



Gambar 5.5 Perubahan frekuensi bus akibat *starting* motor 339-CM-01A.

Pada frekuensi masing-masing bus tidak terlalu terpengaruh signifikan, meskipun terjadi penurunan sebesar 48,92 Hz (97,84%) pada ±4,5 detik setelah *start* motor 339-PM-01A. Dimana kondisi ini masih dalam batas toleransi yang diijinkan (Tripatra, 2007), yaitu $\geq 95\%$.



Gambar 5.6 Perubahan tegangan bus akibat *starting* motor 339-CM-01A.

Adanya penambahan beban motor 339-CM-01A, sangat berpengaruh terhadap kestabilan tegangan pada setiap bus, sebagaimana terlihat pada gambar 5.6 terjadi penurunan tegangan yang signifikan pada bus 360-ES-01A sebesar 82,89%.

Osilasi tegangan yang signifikan juga dialami oleh bus 160-ES-12 sebesar 84,11%, dimana bus ini terletak 4 KM dari pembangkit.

Tabel 5.5 Perubahan tegangan bus akibat *starting* motor 339-CM-01A.

BUS	Before @0 Sec	Transient @1.161 Sec	After @25 Sec
	V (%)	V (%)	V (%)
160-ES-01A	99.97	85.92	99.95
160-ES-12	98.37	84.11	98.36
360-ES-01A	99.65	82.89	99.28
360-ES-01B	99.60	85.50	99.58

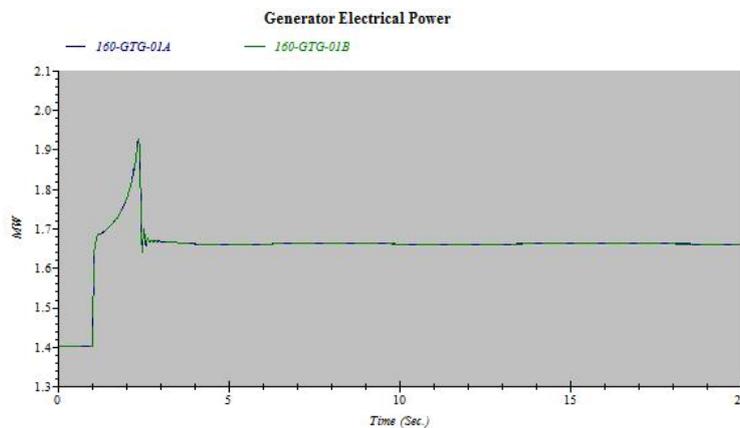
Berdasarkan data diatas, terlihat adanya osilasi yang signifikan hingga melebihi batas toleransi yang diijinkan (Tripatra, 2007) yaitu -15%. Untuk menjaga sistem tetap stabil saat motor VRU *compressor* (339-CM-01A) pada saat *start*, maka diperlukan adanya penambahan

pembangkit dengan melakukan *start-up* satu unit generator lagi (160-GTG-01B) yang bekerja secara paralel mensuplai daya ke beban.

c) Penambahan satu unit generator 160-GTG-01B (TS1b)

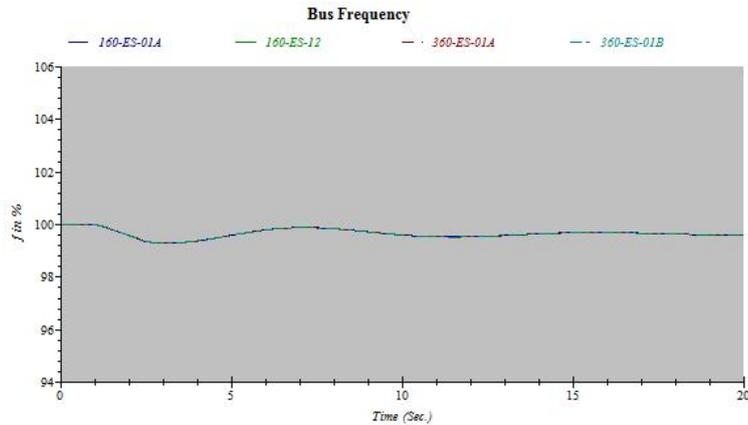
Sebelum melakukan *starting* motor VRU *compressor* (339-CM-01A), terlebih dahulu dilakukan penambahan satu pembangkit (160-GTG-01B) yang bekerja paralel dengan pembangkit sebelumnya (160-GTG-01A).

Hasil simulasi dari *starting* motor VRU *compressor* (339-CM-01A) setelah dilakukan penambahan pembangkit sebagaimana terdapat pada gambar 5.7 sampai dengan 5.9 berikut ini:



Gambar 5.7 Perubahan daya generator 160-GTG-01A&B akibat *starting* motor 339-CM-01A.

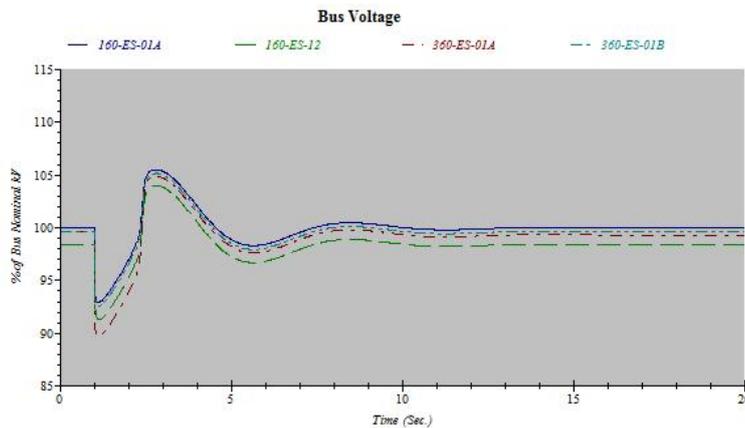
Dari gambar 5.7 diatas terlihat penambahan beban, secara seimbang dirasakan oleh kedua generator (160-GTG-01A&B), dimana saat transien masing-masing generator menerima beban $\pm 1,93$ MW (45%).



