

Analisis Stabilitas Transien Dan Perancangan Pelepasan Beban Pada Sistem Kelistrikan PT.SEMEN TONASA

Moh.Riscy Madina, Ardyono Priyadi, dan Margo Pujiantara

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

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

E-mail: rizqymadina@gmail.com, priyadi@ee.its.ac.id, margo@ee.its.ac.id

Abstrak — PT. SEMEN TONASA merupakan salah satu unit pengolahan semen yang berada di daerah Pangkep, Sulawesi Selatan. Untuk dapat menunjang kegiatan operasionalnya, PT.SEMEN TONASA mengoperasikan 4 unit *steam turbin generator* dengan kapasitas masing-masing 2x35 MW dan 2x25 MW serta terhubung dengan *grid* PLN sebesar 1500 MVASc. Pada PT. SEMEN TONASA, stabilitas transien belum dianalisis secara mendalam sehingga perlu dilakukan studi stabilitas transien untuk mengetahui kestabilan sistem saat terjadi gangguan transien. Pada tugas akhir ini difokuskan pada analisis kestabilan transien meliputi kestabilan tegangan, kestabilan frekuensi dan kestabilan sudut rotor saat terjadi *generator outage*, *motor starting* dan gangguan hubung singkat. Dari hasil simulasi menunjukkan bahwa pada kasus lepasnya generator mengakibatkan sistem tidak stabil. Untuk mengembalikan kestabilan sistem, pada kasus lepasnya generator (BTGE.GEN01) memerlukan pelepasan beban 2 tahap dengan melepas 25.225% dari total beban (27.3304 MW). Sedangkan pada kasus lepasnya generator (BTGN.GEN01) memerlukan pelepasan beban 3 tahap dengan melepas 48.075% dari total beban (54.7444 MW). Saat hubung singkat pada level tegangan 11 KV mengakibatkan sistem tidak stabil sehingga perlu dilakukan pelepasan beban 3 tahap. Selain itu pada kasus hubung singkat dilevel tegangan 70 KV, setiap nilai level tegangan akan turun setelah terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa pada level tegangan 70 KV, namun setelah CB T5.CB70KV.06 open maka nilai tegangan sesaat menjadi 137,571% dan akan kembali *steady state* pada 100,135%. Pada kasus *motor starting* tidak terlalu berpengaruh pada stabilitas sistem, penurunan tegangan terendah pada 96,9587% dan stabil pada 99.3167%.

Kata Kunci — kestabilan transien, gangguan transien, pelepasan beban

I. PENDAHULUAN

SUATU sistem dikatakan stabil ketika terdapat keseimbangan antara daya mekanik pada penggerak utama generator dengan daya output listrik. Dalam keadaan setimbang maka generator berputar pada kecepatan sinkron. Daya output listrik sangat dipengaruhi oleh fluktuasi beban dimana ketika terjadi kenaikan atau penurunan beban maka harus diikuti oleh perubahan daya mekanik yang dihasilkan oleh *prime mover*. Apabila *prime mover* tidak mampu menyesuaikan dengan kondisi beban akan mengakibatkan kondisi sistem menjadi tidak stabil.

Stabilitas transien berhubungan dengan gangguan besar secara tiba-tiba seperti gangguan hubung singkat, pemutusan saluran secara tiba-tiba melalui *circuit breaker* (CB), serta pemindahan beban secara tiba-tiba. Apabila gangguan besar terjadi dan tidak segera dihilangkan, maka percepatan atau perlambatan sudut rotor akan terjadi dan dapat mengakibatkan generator *lossing synchronism*.

Gangguan transien sangat mempengaruhi stabilitas dari suatu sistem kelistrikan pada industri-industri besar sehingga perlu dianalisis lebih lanjut. Di PT. SEMEN TONASA, stabilitas transien belum dianalisis secara mendalam sehingga perlu dilakukan studi stabilitas transien untuk mengetahui kestabilan sistem saat terjadi gangguan transien. Pada tugas akhir ini difokuskan pada analisis kestabilan transien meliputi kestabilan tegangan, kestabilan frekuensi dan kestabilan sudut rotor saat terjadi *generator outage*, *motor starting* dan gangguan hubung singkat serta analisis mekanisme pelepasan beban yang handal untuk mengatasi gangguan.

II. KESTABILAN TRANSIEN

A. Kestabilan Sistem Tenaga

Kestabilan sistem tenaga listrik secara luas dapat didefinisikan sebagai kemampuan dari satu sistem tenaga listrik untuk tetap berada dalam kondisi seimbang dalam operasi normal dan dapat memperoleh kembali kondisi seimbang setelah sistem mengalami gangguan.

Berdasarkan Paper IEEE *definition and classification of power system stability*, kestabilan sistem tenaga listrik dibagi menjadi tiga kategori yaitu [2]:

1. Kestabilan sudut rotor [1]

Kestabilan sudut rotor adalah kemampuan dari beberapa mesin sinkron yang saling terinterkoneksi pada suatu sistem tenaga untuk mempertahankan kondisi sinkron.

