

# ANALISIS MEKANISME PELEPASAN BEBAN TERHADAP PENGARUH KESTABILAN FREKUENSI DAN TEGANGAN AKIBAT PUTUSNYA GENERATOR PADA GARDU INDUK TAMBAK LOROK

**Raihan Fakhri Jozi 1(Mahasiswa)<sup>1</sup>, Dr. Ir. Muhamad Haddin M.T. (Pembimbing 1)<sup>1</sup>,  
Gunawan S.T., M.T. (Pembimbing 2)<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung

<sup>1</sup> raihan0820@std.unissula.ac.id

**Abstrak** – 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. Permasalahan yang timbul adalah gangguan yang terjadi secara tiba-tiba seperti lepasnya pembangkit, starting motor daya besar, dan hubung singkat yang mengakibatkan percepatan ataupun perlambatan putaran rotor sehingga hilangnya sinkronisasi dapat terjadi pada sistem. Solusi dalam meminimalisir terjadinya gangguan bertingkat dan menyebabkan sistem transmisi mengalami drop tegangan dan frekuensi yang tidak stabil, maka dilakukan antisipasi dengan melakukan skenario pelepasan beban (load shedding), yaitu melepaskan beban lebih pada salah satu sistem guna mengurangi dampak lebih lanjut seperti berkurangnya masa penggunaan (life time), meminimalisir terjadinya kebakaran pada konduktor saluran transmisi dikarenakan arus lebih pada sistem transmisi 150 kV.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa lepasnya satu generator ketika 3 generator ON tidak memerlukan adanya skema load shedding tahap ke-enam. Untuk mengembalikan kestabilan sistem, pada kasus lepasnya generator GTG 1.3 memerlukan LS1 10% (64,7% MW), LS2 15% (75 MW), LS3 25% (125 MW) dari total beban Mekanisme load shedding yang dilakukan menggunakan standar frekuensi. Selain itu, kasus motor starting masih diperbolehkan saat 4 generator ON karena tidak memberikan efek yang signifikan pada respon tegangan, frekuensi, dan sudut rotor pada sistem.

**Kata kunci:** kestabilan sistem tenaga, generator outage, pelepasan beban

**Abstract** – The stability of the power system in general can be defined as the ability of an electrical power system to maintain its sync state during and after the disruption. Problems arise are sudden disturbances such as the release of the generator, the starting of a large power motor, and a short-circuited that results in acceleration or slowdown rotor rotation so that the loss of synchronization can occur On the system. Solution to minimize the occurrence of tiered interference and cause the transmission system to experience drop voltage and unstable frequency, then do the anticipation by doing load shedding scenario, which is releasing the load More on one of the systems to further reduce the impact of life time, minimizing the occurrence of fires on the transmission line conductors due to more current on the 150 kV transmission system.

Simulated results indicate that the release of one generator when 3 ON generators does not require a sixth stage load shedding scheme. To restore system stability, in case of the release of GTG Generator 1.3 requires LS1 10% (64.7% MW), LS2 15% (75 MW), LS3 25% (125 MW) of total load load shedding mechanism performed using frequency standard. In addition, the case of motor starting is still allowed when 4 generators are ON because it does not provide a significant effect on the voltage response, frequency, and angle of the rotor on the system.

**Key words:** Power system stability, outage generator, load shedding

## I. PENDAHULUAN

Keseimbangan daya antara kebutuhan beban dengan kapasitas pembangkitan generator merupakan salah satu parameter dari kestabilan operasi sistem tenaga listrik. Namun dalam pengoperasian sistem tenaga listrik akan selalu terjadi perubahan beban sehingga pembangkit perlu menyesuaikan daya keluarannya melalui governor maupun pengaturan eksitasi. Hal ini perlu dilakukan agar kestabilan sistem tetap terjaga. Kestabilan sistem adalah kemampuan sistem tenaga listrik untuk mempertahankan sinkronisasi dan keseimbangan daya pembangkitan dengan daya

pembebanan dalam sistem. Dalam keadaan ini, semua generator berputar pada kecepatan sinkron. Gangguan-gangguan besar yang terjadi secara tiba-tiba seperti lepasnya pembangkit, starting motor daya besar, dan hubung singkat mampu mengakibatkan percepatan ataupun perlambatan putaran rotor sehingga hilangnya sinkronisasi dapat terjadi pada sistem.

Perkembangan sistem tenaga listrik baik pada beban maupun generator akan 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 akan mencapai kestabilan ketika daya mekanik pada penggerak utama generator (prime mover) seimbang dengan daya elektrik yang disalurkan ke beban. Kestabilan sistem tenaga listrik dikategorikan menjadi tiga, yaitu kestabilan frekuensi, sudut rotor, dan tegangan[2].

Pada saat terjadi perubahan di suatu sistem, seperti pada generator outage, motor starting, dan gangguan hubung singkat. Jika gangguan yang terjadi bernilai besar dan terjadi secara tiba-tiba dan dalam waktu cepat maka masalah kestabilan sistem dalam suatu sistem kelistrikan harus diperhatikan. Jika gangguan tidak dihilangkan dalam kurun waktu tertentu, maka hal ini akan menyebabkan generator kehilangan sinkronisasi dengan sistem[3]. Batasan maksimal waktu tersebut tergantung pada plant yang digunakan, tidak ada standarisasi secara umum.