Gambar 5.8 Perubahan frekuensi bus akibat *starting* motor 339-CM-01A, setelah generator 160-GTG-01A&B paralel.

Semua frekuensi bus relatif stabil, sedikit osilasi pada *range* 99,30% - 99,88%, sebagaimana pada gambar 5.8. Kondisi ini masih dalam batas toleransi (Tripatra, 2007), yaitu $\geq 95\%$.

Sedangkan tegangan setiap bus sedikit mengalami osilasi sampai detik ke-5, sebagaimana terlihat pada gambar 5.9 berikut ini:



Gambar 5.9 Perubahan tegangan bus akibat *starting* motor 339-CM-03A, setelah generator 160-GTG-01A&B paralel.

Penurunan tegangan paling rendah terjadi pada bus 360-ES-01A, yaitu sebesar 89,9%. Dimana bus ini merupakan bus yang

mensuplai motor VRU *compressor* (339-CM-03A). Kondisi ini masih dalam batas toleransi (Tripatra, 2007).

5.1.2. Studi kasus terhadap hubung singkat

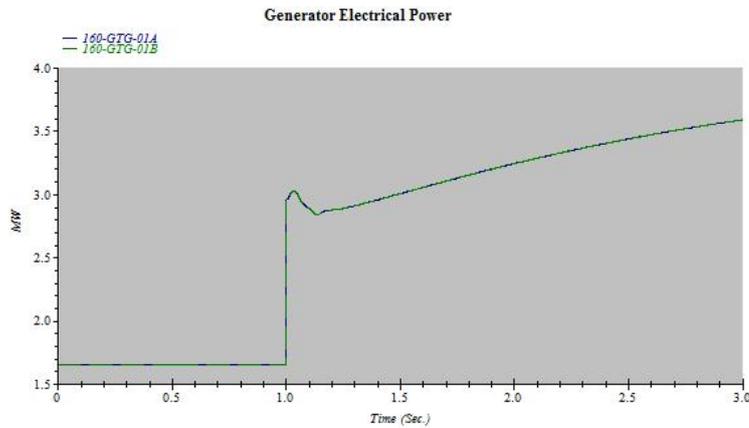
Pada studi kasus ini, hubung singkat terjadi pada kabel bawah tanah yang menuju bus 160-ES-12 dengan tegangan operasi 6,6 KV, dan disuplai oleh dua generator 160-GTG-01A & B. Kemudian dilakukan pengamatan terhadap perubahan daya generator, tegangan dan frekuensi pada setiap bus.

Tabel 5.6 Detail studi kasus hubung singkat.

Studi Kasus TS2		
Kondisi Awal	Kasus	Pemecahan
<ul style="list-style-type: none"> > 160-GTG-01A&B running > Crude Oil shipping Pump 381-PM-01 A,B,C, & D Off > Heating medium pump 149-PM-01A running > SWI pump 135-PM-30A,B, & C running > VRU compressor 339-CM-03A running > Emergency generator off 	Kabel 160-ES-12P Fault pada detik ke 1.00	N/A
Studi Kasus TS2a		
Kondisi Awal	Kasus	Pemecahan
<ul style="list-style-type: none"> > 160-GTG-01A&B running > Crude Oil shipping Pump 381-PM-01 A,B,C, & D Off > Heating medium pump 149-PM-01A running > SWI pump 135-PM-30A,B, & C running > VRU compressor 339-CM-03A running > Emergency generator off 	Kabel 160-ES-12P Fault pada detik ke-1.00	Circuit Breaker yang mensuplai kabel 160-ES-12P dibuka pada detik ke-1.01

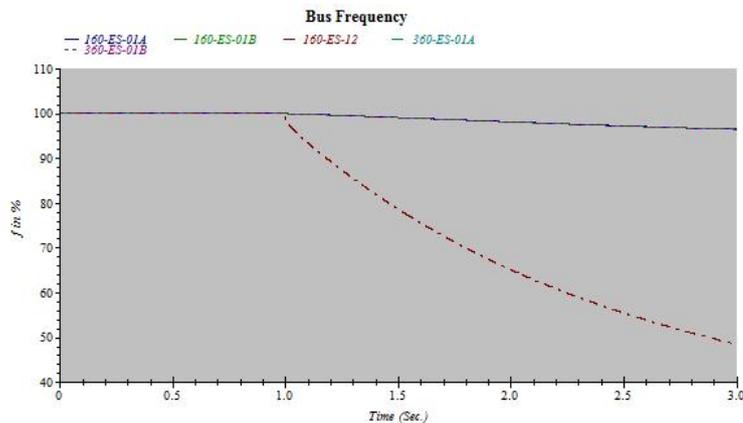
a) Simulasi studi kasus terjadinya hubung singkat pada kabel 160-ES-12P (TS2).