2. Kestabilan frekuensi [2]

Kestabilan ini berkaitan dengan kemampuan dari sistem untuk mempertahankan kestabilan frekuensi akibat gangguan pada sistem yang mengakibatkan ketidakseimbangan antara pembangkitan dan beban.

3. Kestabilan tegangan [2]

Kestabilan tegangan dapat diartikan sebagai kemampuan dari sistem tenaga listrik untuk mempertahankan kestabilan nilai tegangannya di semua bus pada sistem dalam kondisi operasi normal maupun setelah terjadi gangguan.

B. Kestabilan Transien

Kestabilan transien merupakan kemampuan dari sistem tenaga listrik untuk mempertahankan kondisi sinkron ketika sistem mengalami gangguan transien [1]. Gangguan transien ini berupa gangguan besar yang terjadi pada sistem seperti gangguan hubung singkat, lepasnya pembangkit, *motor starting* serta penambahan beban secara tiba-tiba.

C. Pelepasan Beban [3]

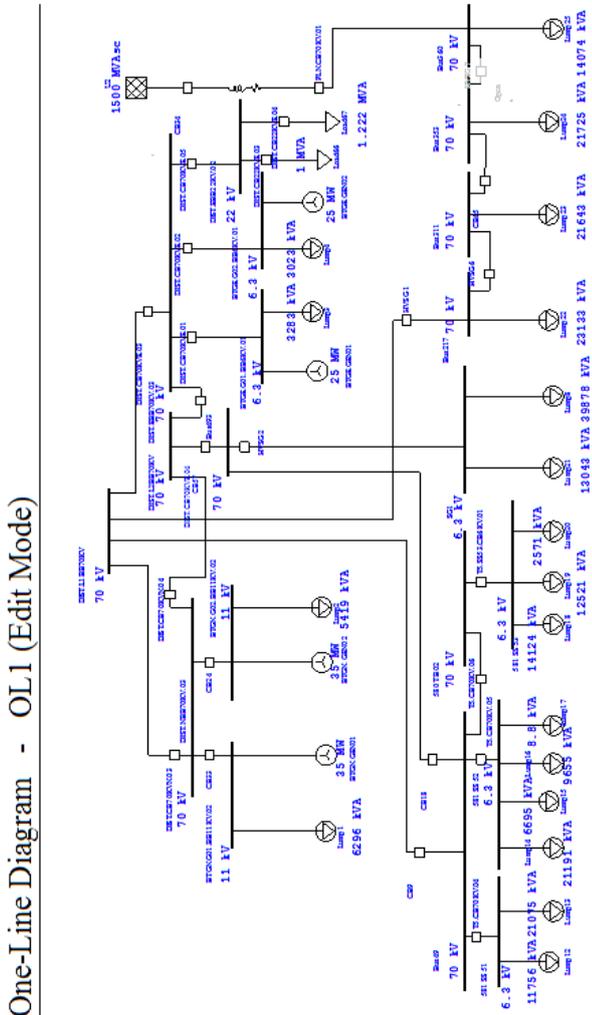
Jika terjadi gangguan pada sistem yang menyebabkan besarnya suplai daya yang dihasilkan oleh pembangkit tidak mencukupi kebutuhan beban misalnya karena adanya pembangkit yang lepas (*trip*), maka untuk mencegah

terjadinya ketidakstabilan sistem perlu dilakukan pelepasan beban (*load shedding*). Keadaan yang kritis pada sistem dapat dideteksi melalui frekuensi sistem yang menurun dengan cepat.

Pelepasan beban dapat dilakukan dengan dua cara yaitu :

1. Pelepasan beban secara manual
2. Pelepasan beban secara otomatis

III. SISTEM KELISTRIKAN PT. SEMEN TONASA



Gambar 1. Single line diagram PT. SEMEN TONASA

Pada gambar 1. ditunjukkan *single line diagram* PT.SEMEN TONASA. Sistem kelistrikan PT. SEMEN TONASA terdiri dari 4 *rating* tegangan yaitu 70 kV, 11 kV, 22 kV, 6.3 kV dan 0.4 kV. Untuk menunjang kegiatan operasionalnya, PT. SEMEN TONASA mengoperasikan 4 unit *steam turbin generator* dengan kapasitas masing-masing 2x35 MW,2x25 MW. Dari 4 unit generator tersebut, 1 unit dioperasikan sebagai *swing generator* yaitu generator BTGN.GEN02 dan sisanya dioperasikan sebagai *voltage control*. Selain itu sistem pembangkitan PT.SEMEN TONASA juga terhubung dengan *grid* PLN sebesar 1500 MVAsc,70 kV. Sehingga total seluruh pembangkitan pada PT.SEMEN TONASA sebesar 112.92 MW dengan total beban sebesar 109.185 MW.