Pada kasus Gardu Induk Tambak Lorok dibutuhkan suatu rancangan dari mekanisme pelepasan beban saat terjadi gangguan. Hal ini bertujuan untuk membuat sistem kembali stabil dan gangguan-gangguan tersebut tidak merusak peralatan-peralatan yang ada di sistem saluran transmisi pada Gardu Induk[3].

Solusi dalam meminimalisir terjadinya gangguan bertingkat dan menyebabkan sistem transmisi mengalami drop tegangan dan frekuensi yang tidak stabil, maka dilakukan antisipasi dengan melakukan skenario pelepasan beban (load shedding), yaitu melepaskan beban lebih pada salah satu sistem guna mengurangi dampak lebih lanjut seperti berkurangnya masa penggunaan (life time), meminimalisir terjadinya kebakaran pada konduktor saluran transmisi dikarenakan arus lebih pada sistem transmisi 150 kV. ETAP (Electrical and Transient Analysis Program) digunakan sebagai alat bantu dalam simulasi demi tercapainya keandalan sistem yang lebih baik[4].

Berdasarkan latar belakang tersebut, penulis akan mengangkat judul tugas akhir yaitu Analisis Mekanisme Pelepasan Beban Terhadap Pengaruh Kestabilan Frekuensi Dan Tegangan Akibat Putusnya Generator pada Gardu Induk Tambak Lorok.

Perumusan masalah pada Tugas Akhir ini adalah: Kestabilan operasi pada sistem kelistrikan di area Semarang setelah putusnya generator lalu keadaan frekuensi, tegangan dan bagaimana merancang pola mekanisme load shedding yang handal terhadap perubahan beban?

Tujuan dari Tugas Akhir ini ialah mengetahui bagaimana pola operasi sistem kelistrikan di Semarang setelah putusnya generator lalu melakukan simulasi dan analisis yang dapat mengatasi stabilitas pada respon frekuensi dan tegangan, dan melakukan perancangan suatu mekanisme pelepasan beban yang handal agar sistem kelistrikan dapat kembali stabil pada saat terjadi gangguan.

## II. TINJAUAN PUSTAKA/ LANDASAN TEORI

### A. PUSTAKA

Penelitian yang dilakukan oleh Friez Andrew Rotinsulu pada tahun 2015 berjudul “Analisa Stabilitas Transient STL Minahasa Menggunakan Metode Kriteria Luas Sama” telah membahas tentang diperlukan suatu analisis sistem tenaga listrik untuk menentukan apakah sistem tersebut stabil atau tidak jika terjadi gangguan.

Penelitian yang dilakukan oleh Andi M. Nur Putra, Arfita Yuana Dewi pada tahun 2013 berjudul “ Studi Analisa Kestabilan Tegangan Sistem 150 Kv Berdasarkan Perubahan Tegangan (Aplikasi PT. PLN Batam) “ bahwa Jatuh tegangan merupakan merupakan salah satu bentuk dari ketidakstabilan sistem dalam melakukan penyaluran energi listrik ke konsumen. Jatuhnya tegangan ini bisa disebabkan oleh terjadinya perubahan beban aktif maupun reaktif secara tiba-tiba, pasokan daya yang tidak memadai maupun gangguan yang terjadi pada sistem itu sendiri seperti misalnya lepasnya salah satu saluran transmisi atau pembangkit.

Maherianto (2010) dengan judul “Studi stabilitas transien multimesin pada sistem tenaga listrik”. Penelitian ini menganalisa bagaimana pengaruh gangguan tiga fasa simetris terhadap perilaku unit pembangkit (generator) saat kondisi peralihan dalam menentukan waktu kritis pemutus (Critical clearing time) gangguan tersebut.

### B. LANDASAN TEORI

Kestabilan dalam sistem tenaga merupakan kondisi dimana sistem tenaga mampu beroperasi dalam kondisi setimbang dalam keadaan operasi normal dan dapat kembali ke kondisi setimbang setelah terjadi gangguan pada sistem tenaga tersebut. Ketidakstabilan pada sistem tenaga dapat terjadi dengan berbagai macam cara tergantung dari konfigurasi sistem dan mode operasinya. Pada dasarnya permasalahan pada kestabilan yaitu tentang bagaimana caranya untuk mempertahankan operasi yang sinkron.

Sistem tenaga dinyatakan stabil bila daya input mekanik yang dihasilkan prime mover setimbang dengan daya output elektrik yang disalurkan ke beban. Apabila terjadi perubahan beban pada sistem akan menyebabkan terjadinya ketidakseimbangan daya mekanik dan elektrik dari generator. Apabila terjadi penurunan beban maka secara otomatis

daya output elektrik berkurang dan daya mekanik menjadi berlebih sehingga rotor generator mengalami penambahan kecepatan yang mengakibatkan hilangnya sinkronisasi dengan sistem. Sebaliknya apabila terjadi penambahan beban maka secara otomatis daya output elektrik bertambah dan daya mekanik menjadi berkurang karena semakin terbebannya generator sehingga putaran rotor generator mengalami perlambatan yang dapat pula menyebabkan hilangnya sinkronisasi dengan sistem. Percepatan dan perlambatan yang terjadi pada rotor generator tersebut dapat mengakibatkan hilangnya sinkronisasi pembangkit dengan sistem.