Pada gambar 5.10 dapat dilihat, adanya peningkatan suplai daya dari 1,65 MW (38%) menjadi 3,6 MW (84%) akibat adanya gangguan hubung singkat pada kabel 160-ES-12P, yaitu kabel yang menuju bus 160-ES-12 sepanjang 3600 meter dari *substation* A.



Gambar 5.10 Perubahan daya generator, akibat adanya hubung singkat pada kabel yang menuju bus 160-ES-12.

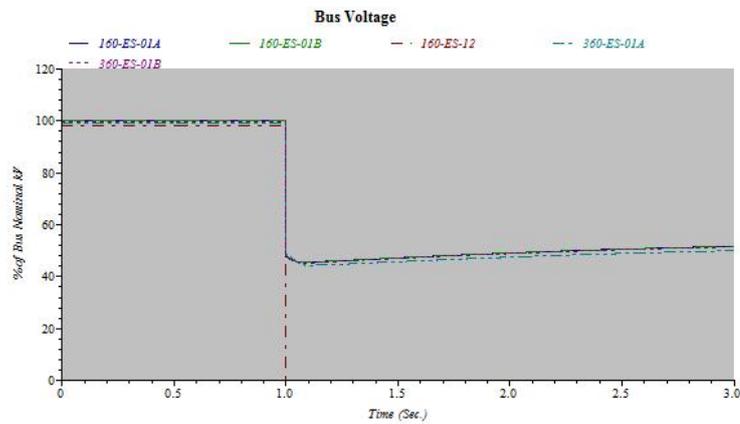
Hasil simulasi pada gambar 5.11 terlihat frekuensi bus 160-ES-12 menurun drastis, sedangkan frekuensi pada bus-bus yang lain, relatif stabil. Pada bus 160-ES-12 perlu adanya pemutusan suplai secara cepat agar tidak merusak peralatan yang ada pada bus tersebut.



Gambar 5.11 Perubahan frekuensi bus adanya hubung singkat pada kabel yang menuju bus 160-ES-12.

Pada gambar 5.12 terlihat tegangan pada semua bus mengalami penurunan sampai 42,8%, bahkan pada bus yang mengalami hubung singkat pada kabel suplai mencapai titik 0. Kondisi ini tentunya harus segera diatasi

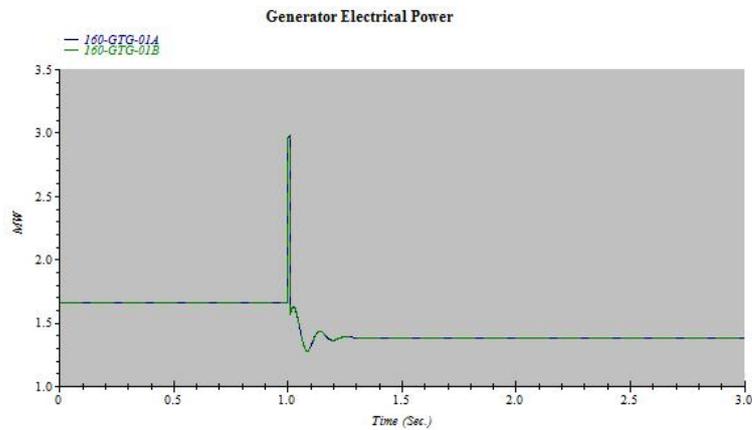
dengan cepat agar tidak mengganggu sistem, yaitu dengan memutus suplai yang menuju bus 160-ES-12 secara cepat.



Gambar 5.12 Perubahan tegangan bus adanya hubung singkat pada kabel yang menuju bus 160-ES-12.

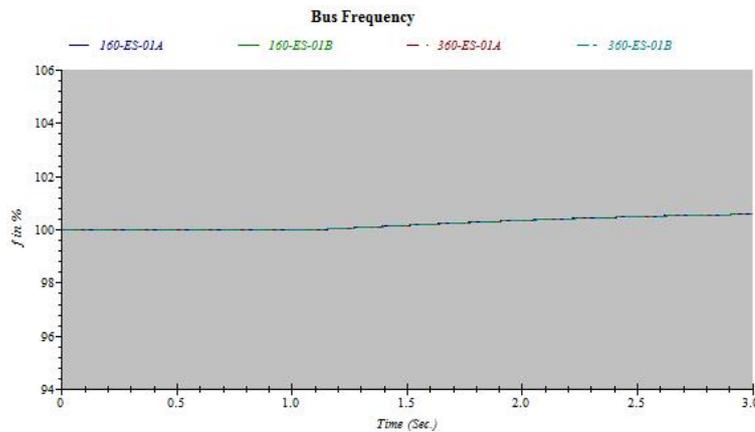
b) Berikut hasil simulasi studi kasus pelepasan beban karena terjadinya hubung singkat pada kabel 160-ES-01P dengan memutus suplai secara cepat (TS2a).

Hubung singkat yang terjadi pada kabel dengan panjang 3600 meter dari *substation A* menuju bus 160-ES-12 mengakibatkan terjadinya perubahan pada beban yang di tanggung oleh generator dan perubahan frekuensi serta tegangan pada setiap bus, untuk menjaga sistem tidak keluar dari batas sinkronnya, maka dilakukan pelepasan beban pada kabel 160-ES-12P yang mengalami hubung singkat, dengan cara membuka *circuit breaker* yang mensuplai kabel tersebut secara cepat. Hal ini berdampak terjadinya pemadaman pada bus 160-ES-12, sehingga beban-beban yang disuplai oleh bus tersebut ikut padam. Pada gambar 5.13 sampai gambar 5.15 dibawah ini, terlihat hasil simulasi yang telah dilakukan.