IV. SIMULASI DAN ANALISIS TRANSIEN

A. Studi kasus simulasi stabilitas transien

Tabel 1. Kasus dan deskripsi analisis kestabilan transien

Kasus	Keterangan	Waktu (s)
Gen Out 1	Generator BTGE.GEN01 trip	5
Gen Out 1	Generator BTGE.GEN01 trip	5
LS	Load shedding tahap 1	5.341
	Load shedding tahap 2	6.072
Gen Out 1	Generator BTGE.GEN01 trip	5
LS	Load shedding status	5.2
Gen Out 2	Generator BTGN.GEN01 trip	5
Gen Out 2	Generator BTGN.GEN01 trip	5
LS	Load shedding tahap 1	5.401
	Load shedding tahap 2	5.593
	Load shedding tahap 3	5.945
Gen Out 2	Generator BTGN.GEN01 trip	5
LS	Load shedding status	5.2
SC 70 kV	Hubung singkat 3 fasa pada bus 580 TB 02 CB T5.CB70KV.06 open	2 2.3
SC 22 kV	Hubung singkat 3 fasa bus DIST.EBB22KV.02 CB DIST.CB70KVE.05 open	2 2.3
SC 11 kV	Hubung singkat 3 fasa pada bus BTGN.G01.BB11KV.02 (CB33,BTGN.CB11KVG01.02,BTGN.CB11KV 01.01) open	2 2.1 2.3
SC 11 kV	Hubung singkat 3 fasa pada bus BTGN.G01.BB11KV.02 LS	2 2.781 2.953 3.285
SC 11 kV	Hubung singkat 3 fasa pada bus BTGN.G01.BB11KV.02 (CB33,BTGN.CB11KVG01.02,BTGN.CB11KV 01.01) open (DIST.VB70KVN.01,BTGN.CB6KVG01.01) open	2 2.1 2.3 2.6
SC 6.3 kV	Hubung singkat 3 fasa pada bus SG1 CB HVSG 3 open	2 2.3
SC 0.4 kV	Hubung singkat 3 fasa pada bus 25 CB48 open	2 2.1
SC 10 kV	Hubung singkat 3 fasa pada bus 51-G-101B BUS CB T5.GS51.CB6KV.03	2 2.3
Mstart	CB T5.ER54.CB6KV.04 Closed (M532FN11 start)	2

B. Simulasi kasus generator outage

Pada subbab ini akan ditampilkan hasil simulasi untuk kasus *generator outage*.

B.1. Studi kasus Gen Out 1

Tabel 2. Respon sudut rotor untuk kasus Gen Out 1

Gen ID	Sudut rotor sebelum gangguan	Sudut rotor setelah gangguan
BTGE.GEN02	5.12°	11.07°
BTGE.GEN01	Outage	Outage
BTGN.GEN02	0.72°	-0.05°

Tabel 3. Respon frekuensi untuk kasus Gen Out 1

Frekuensi sebelum gangguan (%)	Frekuensi setelah gangguan (%)
100	Tidak stabil

Tabel 4.
Respon tegangan untuk kasus Gen Out 1

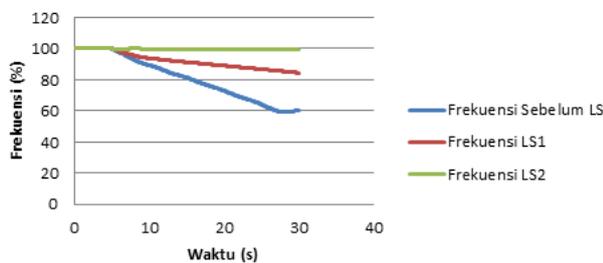
Bus	Tegangan sebelum gangguan (%)	Tegangan setelah gangguan (%)
580 TB 01	98.9403	Tidak stabil
582 ER 55A	97.6492	Tidak stabil
BTGN.G02.BB11KV.02	99.6814	Tidak stabil
Bus286	95.1943	Tidak Stabil
DIST.EBB22KV.02	98.9403	Tidak stabil

Dari data di atas dapat disimpulkan bahwa sistem tidak stabil dan harus dilakukan mekanisme pelepasan beban untuk mempertahankan kestabilan sistem.

B.2. Studi kasus Gen Out 1 LS

Pada kasus ini disimulasikan lepasnya generator BTGE.GEN01 dari sistem dan dilanjutkan dengan mekanisme *load shedding*. Mekanisme *load shedding* yang digunakan berdasarkan pada standar ANSI/IEEE C37.106-1987.