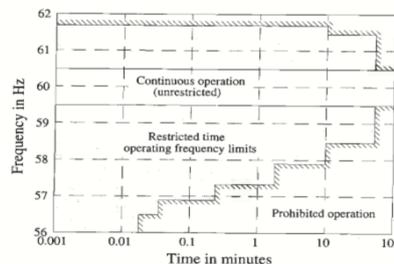
Kestabilan tegangan adalah kemampuan dari suatu sistem tenaga listrik untuk mempertahankan tegangan yang stabil pada semua bus dari sistem setelah mengalami gangguan. Kestabilan tegangan dipengaruhi oleh kemampuan untuk mengembalikan kesetimbangan dari kebutuhan daya untuk beban dan suplai beban dari sistem [2]. Gangguan yang terjadi biasanya adalah lepasnya beban secara tiba-tiba atau terjadinya kehilangan keseimbangan dari salah satu generator sehingga tegangan sistem menjadi turun secara signifikan. Kestabilan tegangan dipengaruhi oleh adanya gangguan besar dan kecil dalam jangka waktu yang lama ataupun singkat. Ketidakstabilan ini menyebabkan nilai tegangan menjadi naik ataupun turun di beberapa bus yang terdapat pada sistem. Hal ini disebabkan karena sistem tidak mampu menyuplai kebutuhan daya reaktif pada beban yang ada.

Kestabilan frekuensi merupakan kemampuan dari suatu sistem untuk dapat mempertahankan keadaan frekuensi yang stabil akibat gangguan pada sistem yang mengakibatkan ketidakseimbangan antara pembangkitan dan beban [2]. Secara umum masalah kestabilan frekuensi diakibatkan oleh ketidakmampuan dari respons suatu peralatan, terjadinya kesalahan koordinasi pada peralatan kontrol dan pengamanan / proteksi serta kurangnya daya cadangan pada pembangkitan.

Standar yang digunakan untuk menentukan operasi frekuensi yaitu ANSI/IEEE Std C37.102-. 2007 untuk diizinkan pada steam turbine generator dengan frekuensi sistem 60 Hz. Dalam tugas akhir ini sistem tenaga listrik menggunakan frekuensi 50 Hz sehingga perlu mengubah satuan pada standar dalam bentuk persen agar dapat digunakan untuk frekuensi 50 Hz. Berdasarkan referensi [4], frekuensi kerja yang diperbolehkan menurut standar ANSI/IEEE Std C37.102-. 2007.

Gambar 2.1 menjelaskan bahwa, terdapat tiga daerah operasi pada yaitu:

- 1 Restricted time operating frequency limits, merupakan daerah frekuensi kerja yang masih diperbolehkan namun bersifat sementara berdasarkan nilai frekuensi dan waktunya. Jika frekuensi operasinya terlalu kecil ataupun terlalu besar maka waktu yang diperbolehkan semakin singkat
- 2 Prohibited operation, merupakan daerah frekuensi yang dilarang, frekuensi kerja tidak diperbolehkan berada pada daerah tersebut.
- 3 Continuous operation, adalah daerah frekuensi normal, yaitu daerah frekuensi kerja yang diperbolehkan. Daerah continuous operation berada pada rentang 59,5-60,5 Hz, atau jika di representasikan dalam persentase yaitu pada rentang 99,17% - 100,83%.



**Gambar 2. 1** Standar Frekuensi untuk Steam Turbin

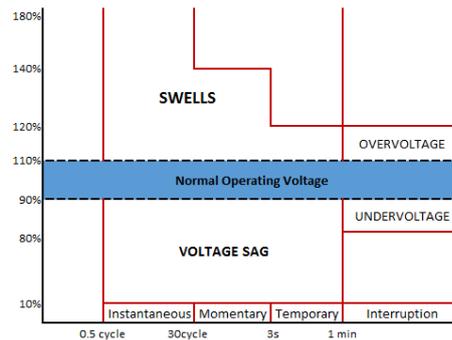
Menurut standar IEEE 2007, voltage sag adalah tegangan drop sementara 10% sampai 90% dari tegangan efektif pada frekuensi daya selama setengah tegangan efektif pada frekuensi daya selama setengah siklus sampai satu menit. Ada beberapa penyebab terjadinya voltage sag pada sistem tenaga listrik seperti hubung pendek, start-up dari motor-motor induksi besar, dan perubahan beban tiba-tiba. Salah satu penyebab voltage sag, adalah start-up motor induksi berkapasitas besar. Arus pengasutan selama proses start-up induksi dapat mencapai 5 sampai 6 kali arus nominal pada operasi normal.