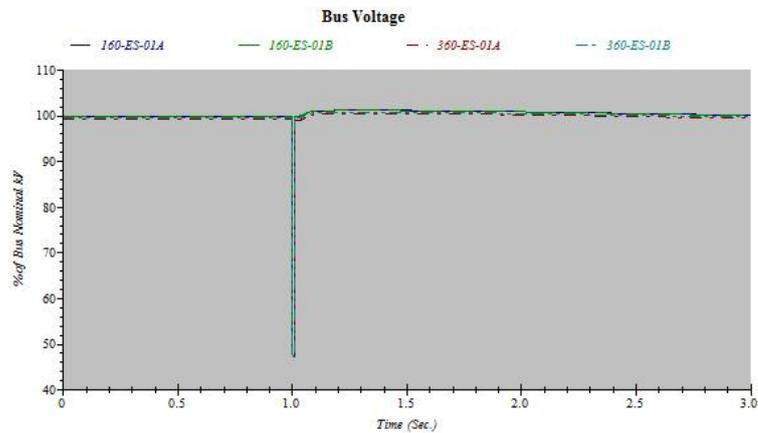
Gambar 5.13 Perubahan daya pada generator akibat adanya hubung singkat pada kabel yang menuju bus 160-ES-12.

Pada gambar 5.13, total daya yang di tanggung kedua generator mengalami penurunan dari 3,3MW (tiap generator 1,65MW) menjadi 2,8 MW (tiap generator 1,4MW).



Gambar 5.14 Perubahan frekuensi bus akibat adanya hubung singkat pada kabel yang menuju bus 160-ES-12.

Adapun pada frekuensi tiap bus tidak mengalami perubahan yang signifikan, sebagaimana terlihat pada gambar 5.14. Osilasi frekuensi terjadi pada kisaran antara 100% sampai 101%.



Gambar 5.15 Perubahan tegangan bus adanya hubung singkat pada kabel yang menuju bus 160-ES-12.

Dengan melakukan pemutusan suplai bus 160-ES12 pada waktu 0,010 detik sebagaimana *response* dari spesifikasi *circuit breaker* pada lampiran 8, maka tegangan pada tiap bus akan kembali normal sebagaimana pada gambar 5.13, saat *steady state* tegangan bus 102 %, kondisi ini masih dalam batas toleransi yang diizinkan yaitu maksimal $\pm 10\%$. Pada gambar 5.12 juga terlihat adanya *voltage sagging* sampai pada 42,8% selama 0,010 detik, *voltage sagging* ini masih diijinkan karena masih memenuhi standar *voltage sagging* SEMI F47, IEC 61000-4-11, dan IEC 61000-4-34.

5.1.3. Studi kasus terhadap hilangnya salah satu pembangkit

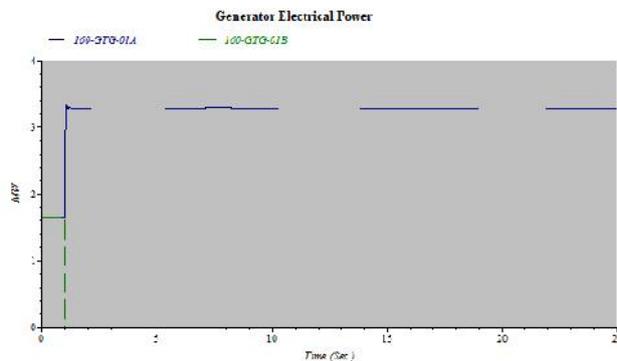
Total beban pada instalasi listrik di Hess pada saat kondisi normal tanpa adanya aktifitas pengiriman minyak ke kapal adalah 3,3 MW, yang disuplai oleh dua gas turbin generator yang berkapasitas masing-masing 4,3 MW. Bila mana salah satu pembangkit mengalami gangguan, maka pembangkit yang satunya akan mengalami perubahan beban dua kali lipat secara mendadak, hal ini kemungkinan akan mengakibatkan sistem mengalami gangguan. Detail studi kasus terlihat pada tabel 5.7.

Tabel 5.7 Detail studi kasus lepasnya salah satu pembangkit.

Studi Kasus TS3	
Kondisi Awal	Kasus
<ul style="list-style-type: none"> > 160-GTG-01A&B running > Crude Oil shipping Pump 381-PM-01 A,B,C, & D Off > Heating medium pump 149-PM-01A running > SWI pump 135-PM-30A,B, & C running > VRU compressor 339-CM-03A running > Emergency generator off 	160-GTG01B Trip pada detik ke-1.00
Studi Kasus TS3a	
Kondisi Awal	Kasus
<ul style="list-style-type: none"> > 160-GTG-01A&B running > Crude Oil shipping Pump 381-PM-01 A,B,C, & D running > Heating medium pump 149-PM-01A running > SWI pump 135-PM-30A,B, & C running > VRU compressor 339-CM-03A running > Emergency generator off 	160-GTG01B Trip pada detik ke-1.00

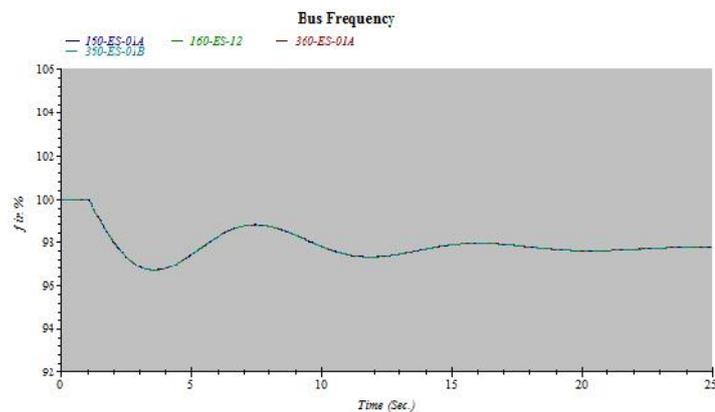
a) Studi kasus pada operational normal, Generator 160-GTG-01B Off (TS3).