Perbandingan Frekuensi Sebelum & Sesudah LS

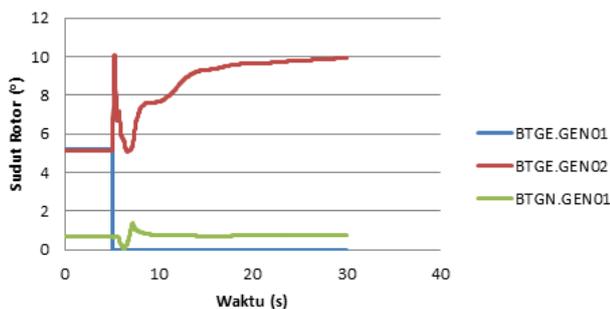


Gambar 2. Respon frekuensi sistem saat generator BTGE.GEN01 lepas dari sistem dan dilanjutkan dengan *load shedding* 2 tahap

Pada gambar 2. dapat dianalisis bahwa :

- a). Garis biru (sebelum *load shedding*)
Frekuensi sistem turun secara signifikan hingga pada detik ke 30 menjadi 59.1347% sehingga diperlukan *load shedding* untuk mengembalikan kestabilan sistem.
- b). Garis orange (*load shedding* tahap 1)
Load shedding tahap 1 dilakukan saat frekuensi sistem turun mencapai 98.83% Maka *load shedding* tahap 1 dilakukan saat 5.341 detik dengan melepas 10% total beban (10.9804 MW).
- c). Garis hijau (*load shedding* tahap 2)
Load shedding tahap 2 dilakukan saat frekuensi sistem turun mencapai 98.16% . Maka *load shedding* tahap 2 dilakukan saat 6.072 detik dengan melepas 15% total beban 16.35 MW). Setelah dilakukan *load shedding* tahap 2 frekuensi stabil di 99.8172% atau 49.99 Hz.

Respon Sudut Rotor

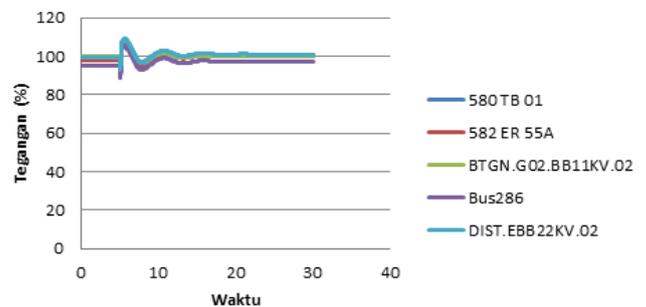


Gambar 3. Respon sudut rotor sistem saat generator BTGE.GEN01 lepas dari sistem dan dilanjutkan dengan *load shedding* 2 tahap

Pada gambar 3 dapat dilihat respon sudut rotor generator BTGE.GEN01, BTGE.GEN02, dan BTGN.GEN01. Sudut

rotor generator BTGE.GEN01 saat sebelum gangguan 5.23° dan berubah menjadi 0°. Pada sudut rotor BTGE.GEN02 saat sebelum gangguan 5.12° dan berubah menjadi 9.91°. Sedangkan untuk generator BTGN.GEN01 sudut rotor berubah dari 0,72° menjadi 0,73°.

Respon Tegangan



Gambar 4. Respon tegangan sistem saat generator BTGE.GEN01 lepas dari sistem dan dilanjutkan dengan *load shedding* 2 tahap

Pada gambar 4. dapat dilihat respon tegangan pada berbagai level tegangan. Sebelum gangguan frekuensi berada pada tegangan 98,9402° dan level terendah didapatkan turun hingga 91,0213° sedangkan untuk level tertinggi didapatkan 106,507°. Setelah dilakukan *load shedding* tahap 2 maka pada level setiap tegangan bus akan stabil pada 100,956°. Dari hasil analisis di atas dapat disimpulkan bahwa tegangan sistem masih dalam batas standar PLN (+5% dan -10%) sehingga tegangan sistem dapat dikatakan stabil.

Dari hasil analisis respon sudut rotor, frekuensi dan tegangan sistem dapat disimpulkan sistem dapat kembali stabil untuk kasus generator 51-G-101B lepas dari sistem setelah dilakukan *load shedding* tahap ke 2. Kuantitas beban yang harus dilepas adalah 21.393 MW atau 25.225% dari total beban.

B.3. Studi kasus Gen Out 2

Tabel 5.
Respon sudut rotor untuk kasus Gen Out 2

Gen ID	Sudut rotor sebelum gangguan	Sudut rotor setelah gangguan
BTGE.GEN01	5.23°	13.34°
BTGE.GEN02	5.12°	13.36°
BTGN.GEN01	Outage	Outage

Tabel 6.
Respon frekuensi untuk kasus Gne Out 2

Frekuensi sebelum gangguan (%)	Frekuensi setelah gangguan (%)
100	Tidak stabil

Tabel 7.
Respon tegangan untuk kasus Gen Out 1

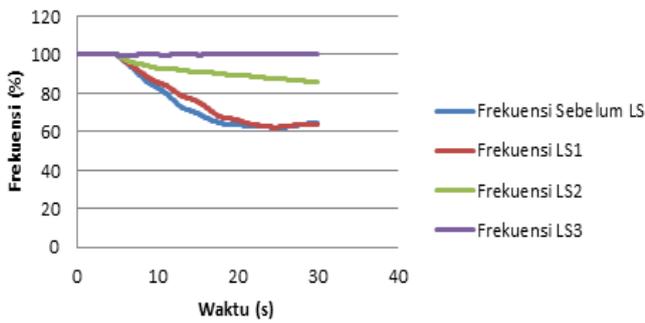
Bus	Tegangan sebelum gangguan (%)	Tegangan setelah gangguan (%)
580 TB 01	98.9403	Tidak stabil
582 ER 55A	97.6492	Tidak stabil
BTGN.G02.BB11KV.02	99.6814	Tidak stabil
Bus286	95.1943	Tidak Stabil
DIST.EBB22KV.02	98.8314	Tidak stabil

Dari data di atas dapat disimpulkan bahwa sistem tidak stabil dan harus dilakukan mekanisme pelepasan beban untuk mempertahankan kestabilan sistem.