Standar yang digunakan untuk tegangan nominal dalam kondisi normal adalah berdasarkan standar PLN, yaitu :

1. 500 kV +5%, -5%
2. 150 kV +5%, -10%
3. 70 kV +5%, -10%
4. 20 kV +5%, -10%

Sedangkan standar yang digunakan untuk kedip tegangan adalah IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality (IEEE Std 2007). Gambar 2.2 menunjukkan bahwa untuk kedip tegangan batas nilai yang diperbolehkan adalah 10% untuk momentary selama 3 detik sedangkan untuk temporary selama 1 menit [5].

Standar IEEE menggunakan persentase dari satuan yang diambil, misal titik drop terendah ialah 90% dari 50hz maka drop yang diperbolehkan ialah 49,1Hz. Begitu pula pada simulasi ETAP. Hasil simulasi juga menunjukkan output menggunakan perumpamaan persentase seperti yang dijelaskan dalam Standar IEEE.



**Gambar 2.2** Standar Tegangan IEEE Std 2007

Berdasarkan standar ANSI/IEEE Std C37.102-. 2007 terdapat dua skema pelepasan beban, yakni skema pelepasan beban 3 langkah dan 6 langkah seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.1 dan Tabel 2.2.

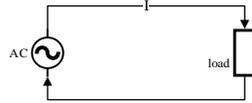
**Tabel 2.1** Skema Pelepasan Beban Tiga Langkah

Langkah	Titik Trip Frekuensi (Hz)		%	Persentase Beban yang Dilepas	Waktu Tunda (Cycles) pada Relay
1	59,3	49,41	98,83	10	6
2	58,9	49,08	98,16	15	6
3	58,5	48,75	97,5	Sesuai kebutuhan untuk menahan penurunan sebelum 58,2 Hz (97%)	

**Tabel 2.2** Skema Pelepasan Beban Enam Langkah

Langkah	Titik Trip (Hz)	Persentase Beban yang Dilepas	Waktu Tunda (Cycles) pada Relay
1	59,5	10	6
2	59,5	10	6
3	58,8	5	6
4	58,8	5	14
5	58,4	5	14
6	58,4	5	21

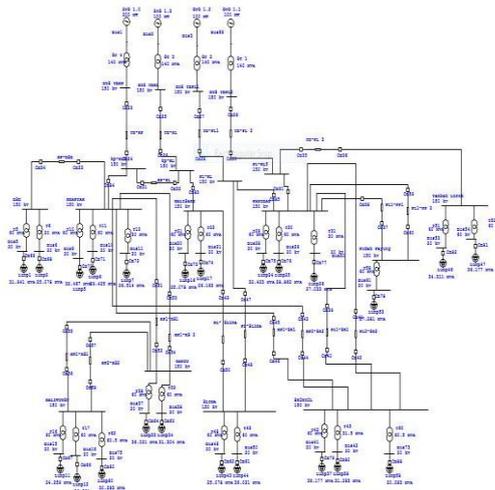
Gambar 2.3 memperlihatkan bahwa daya adalah energi yang dikeluarkan untuk melakukan usaha. Dalam sistem tenaga listrik, daya merupakan jumlah energi yang digunakan untuk melakukan kerja atau usaha. Daya listrik biasanya dinyatakan dalam satuan Watt atau *Horsepower* (HP), *Horsepower* merupakan satuan daya listrik dimana 1 HP setara 746 Watt atau lbf/second. Sedangkan Watt merupakan unit daya listrik dimana 1 Watt memiliki daya setara dengan daya yang dihasilkan oleh perkalian arus 1 Ampere dan tegangan 1 Volt. Daya (*load*) dinyatakan dalam P, Tegangan dinyatakan dalam V dan Arus dinyatakan dalam I.