Pada gambar 5.13 dan 5.15 merupakan hasil simulasi bilamana generator 160-GTG-01B mengalami gangguan saat kondisi tidak ada aktifitas pengiriman minyak ke kapal. Terlihat pada gambar 5.13 adanya perubahan beban generator 160-GTG-01A dari 1,65 MW menjadi 3,3 MW akibat menerima limpahan dari generator B.



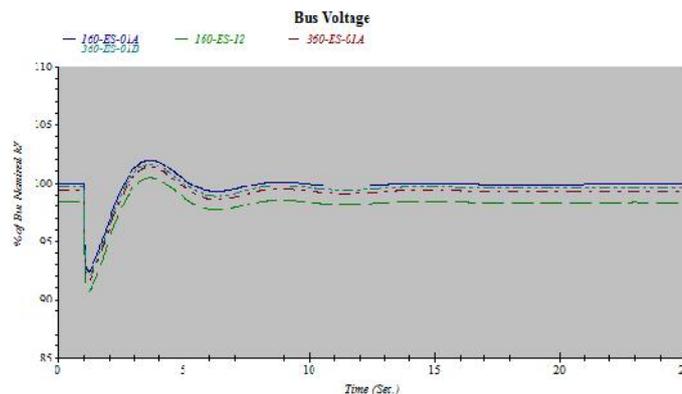
Gambar 5.16 Perubahan beban generator 160-GTG-01A saat generator B mengalami gangguan, pada beban normal tanpa adanya aktifitas *loading* minyak.

Sedangkan pada gambar 5.14, frekuensi pada tiap bus mengalami *swing* sampai 10 detik setelah generator mengalami gangguan. Besarnya osilasi frekuensi bus pada tiap bus tidak begitu signifikan, yaitu terjadi penurunan sampai 96,8%. kondisi ini masih dalam batas toleransi dimana kondisi minimal frekuensi yang diizinkan adalah 95%.



Gambar 5.17 Perubahan frekuensi bus saat generator 160-GTG-01B mengalami gangguan, pada beban normal tanpa adanya aktifitas *loading* minyak.

Untuk tegangan tiap bus pada kondisi ini, sedikit mengalami osilasi sampai pada detik 6, dengan titik terendah pada 90,6%. Hal ini masih dalam batas toleransi, dimana tegangan minimum adalah 85% pada saat transien.

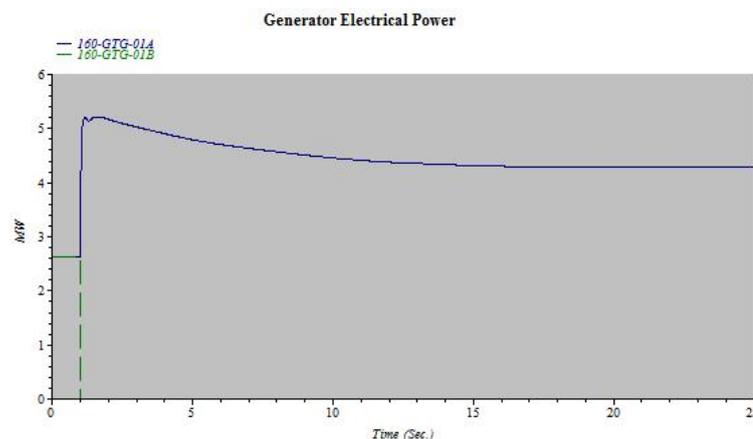


Gambar 5.18 Perubahan tegangan bus saat generator 160-GTG-01B mengalami gangguan, pada beban normal tanpa adanya aktifitas *loading* minyak.

Beban keseluruhan pada kelistrikan di Hess akan bertambah apabila ada aktifitas pengiriman minyak ke kapal (*loading*). Pada saat *loading*, keempat motor dengan masing-masing menyerap daya sebesar 450 KW akan dijalankan, sehingga total beban sebesar 5,2 MW yang di suplai oleh dua unit generator dengan kapasitas masing-masing sebesar 4,3 MW. Bilamana salah satu generator mengalami gangguan, tentunya akan mengakibatkan pelimpahan beban yang sangat besar (*load rejection*) pada generator satunya.

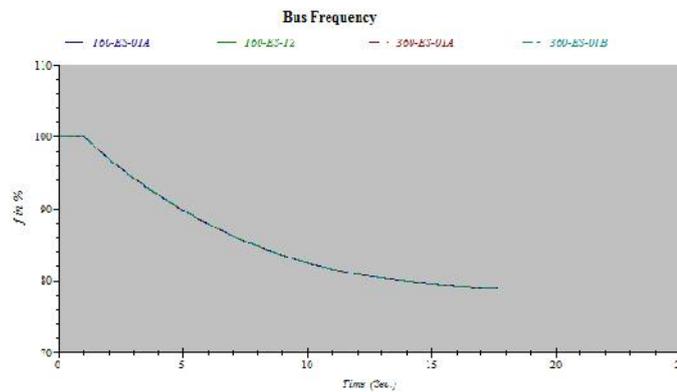
b) Studi kasus pada saat ada aktivitas pengiriman minyak ke kapal, Generator 160-GTG-01B Off (TS3a).