B.4. Studi kasus Gen Out 2 LS

Pada kasus ini disimulasiakn lepasnya generator BTGN.GEN01 dari sistem dan dilanjutkan dengan mekanisme *load shedding*.

Perbandingan Frekuensi Sebelum & Sesudah LS



Gambar 5. Respon frekuensi sistem saat generator BTGN.GEN01 lepas dari sistem dan dilanjutkan dengan load shedding 3 tahap

Pada gambar 3. dapat dianalisis bahwa :
 a). Garis biru (sebelum load shedding)

Frekuensi sistem turun secara signifikan hingga pada detik ke 30 menjadi 64.6148% sehingga diperlukan load shedding untuk mengembalikan kestabilan sistem.

b). Garis orange (load shedding tahap 1)

Load shedding tahap 1 dilakukan saat frekuensi sistem turun mencapai 98.83% .Maka load shedding tahap 1 dilakukan saat 5.401detik dengan melepas 10% total beban (10.9804 MW).

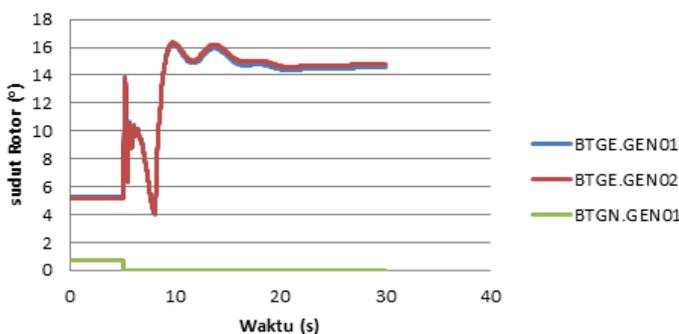
c). Garis orange (load shedding tahap 2)

Load shedding tahap 2 dilakukan saat frekuensi sistem turun mencapai 98.16% .Maka load shedding tahap 1 dilakukan saat 5.593detik dengan melepas 15% total beban 16.35 MW).

d). Garis ungu (load shedding tahap 3)

Load shedding tahap 3 dilakukan saat frekuensi sistem turun mencapai 97.5% yaitu pada detik ke 5.945 dengan melepas 22.85% total beban (27.414 MW). Setelah dilakukan load shedding tahap 3 frekuensi stabil di 99.9721% atau 49.97 Hz.

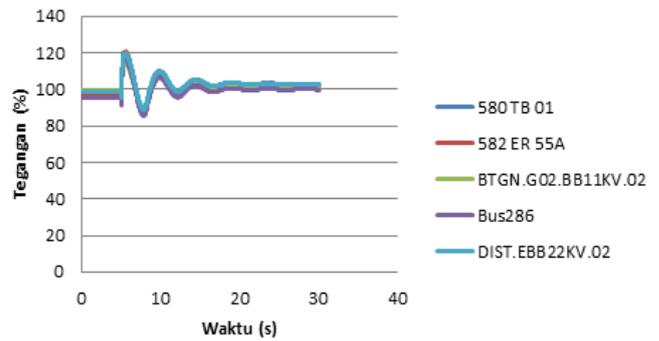
Respon Sudut Rotor



Gambar 6. Respon sudut rotor sistem saat generator BTGN.GEN01 lepas dari sistem dan dilanjutkan dengan load shedding 3 tahap

Pada gambar 6. dapat dilihat respon sudut rotor generator BTGE.GEN01, BTGE.GEN02, dan BTGN.GEN01 setelah dilakukan pelapasan beban berdasarkan status. Sudut rotor generator BTGE.GEN01 saat sebelum gangguan 5.23° dan berubah menjadi 14.53° . Pada sudut rotor BTGE.GEN02 saat sebelum gangguan $5,12^\circ$ dan berubah menjadi 14.75° . Sedangkan untuk generator BTGN.GEN01 sudut rotor berubah dari $0,72^\circ$ menjadi 0° .