Gambar 2. 3 Arah Aliran Arus Listrik

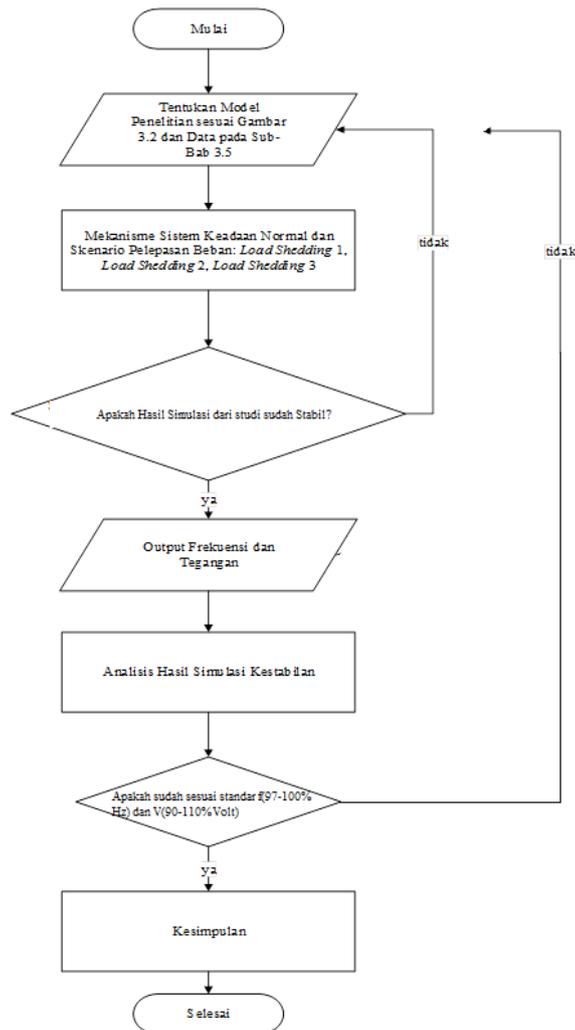
### III. METODE PENELITIAN/EKSPERIMEN

Berdasarkan data-data yang ada dilakukan pemodelan dalam bentuk single line diagram dari sistem kelistrikan di Jaringan transmisi 150 kV Semarang dalam software ETAP 12.6 yang ditunjukkan pada Gambar 3.1. Selanjutnya akan dilakukan simulasi dan analisis kestabilan frekuensi dan kestabilan tegangan dengan beberapa kasus kemungkinan terjadinya gangguan. Pada tugas akhir ini analisis dilakukan ketika terjadi generator outage, short circuit, dan motor starting.



Gambar 3. 1 Pemodelan Single Line Diagram transmisi 150 kV Semarang dengan software ETAP 12.6.0

Berikut ialah flow chart / diagram alir penelitian.



**Gambar 3.2** Diagram Alir Penelitian

Langkah – langkah dalam melakukan Analisis Mekanisme Pelepasan Beban pada Gardu Induk Tambak Lorok Akibat Putusnya Generator :

1. Pengumpulan Data, Mengumpulkan data – data generator dan pembebanan baru dari sistem kelistrikan saluran transmisi 150 kV di Semarang, seperti single line diagram, spesifikasi generator (governor dan eksiter), rating kabel, transformator, motor listrik, bus, dan pola operasinya.
2. Permodelan Sistem, Memodelkan sistem kelistrikan saluran transmisi 150 kV di Semarang yang telah terintegrasi. Permodelan ini dilakukan agar dapat melakukan analisis.
3. Simulasi dan Analisis Power Flow, Simulasi yang dilakukan pertama kali adalah simulasi aliran daya (Power Flow). Dari simulasi ini akan didapatkan profil tegangan tiap bus dan aliran daya pada tiap tiap saluran yang kemudian akan dijadikan acuan untuk analisis kestabilan frekuensi dan kestabilan tegangan.
4. Simulasi, analisis kestabilan frekuensi dan kestabilan tegangan, dan evaluasi load shedding existing Dari simulasi sistem selanjutnya akan didapatkan hasil yang akan dianalisis. Gangguan frekuensi dan tegangan yang disimulasikan akan disamakan dengan studi yang telah dilakukan sebelumnya. Dari hasil simulasi akan dapat terlihat mekanisme load shedding yang sebelumnya masih dapat atau tidak untuk menangani gangguan frekuensi dan tegangan yang terjadi ketika putusnya generator dan beban baru. Jika masih, maka mekanisme load shedding akan tetap digunakan. Jika tidak, maka akan direncanakan mekanisme load shedding yang lebih handal sehingga sistem dapat kembali stabil saat terjadi gangguan frekuensi dan tegangan.
5. Kesimpulan, Memberikan kesimpulan tentang kestabilan sistem akibat gangguan frekuensi dan tegangan yang terjadi di saluran transmisi 150 kV di Semarang serta memberikan rekomendasi untuk mengatasi gangguan yang terjadi agar sistem dapat mempertahankan kestabilannya.

Diagram flow chart penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.2

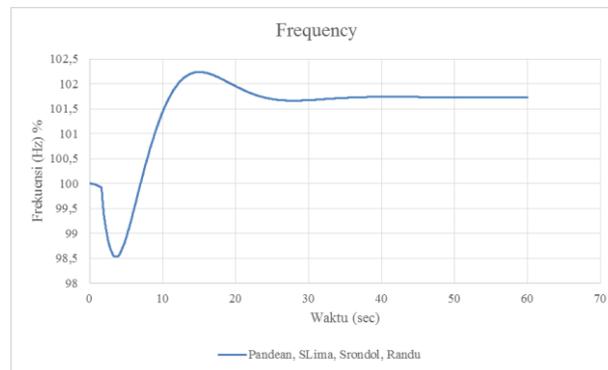
#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari skenario pelepasan beban (*load shedding*) dimana pada load shedding tahap 1 hingga load shedding tahap 3 generator 1.3 sama-sama dilepas pada detik ke 1,6 sedangkan beban pada detik ke 2 seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.1