Pada gambar 5.16 sampai 5.18 menunjukkan respon frekuensi dan tegangan, serta penambahan beban pada generator akibat generator B mengalami gangguan. Gambar 5.16 menunjukkan total beban yang di tanggung oleh generator 160-ES01A mencapai 5,2 MW, hal ini tentunya akan mengakibatkan generator mengalami *over load*. Untuk mengatasi masalah ini perlu adanya pelepasan beban *load shedding*.



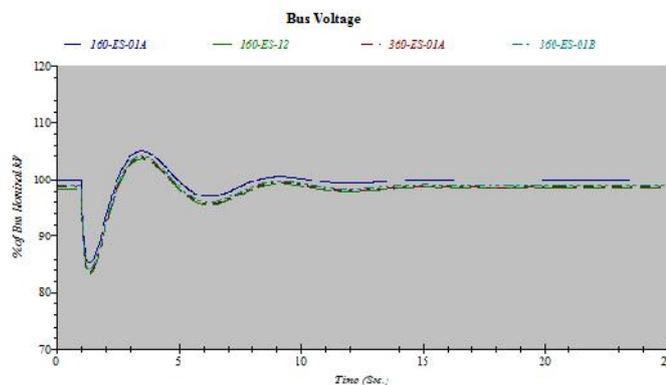
Gambar 5.19 Perubahan beban generator 160-GTG-01A saat generator B mengalami gangguan, pada saat adanya aktifitas *loading* minyak.

Respon frekuensi terlihat pada gambar 5.20 dibawah ini, frekuensi generator 160-ES-01A menurun secara drastis sampai pada tingkat 79%, yang akan mengakibatkan *under frekuensi*. Agar sistem dapat dipertahankan kestabilannya, maka diperlukan adanya pelepasan beban (*load shedding*), sehingga beban yang ditanggung oleh generator menjadi berkurang.



Gambar 5.20 Perubahan frekuensi bus saat generator 160-GTG-01B mengalami gangguan, pada saat aktifitas *loading* minyak.

Pada tegangan tiap bus juga mengalami osilasi yang cukup besar yaitu mengalami penurunan sampai 83,2% (*under voltage*), kondisi ini tentunya sudah diluar dari toleransi yang diizinkan (Tripatra, 2007), yaitu minimum tegangan 85% pada saat transien.



Gambar 5.21 Perubahan tegangan bus saat generator 160-GTG-01B mengalami gangguan, pada saat adanya aktifitas *loading* minyak.

Dari ketiga parameter pengamatan diatas, dapat diketahui bahwa generator 160-GTG-01A mengalami *overload*, *under frequency*, dan *under voltage*. Untuk mengatasi permasalahan tersebut perlu adanya pelepasan beban (*load shedding*), yang akan di bahas pada sub bab 5.2 berikut ini.

5.2. Rancangan Pelepasan Beban Pada Sistem Tenaga Listrik Di Hess

Pelepasan beban (*load shedding*) merupakan cara untuk menyeimbangkan energi yang dibangkitkan oleh generator dengan kebutuhan beban. Untuk prioritas peralatan yang harus dilepas saat adanya *load shedding* sebagaimana tabel 5.6 berikut:

Tabel 5.8 Prioritas *load shedding*.

Prioritas	Keterangan	Tag	Total Daya (MW)	Konsekuensi
1	Crude Oil Shipping Pump	381-PM-01 A/B/C/D	1.800	Terhentinya proses pengiriman minyak ke kapal, minyak di tampung di <i>tank</i>
2	Vapor Recovery Unit Compressor	339-CM-03 A/B	0.481	Terbuangnya gas tekanan rendah (<3 Atm) menuju <i>flare</i> .
3	Sea Water Intake Pump	135-PM-30 A/B/C	0.480	Terhentinya unit pembuangan gas H ₂ S (Hydrogen Sulfur), Pengiriman gas terhenti

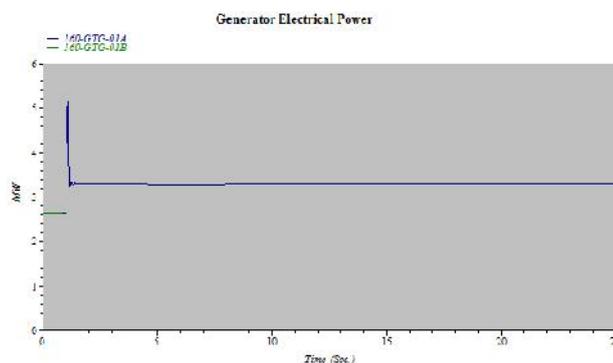
Pada studi kasus ini, akan dilakukan skema pelepasan beban secara cepat (*fast load shedding*) dikarenakan generator 160-GTG01B *trip* (TS4).

Dengan kondisi awal sebagaimana pada studi kasus sub bab 5.1.3. Dimana salah satu pembangkit mengalami gangguan saat proses pengiriman minyak *loading* berlangsung. Detail studi kasus pada sub bab ini, terlihat pada tabel 5.9.