Respon Tegangan



Gambar 7. Respon tegangan sistem saat generator BTGN.GEN01 lepas dari sistem dan dilanjutkan dengan load shedding 3 tahap

Pada gambar 7 dapat dilihat respon tegangan pada berbagai level tegangan. dapat dilihat respon tegangan sistem setelah load shedding tahap 3 pada detik ke 5,221. Setelah dilakukan load shedding tahap 3 didapatkan nilai terendah pada 91,4496 dan kemudian kembali stabil pada tegangan 102,869. Dari hasil analisis di atas dapat disimpulkan bahwa tegangan sistem masih dalam batas standar PLN (+5% dan -10%) sehingga tegangan sistem dapat dikatakan stabil.

Dari hasil analisis respon sudut rotor, frekuensi dan tegangan sistem dapat disimpulkan sistem dapat kembali stabil untuk kasus generator BTGN.GEN01 lepas dari sistem setelah dilakukan load shedding tahap ke 3. Kuantitas beban yang harus dilepas adalah 54.7444 MW atau 50.225% dari total beban.

C. Simulasi kasus short circuit

Pada subbab ini akan ditampilkan hasil simulasi untuk kasus Short circuit.

C.1. Simulasi kasus SC 70 kV

Tabel 8.
Respon sudut rotor untuk kasus SC 70 kV

Gen ID	Sudut rotor sebelum gangguan	Sudut rotor steady state
BTGE.GEN01	5.23°	-23.14°
BTGE.GEN02	5.12°	-23.05°
BTGN.GEN01	0.72°	0.77°

Tabel 9.
Respon frekuensi untuk kasus SC 0.70 kV

Frekuensi sebelum SC (%)	Frekuensi maksimum saat SC (%)	Frekuensi Steady State (%)
100	100.43	100.538

Tabel 10.
Respon tegangan untuk kasus SC 70 kV

Bus	Tegangan sebelum gangguan (%)	Tegangan minimum saat SC (%)	Tegangan steady state (%)
580 TB 01	98.9403	8.93765	100.326
582 ER 55A	97.6492	8.8459	99.1761
BTGN.G02.BB11KV.02	99.6814	32.5996	100.003
Bus286	95.1943	8.60443	96.5973
DIST.EBB22KV.02	98.8314	8.91597	100.086

Dari data di atas dapat disimpulkan bahwa sistem masih aman karena frekuensi, tegangan, dan sudut rotor generator masih dalam kondisi aman.

C.2. Simulasi kasus SC 22 kV

Tabel 11.

Respon sudut rotor untuk kasus SC 22 kV

Gen ID	Sudut rotor sebelum gangguan	Sudut rotor steady state
BTGE.GEN01	5.23°	5.18°
BTGE.GEN02	5.12°	5.07°
BTGN.GEN01	0.72°	0.72°

Tabel 12.

Respon frekuensi untuk kasus SC 22 kV

Frekuensi sebelum SC (%)	Frekuensi maksimum saat SC (%)	Frekuensi steady State (%)
100	101.132	100.059

Tabel 13.

Respon tegangan untuk kasus SC 22 kV

Bus	Tegangan sebelum gangguan (%)	Tegangan minimum saat SC (%)	Tegangan steady state (%)
580 TB 01	98.9403	8.93765	99.081
582 ER 55A	97.6492	8.8459	97.8044
BTGN.G02.BB11KV.02	99.6814	32.5996	99.7253
Bus286	95.1943	8.60443	95.3368
DIST.EBB22KV.02	98.8314	8.91597	0

Dari data di atas dapat disimpulkan bahwa sistem masih aman karena frekuensi, tegangan, dan sudut rotor generator masih dalam kondisi aman.

C.3. Studi kasus SC 11 kV

Tabel 14.

Respon sudut rotor untuk kasus SC 11 kV

Gen ID	Sudut rotor sebelum gangguan	Sudut rotor setelah gangguan
BTGE.GEN01	5.23°	13.34°
BTGE.GEN02	5.12°	13.36°
BTGN.GEN01	0.72°	0°

Tabel 15.

Respon frekuensi untuk kasus SC 11 kV

Frekuensi sebelum gangguan (%)	Frekuensi setelah gangguan (%)
100	Tidak stabil

Tabel 16.

Respon tegangan untuk kasus SC 11 kV

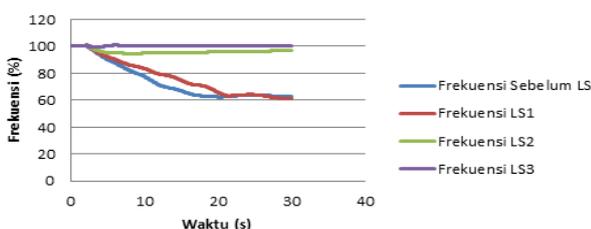
Bus	Tegangan sebelum gangguan (%)	Tegangan setelah gangguan (%)
580 TB 01	98.9403	Tidak stabil
582 ER 55A	97.6492	Tidak stabil
BTGN.G02.BB11KV.02	99.6814	Tidak stabil
Bus286	95.1943	Tidak Stabil
DIST.EBB22KV.02	98.9403	Tidak stabil

Dari data di atas dapat disimpulkan bahwa sistem tidak stabil dan harus dilakukan mekanisme pelepasan beban untuk mempertahankan kestabilan sistem.