**Tabel 4.1** Pengelompokan Kuantitas Beban Load Sedding Tahap 1, 2, dan 3

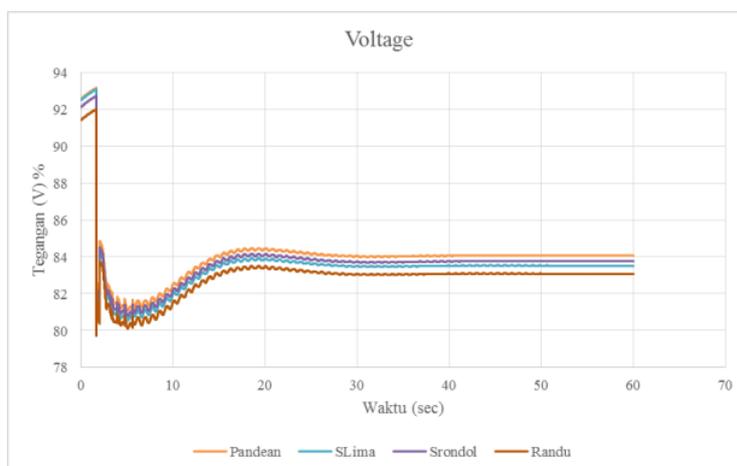
Rekayasa	Load Shedding	Beban (%)	MW
Gen 1.3 OFF + LS1	Load Shedding 1	10%	64,7
Gen 1.3 OFF + LS2	Load Shedding 2	15%	75,984
Gen 1.3 OFF + LS3	Load Shedding 3	25%	125

Pergerakan/respon frekuensi bus menunjukkan masing-masing mengalami penurunan, akan tetapi sistem kembali mengalami kestabilanya. Penurunan frekuensi terendah mencapai 98,5% pada detik ke 3,5. Penurunan frekuensi ini terjadi di karenakan suplai daya yang hilang dari generator GTG 1.3 yang hilang sebesar 100 MW dan pada detik ke 17,6 sistem kembali pada posisi stabil pada 101,2%. Namun dibandingkan dengan tanpa mekanisme stabilitas tahap 1 kondisi ini sedikit membaik. Berdasarkan standart referensi ANSI/IEEE Std C37.102-. 2007 [4] model frekuensi masih di perbolehkan seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4.1



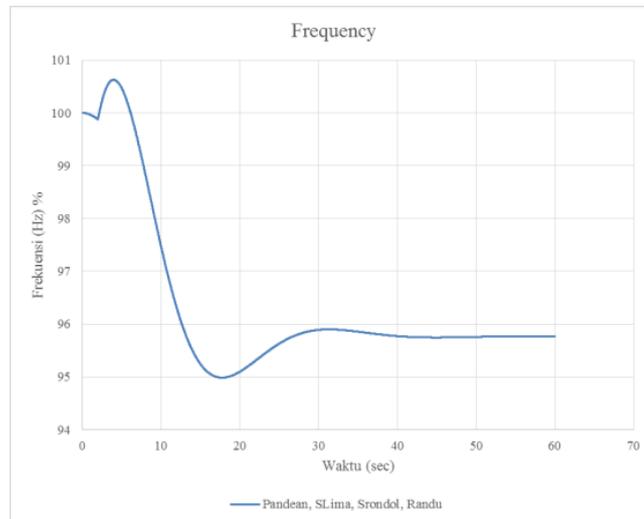
**Gambar 4. 1** Pergerakan Frekuensi Saat Generator GTG 1.3 Outage dari sistem dengan mekanisme Load Shedding tahap 1

Gambar 4.2 memperlihatkan bahwa pergerakan tegangan pada masing-masing bus mengalami penurunan saat detik ke 2,7. Serta masing-masing bus sempat naik 2% namun kembali turun dan mempertahankan posisinya 83-84%. Untuk Bus Randu mengalami drop tegangan sampai 80%. Penurunan tegangan ini disebabkan oleh Generator yang tiba-tiba berkurang sebesar 100 MW dan beban-beban pada setiap daerah tidak tersuplai secara penuh dan menalami drop tegangan. Namun dari hasil dengan Mekanisme *Load Shedding* Tahap 1 lebih baik ketimbang tanpa LS tahap 1.



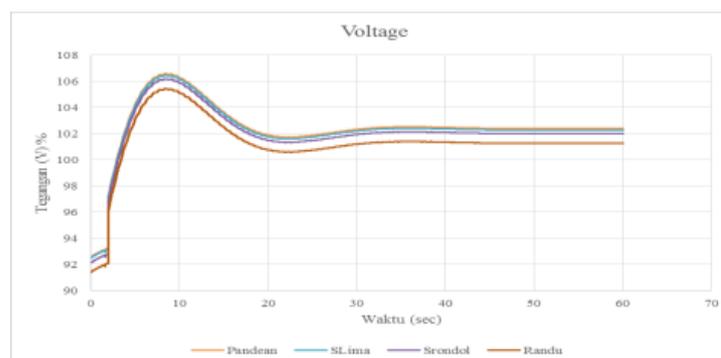
**Gambar 4.2** Pergerakan Tegangan kondisi Generator GTG 1.3 Outage dari Sistem dengan Mekanisme Load Shedding Tahap 1

Pergerakan respon frekuensi bus diatas menunjukkan masing-masing level tegangan mengalami penurunan,akan tetapi system kembali mengalami kestabilanya. Penurunan frekuensi terendah mencapai 94% pada detik ke 5 s. Penurunan frekuensi ini terjadi di karenakan suplai daya yang hilang dari generator GTG 1.3 yang hilang sebesar 100 MW dan pada detik ke 24 s sistem kembali *steady state* pada posisi 95,7% dari frekuensi normal. Namun dibandingkan LS1 dengan mekanisme stabilitas tahap 2 kondisi ini lebih baik dibandingkan dengan LS 1. Berdasarkan standart referensi ANSI/IEEE Std C37.102-. 2007 [4] model penurunan frekuensi ini masih di perbolehkan yang dijelaskan pada Gambar 4.3