Tabel 5.9 Detail studi kasus *load shedding* (TS4).

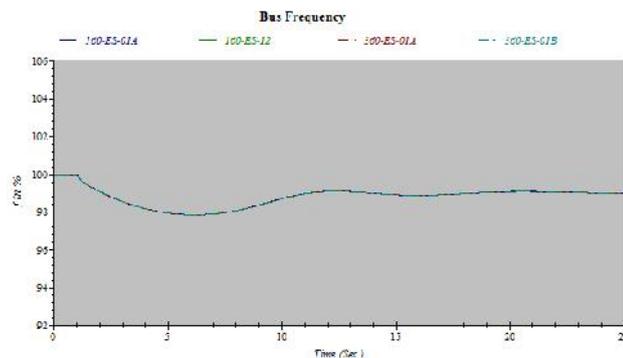
Studi Kasus TS4		
Kondisi Awal	Kasus	Load Shedding pada detik ke 1.10
<ul style="list-style-type: none"> > 160-GTG-01A & B running > Crude Oil shipping Pump 381-PM-01 A,B,C, & D running > Heating medium pump 149-PM-01A running > SWI pump 135-PM-30A,B, & C running > VRU compressor running > Emergency generator off 	160-GTG-01B <i>trip</i> pada detik ke 1.00	<ul style="list-style-type: none"> 381-PM-01A 381-PM-01B 381-PM-01C 381-PM-01D

Selanjutnya dilakukan simulasi dan pengamatan terhadap perubahan daya pada generator, serta tegangan dan frekuensi pada tiap bus. Dari gambar 5.22 terlihat pengurangan daya yang ditanggung oleh generator 160-ES-01A, setelah dilakukan pelepasan beban (*load shedding*). Total daya yang disuplai oleh generator menjadi 3,3 MW yang sebelumnya adalah 5,2 MW.



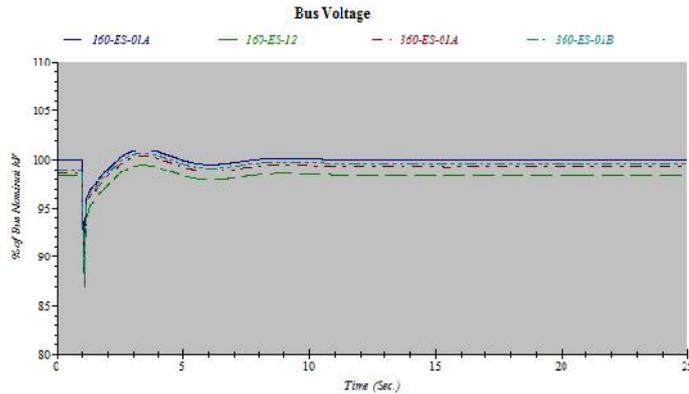
Gambar 5.22 Perubahan daya generator 160-GTG-01A setelah dilakukan pelepasan beban (*load shedding*).

Setelah dilakukan pelepasan beban (*load shedding*) pada waktu 0,01 detik, sebagaimana *response* dari spesifikasi *circuit breaker* pada lampiran 8, terlihat pada gambar 5.23, frekuensi pada masing-masing bus kembali normal yaitu pada 98%, hal ini tentunya sangat berbeda bila dibandingkan dengan hasil simulasi sebelum dilakukan pelepasan beban (*load shedding*) pada gambar 5.20 diatas.



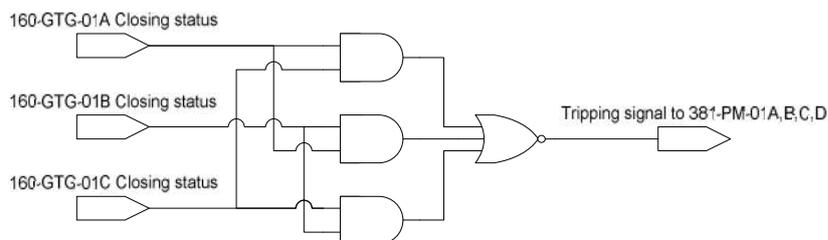
Gambar 5.23 Perubahan frekuensi tiap bus, setelah dilakukan pelepasan beban (*load shedding*).

Pada tegangan tiap bus juga mengalami kenaikan setelah dilakukan pelepasan beban (*load shedding*), dari sebelumnya hanya 83% menjadi 87%. Pada tingkat tegangan ini, sudah sesuai dengan HESS *Electrical Philosophy* yaitu minimum 85% pada saat transien.



Gambar 5.24 Perubahan tegangan tiap bus, setelah dilakukan pelepasan beban (*load shedding*).

Dari hasil simulasi pelepasan beban (*load shedding*) diatas, selanjutnya dirancang suatu logika sistem pelepasan beban (*load shedding*) sebagaimana terlihat pada gambar 5.25. Dengan memanfaatkan kontak status dari *circuit breaker* pada tiap generator sebagai masukan sistem pelepasan beban (*load shedding*). Selanjutnya signal dari sistem pelepasan beban akan mematikan suplai motor 381-PM-01A, B, C, D melalui *tripping coil* pada *circuit breaker*.



Gambar 5.25 Rancangan diagram logika sistem pelepasan beban (*load shedding*) di Hess.

Adapun tabel kebenaran dari logika sistem pelepasan beban diatas adalah:

Tabel 5.10 Logika kebenaran pelepasan beban (*load shedding*).