C.4. Studi kasus SC11 kV LS

Pada kasus ini disimulasikan terjadi gangguan hubung singkat pada 11 kV BTGN.G01.BB11kV.02 dan dilanjutkan dengan mekanisme load shedding.

Perbandingan Frekuensi Sebelum & Sesudah LS



Gambar 8.. Respon frekuensi sistem saat terjadi gangguan hubung singkat pada bus 11 kV BTGN.G01.BB11kV.02 dan dilanjutkan dengan load shedding 3 tahap

Pada gambar 8. dapat dianalisis bahwa :

a). Garis biru (sebelum load shedding)

Frekuensi sistem turun secara signifikan hingga pada detik ke 30 menjadi 62.8217% sehingga diperlukan load shedding untuk mengembalikan kestabilan sistem.

b). Garis orange (load shedding tahap 1)

Load shedding tahap 1 dilakukan saat frekuensi sistem turun mencapai 98.83% .Maka load shedding tahap 1 dilakukan saat 2.781detik dengan melepas 10% total beban (10.9804 MW).

c). Garis abu-abu (load shedding tahap 2)

Load shedding tahap 2 dilakukan saat frekuensi sistem turun mencapai 98.16% .Maka load shedding tahap 2 dilakukan saat 2.953 detik dengan melepas 15% total beban (16.35 MW).

d). Garis ungu (load shedding tahap 3)

Load shedding tahap 3 dilakukan saat frekuensi sistem turun mencapai 97.5% yaitu pada detik ke 3.285 dengan melepas 22.85% total beban (27.414 MW). Setelah dilakukan load shedding tahap 3 frekuensi stabil di 100.126% atau 50.1 Hz.

Tabel 17.

Respon sudut rotor untuk kasus SC 11 kV LS

Gen ID	Sudut rotor sebelum gangguan	Sudut rotor setelah gangguan
BTGE.GEN01	5.23°	15.02°
BTGE.GEN02	5.12°	15.26°
BTGN.GEN01	0.72°	0°

Tabel 18.

Respon tegangan untuk kasus SC 11 kV LS

Bus	Tegangan sebelum gangguan (%)	Tegangan setelah gangguan (%)
580 TB 01	98.9403	103.375
582 ER 55A	97.6492	102.525
BTGN.G02.BB11KV.02	99.6814	100.544
Bus286	95.1943	100.228
DIST.EBB22KV.02	98.8314	103.276

C.5. Simulasi kasus SC 6.3 kV

Tabel 19.

Respon sudut rotor untuk kasus SC 6.3 kV

Gen ID	Sudut rotor sebelum gangguan	Sudut rotor steady state
BTGE.GEN01	5.23°	5.4°
BTGE.GEN02	5.12°	5.28°
BTGN.GEN01	0.72°	0.77°

Tabel 20.

Respon frekuensi untuk kasus SC 6.3 kV

Frekuensi sebelum SC (%)	Frekuensi maksimum saat SC (%)	Frekuensi steady State (%)
100	102.25	100.489

Tabel 21.

Respon tegangan untuk kasus SC 6.3 kV

Bus	Tegangan sebelum gangguan (%)	Tegangan minimum saat SC (%)	Tegangan steady state (%)
580 TB 01	98.9403	55.3548	100.508
582 ER 55A	97.6492	54.7865	99.3766
BTGN.G02.BB11KV.02	99.6814	68.4863	100.145
Bus286	95.1943	53.291	96.7816
DIST.EBB22KV.02	98.8314	53.291	96.7816

Dari data di atas dapat disimpulkan bahwa sistem masih aman karena frekuensi, tegangan, dan sudut rotor generator masih dalam kondisi aman.

C.6. Simulasi kasus SC 0.4 kV

Tabel 22.
Respon sudut rotor untuk kasus SC 0.4 kV

Gen ID	Sudut rotor sebelum gangguan	Sudut rotor steady state
BTGE.GEN01	5.23°	5.23°
BTGE.GEN02	5.12°	5.12°
BTGN.GEN01	0.72°	0.72°

Tabel 23.
Respon frekuensi untuk kasus SC 0.4 kV

Frekuensi sebelum SC (%)	Frekuensi maksimum saat SC (%)	Frekuensi steady State (%)
100	102.189	100

Tabel 24.
Respon tegangan untuk kasus SC 0.4 kV

Bus	Tegangan sebelum gangguan (%)	Tegangan minimum saat SC (%)	Tegangan steady state (%)
580 TB 01	98.9403	84.617	98.9416
582 ER 55A	97.6492	74.37	97.6518
BTGN.G02.BB11KV .02	99.6814	89.3813	99.6823
Bus286	95.1943	80.6063	95.1957
DIST.EBB22KV.02	98.8314	84.617	98.9416

Dari data di atas dapat disimpulkan bahwa sistem masih aman karena frekuensi, tegangan, dan sudut rotor generator masih dalam kondisi aman.