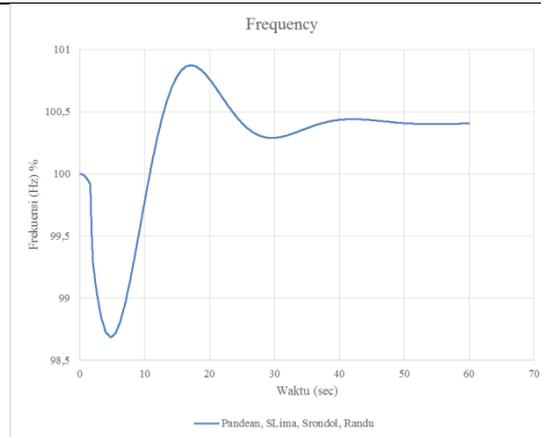
**Gambar 4.3** Pergerakan Frekuensi Saat Generator GTG 1.3 Outage dari system dengan mekanisme Load Shedding tahap 2

Gambar 4.4 menjelaskan bahwa pergerakan tegangan pada masing-masing bus mengalami pelonjakan saat detik ke 2,5. Serta masing-masing bus sempat naik 12% namun kembali turun dan mempertahankan posisinya masing-masing diatas 101%. Untuk Bus Randu mengalami pelonjakan tegangan sampai 105%. Pelonjakan tegangan ini disebabkan oleh Generator yang tiba-tiba berkurang sebesar 100 MW dan beban-beban pada setiap daerah tidak tersuplai secara penuh dan menalami drop tegangan. Namun dari hasil dengan Mekanisme LS1 dengan LS2 ,LS2 lebih baik dan menambah masing-masing 1%.



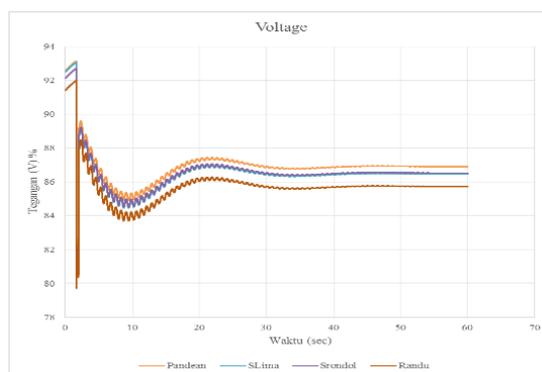
**Gambar 4.4** Pergerakan Tegangan kondisi Generator GTG 1.3 Outage dari Sistem dengan Mekanisme Load Shedding Tahap 2

Pergerakan / respon frekuensi bus diatas menunjukkan masing-masing level tegangan mengalami penurunan pada batas aman yaitu 98,8% kemudian selang pada detik ke-7 frekuensi menunjukkan *steady state* angka 100,4% dan ini sesuai dengan standart dan memuaskan serta aman. Berdasarkan standart referensi ANSI/IEEE Std C37.102-. 2007 seperti yang dijelaskan pada Gambar 4.5 [4]



**Gambar 4. 5** Pergerakan Frekuensi Saat Generator GTG 1.3 Outage dari sistem dengan mekanisme Load Shedding tahap 3

Berdasarkan Gambar 4.6 pergerakan tegangan pada masing-masing bus mengalami penurunan saat detik ke 1,6 s. Lalu penurunan tegangan ini disebabkan oleh Generator yang tiba-tiba berkurang sebesar 100 MW dan beban-beban pada setiap daerah tidak tersuplai secara penuh dan mengalami drop tegangan. Serta masing-masing bus stabil setelah beban diturunkan sebesar 25% tanpa ada gangguan apapun. Dan ke-empat bus yang di jadikan sebagai parameter acuan yaitu Bus Randu, Pandean, SLima ,dan Sron dol tidak masuk dalam kategori aman dan tidak sesuai dengan standart yang ada pada standart referensi ANSI/IEEE Std C37.102-. 2007. [4] Namun dari hasil dengan Mekanisme LS1,LS2 dan LS3 disarankan menggunakan mekanisme load shedding tahap 2.



**Gambar 4. 6** Pergerakan Tegangan kondisi Generator 2 KL Outage dari Sistem dengan Mekanisme Load Shedding Tahap 3

Pengelompokan Frekuensi dan Tegangan Generator Outage dapat dilihat pada Tabel 4.2

**Tabel 4.2** Pengelompokan Frekuensi dan Tegangan Generator Outage

NO	Rekayasa	f min (%)	f Steady state (%)	ID Bus	V min(%)	V steady state (%)	Kondisi	
							F	V
1	Gen 1.3 OFF	98,4	102	Randu	78.9046	81,5	√	×
				SLima	79.383	82,3		×
				Sron dol	79.5004	82,4		×
				Pandean	79.8793	82,9		×
	Gen 1.3 OFF + LS1	98,5	101	Randu	79.7125	83,1	√	×
				SLima	80.2495	83,7		×
				Sron dol	80.4029	83,9		×
				Pandean	80.8256	84,05		×
Gen 1.3 OFF + LS2	94,9	95,5	Randu	91.4203	101.37	√	√	
			SLima	92.5011	102.38		√	