Generator status	160-GTG-01A	0	0	0	0	1	1	1	1
	160-GTG-01B	0	0	1	1	0	0	1	1
	160-GTG-01C	0	1	0	1	0	1	0	1
	Output	1	1	1	0	1	0	0	0

5.3. Ringkasan hasil studi kasus yang telah disimulasi

Berdasarkan simulasi dari beberapa studi kasus yang telah dilakukan, maka didapatkan berbagai parameter sebagaimana tabel 5.11 dibawah ini:

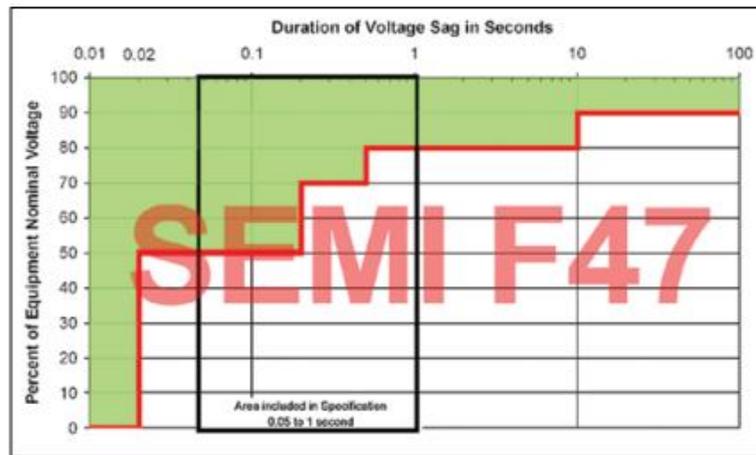
Tabel 5.11 Ringkasan hasil keseluruhan studi kasus.

Study Case	Description	Generator Availability (MW)		Load Demand								Osilasi during Transient				Remark
		Before	After	Before		Alteration		Transient		After		Voltage		Frequency		
					%	MW	%	MW	%	MW	%	Value	Std	Value	Std	
TS1	Motor SWI pump 135-PM-33C start	4.3	4.3	2.62	61%	0.16	4%	3.02	70%	2.8	65%	92.0%		99.5%		Acceptable
TS1a	Motor VRU comp (339-CM-03A) start setelah SWI pump (135-PM-33C) start	4.3	4.3	2.8	65%	0.48	11%	3.89	90%	3.3	77%	82.9%		97.8%		Inacceptable
TS1b	Motor VRU comp (339-CM-03A) start setelah dua generator parallel	8.6	8.6	2.8	33%	0.48	6%	3.86	45%	3.3	38%	89.9%		99.3%		Acceptable
TS2	Pada operational normal terjadi <i>short circuit</i> pada kabel yang menuju bus 160-ES-12	8.6	8.6	3.3	38%	2.8	33%	6.1	71%	7.2	84%	42.8%		97.0%		Inacceptable
TS2a	Circuit breaker yang menuju bus 160-ES-12 dibuka setelah terjadi <i>short circuit</i> .	8.6	8.6	3.3	38%	2.8	33%	6	70%	2.8	33%	101%	≥ 85 %	100.6%	≥ 95 %	Acceptable
TS3	Pada operational normal, Generator 160-GTG-01B Off.	8.6	4.3	3.3	38%	0	0%	3.3	77%	3.3	77%	90.6%		96.8%		Acceptable
TS3a	Pada aktivitas pengiriman minyak (381-PM-01A,B,C,D running), generator 160-GTG-01B Off.	8.6	4.3	5.2	60%	0	0%	5.2	121%	4.3	100%	83.2%		79.0%		Inacceptable
TS4	Pada aktivitas pengiriman minyak (381-PM-01A,B,C,D running), generator 160-GTG-01B Off. Load shedding pada pump 381-PM-01A,B,C,D	4.3	4.3	5.2	121%	1.8	42%	3.4	79%	3.3	77%	87.0%		98.0%		Acceptable
Keterangan:																
	Terjadi perubahan	TS1,1a&1b		Studi kasus dampak <i>starting</i> motor				TS3,3a		Studi kasus dampak lepasnya pembangkit						
	Melebihi batas toleransi	TS2,2a		Studi kasus dampak <i>short circuit</i>				TS4		Studi kasus dampak <i>load shedding</i>						

Simulasi studi kasus yang telah dilakukan pada bab ini, meliputi dampak *starting* motor, adanya hubung singkat (*short circuit*), dan lepasnya salah satu pembangkit (generator). Dari simulasi ketiga studi kasus diatas, terlihat mempunyai dampak terhadap kestabilan tegangan dan frekuensi pada sistem tenaga listrik. Selain itu, kemampuan dari pembangkit juga sangat berperan dalam menentukan kestabilan suatu sistem tenaga listrik. Untuk menjaga sistem tetap

dalam kondisi stabil, setelah mengalami gangguan, maka diperlukan tindakan pelepasan beban pada titik-titik yang telah ditentukan.

Beberapa studi kasus dapat di terima oleh sistem, dan ada beberapa yang perlu adanya pelepasan beban. Hal ini berdasarkan standard SEMI F47, IEC 61000-4-11, dan IEC 61000-4-34, sebagaimana gambar 5.27 dibawah ini:



Gambar 5.26 Standard osilasi tegangan berdasarkan SEMI F47, IEC 61000-4-11, dan IEC 61000-4-34 (sumber: www.netaworld.org).