D. Simulasi kasus motor starting

Pada subbab ini akan ditampilkan hasil simulasi untuk kasus motor starting.

D.1. Simulasi kasus Mstart

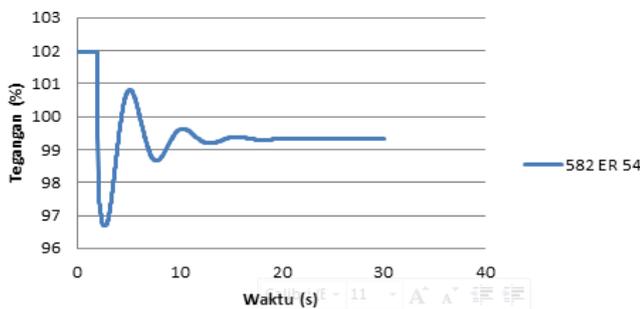
Tabel 25.
Respon sudut rotor untuk kasus Mstart

Gen ID	Sudut rotor sebelum gangguan	Sudut rotor steady state
BTGE.GEN01	10.44°	9.97°
BTGE.GEN02	10.33°	9.86°
BTGN.GEN01	4.88°	4.77°

Tabel 26.
Respon frekuensi untuk kasus Mstart

Frekuensi sebelum motor starting (%)	Frekuensi minimum saat motor starting (%)	Frekuensi steady State (%)
100	99.83	99.8297

Respon Tegangan



Gambar 9. Respon tegangan saat motor M532FN11 starting

Pada gambar 9 dapat dilihat respon tegangan pada saat motor M532FN11 starting. dapat dilihat respon tegangan pada saat motor M532FN11 starting. Pada bus 582 ER 54 nilai tegangan sebelum adanya motor starting 101,947%. Namun setelah terjadi motor starting pada detik ke 2 tegangan akan turun sampai 96,9587% kemudian akan kembali steady state pada nilai 99,3167%. Dari hasil analisis di atas dapat disimpulkan bahwa tegangan sistem masih dalam batas standar PLN (+5% dan -10%) sehingga

tegangan sistem dapat dikatakan stabil. Dari hasil analisis respon sudut rotor, frekuensi dan tegangan sistem dapat disimpulkan sistem dapat kembali stabil untuk kasus motor starting.

Dari hasil analisis respon sudut rotor, frekuensi dan tegangan sistem dapat disimpulkan sistem dapat kembali stabil untuk kasus motor starting.

V. KESIMPULAN/RINGKASAN

- Pada kasus lepasnya generator mengakibatkan sistem menjadi tidak stabil. Untuk mengembalikan kestabilan sistem, untuk lepasnya satu generator (BTGE.GEN01) memerlukan pelepasan beban 2 tahap dan untuk lepasnya generator (BTGN.GEN01) memerlukan pelepasan beban 3 tahap.

- Pada kasus hubung singkat di level tegangan 11 kV (bus di bawah generator) mengakibatkan sistem menjadi tidak stabil. Untuk mengembalikan kestabilan sistem memerlukan pelepasan beban 3 tahap.

- Pada kasus hubung singkat di level tegangan 22 kV, tegangan pada bus utama (22 kV) menurun hingga 0 % dikarenakan tidak adanya daya yang tersalurkan. Sedangkan untuk level tegangan selain (22KV) kembali stabil pada 99,7195%.

- Pada kasus hubung singkat di level tegangan 70 KV, setiap level tegangan nilai akan turun setelah terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa pada level tegangan 70 KV, namun setelah CB T5.CB70KV.06 open maka nilai tegangan sesaat menjadi 137,571% dan akan kembali steady state pada 100,135%.

- Pada kasus motor starting tidak terlalu berpengaruh pada stabilitas sistem, penurunan tegangan terendah pada 96,9587% dan stabil pada 99,3167%.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Kundur, Prabha, "Power System Stability and Control", McGraw-Hill Companies Inc, 1994.
 [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] Marsudi, Djiteng, "Operasi Sistem Tenaga Listrik", Yogyakarta : Graha Ilmu, 2006.

BIOGRAFI

Moh. Riscy Madina, dilahirkan di kota Probolinggo, 2 Januari 1991. Anak kedua dari 4 bersaudara. Pendidikannya berawal dari TK Taruna Dra.Zulaeha pada tahun 1996-1997. Kemudian melanjutkan ke SD Taruna Dra.Zulaeha pada tahun 1997-2003. Setelah itu ia melanjutkan pendidikannya ke SLTP Taruna Dra. Zulaeha pada tahun 2003-2006, setelah lulus ia diterima sebagai murid SMA Taruna Dra. Zulaeha pada tahun 2006 - 2009. Pada tahun yang sama ia masuk ke Jurusan D3 Teknik Elektro-ITS hingga lulus tahun 2012. Kemudian ia melanjutkan studi Program Sarjana di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya lewat program Lintas Jalur dan mengambil bidang studi Teknik Sistem Tenaga.