				Srndol	92.134	102.11		√
				Pandean	92.5704	102.5		√
	Gen 1.3 OFF + LS3	98,6	100,4	Randu	79.7125	85.651	√	×
				SLima	80.2495	86.388		×
				Srndol	80.4029	86.4494		×
				Pandean	80.8256	86.829		×

## V. SIMPULAN

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari simulasi dan analisis pada tugas akhir ini, dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu, pada pola operasi sistem kelistrikan di Semarang setelah putusnya generator menghasilkan sistem yang kurang maksimal. Ketika melakukan simulasi saat pelepasan beban (*load shedding*) tahap 1 sistem belum maksimal sedangkan pada tahap 2 sistem sudah mulai stabil (baik frekuensi maupun tegangan) jika merujuk pada Standar Kestabilan ANSI/IEEE Std C37.102-. 2007. Perancangan mekanisme pelepasan beban yang handal agar sistem dapat kembali stabil pada saat terjadi gangguan dilakukan sesuai Standar IEEE yakni pada Tahap 1 dengan melepas 10% dari total beban, Tahap 2 dengan melepas 15% dari total beban, dan Tahap 3 dengan melepas 25% dari total beban yang ada.

Saran yang dapat diberikan untuk memperbaiki sistem setelah melakukan analisis yakni, Untuk kasus lepasnya unit pembangkit yang mengakibatkan nilai tegangan bus mengalami penurunan hingga kurang dari 90%, perlu dilakukan *setting* rele pengaman (*undervoltage relay*) dengan delay waktu minimal sebesar total durasi waktu saat tegangan bus kurang dari 90% pada saat terjadi gangguan.

Pada kasus lepasnya pembangkit dalam kurun waktu yang lama membutuhkan *load shedding* tahap pertama sekitar 64,7 MW, sedangkan untuk mendapatkan hasil maksimal maka membutuhkan *load shedding* tahap kedua sekitar 75,984 MW.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Syukur Alhamdulillah senantiasa penulis panjatkan kehadirat Allah SWT. yang memiliki keistimewaan dan pemberian segala kenikmatan besar, baik nikmat iman, kesehatan dan kekuatan didalam penyusunan Tugas Akhir ini. Salawat dan salam senantiasa turunkan kepada Nabi Muhammad SAW, keluarga, dan para sahabatnya, serta penegak sunnah-Nya sampai kelak akhir zaman. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada Bapak DR. Ir. Muhamad Haddin dan Bapak Gunawan S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing, disela-sela rutinitasnya namun tetap meluangkan waktunya untuk memberikan petunjuk, dorongan, saran dan arahan sejak rencana penelitian hingga selesainya penulisan Tugas Akhir ini. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada Seluruh Jajaran Dekan Fakultas Teknologi Industri serta Staf Karyawan/Karyawati Fakultas Teknologi Industri yang telah memberikan pelayanan terbaik selama penulis mengikuti proses pendidikan. Tak lupa juga sahabat-sahabat Prodi Teknik Elektro (Angkatan 2015) yang telah mendukung hingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Dan juga kepada Ayah dan Ibunda tercinta dengan penuh kasih sayang dan kesabaran telah membesarkan dan mendidik kami hingga dapat menempuh pendidikan yang layak. Akhirnya kepada Allah SWT jualah senantiasa penulis berharap semua pengorbanan dan segala sesuatu yang tulus dan ikhlas diberikan limpahan rahmat dan hidayah-Nya, Amin.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] C. C., Transmisi Daya Listrik. Yogyakarta: ANDI, 2013.
- [2] D. Marsudi, OPERASI SISTEM TENAGA LISTRIK. Yogyakarta: Graha Ilmu, 2006.
- [3] D. Marsudi, Pembangkitan Energi Listrik. Jakarta: Erlangga, 2005.
- [4] P. Kundur, Power System Stability and Control, vol. 1. New York: McGraw-Hill.inc, 1994.
- [5] C. C., Teori Singkat Teknik Elektro Disertai Contoh Soal dan Penyelesaiannya. Yogyakarta:ANDI, 2013.
- [6] P. Kundur et al., "Definition and classification of power system stability IEEE/CIGRE joint task force on stability terms and definitions," IEEE Transactions on Power Systems, vol. 19, no. 3, pp. 1387–1401, Aug. 2004.
- [7] P. T. Petrochina, C. Wiharya, H. Suyono, and N. Hasanah, "Analisis Voltage Sag pada Sistem Tenaga Listrik," vol. 1, no. 1, pp. 55–60, 2014.
- [8] S. dan N. Rahmawati, "Analisis kontingensi tenaga listrik dengan metode bounding," *Rekayasa Elektr.*, vol. 10, no. 2, pp. 92–97, 2012.
- [9] S. Analisa and K. Tegangan, "Saluran Transmisi Sistem Jawa Timur Subsystem Paiton – Grati Dengan Menggunakan Line the Study of Voltage Stability Analysis on Transmission Line System Paiton-Grati Subsystem in East Java Using Line Collapsee," 2017.