

ANALISIS KESTABILAN *TRANSIENT* DAN PELEPASAN BEBAN SAAT TERJADI GANGGUAN PADA PEMBANGKIT DI PTPN X (PERSERO) PG. NGADIREJJO KEDIRI

Doni Wahyudi Indra Cahya

Progam Studi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya, Ketintang 60231, Indonesia
e-mail : doni.wahu96@gmail.com

Subuh Isnur Haryudo

Dosen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya, Ketintang 60231, Indonesia
e-mail : subuhisnur@unesa.ac.id.

Abstrak

Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan utama dan sangat berpengaruh dalam kehidupan manusia. Dari tahun ketahun konsumsi listrik di masyarakat maupun industri terus meningkat seiring banyaknya peralatan yang menggunakan energi listrik. Untuk di PG. Ngadiredjo sendiri menyuplai energi listrik yang dibutuhkan tidak dari sumber PLN melainkan dari sumber pembangkit sendiri. Seperti layaknya pabrik-pabrik berskala besar lainnya, PG. Ngadiredjo harus tetap menjaga kontinuitas aliran listriknya agar dapat selalu stabil dalam proses produksi, maka untuk itu salah satu hal yang penting untuk diperhatikan adalah stabilitas pembangkit listrik yang berada di PG. Ngadiredjo. Skripsi ini bertujuan untuk menganalisa kestabilan *transient* dan teknik pelepasan beban yang terdapat pada sistem kelistrikan PTPN X (Persero) PG. Ngadiredjo hingga diperoleh kestabilan pembangkit ketika terjadi gangguan pada sistem. Untuk analisis yang dilakukan meliputi kestabilan *transient* dan teknik pelepasan beban akibat gangguan *short circuit 3 phase* dan generator *outage*. Hasil simulasi menunjukkan bahwa gangguan *short circuit 3 phase* di sisi beban mendapatkan respon pembangkit yang masih dapat mempertahankan kestabilannya sementara untuk gangguan lepasnya generator Turbin SNM memerlukan pelepasan beban 3 tahap dengan melepas beban sebesar 2.218,32 kW dari total beban sistem 5071,45 kW. Sedangkan untuk generator Turbin Shinko memerlukan pelepasan beban 3 tahap dengan melepas beban sebesar 2.755,59 kW dari total beban sistem 5071,45 kW untuk mengembalikan stabilitas sistem.

Kata Kunci : Kestabilan *Transient*, Pelepasan Beban

Abstract

Electrical energy is one of the main needs and is very influential in human life. From year to year electricity consumption in society and industry continues to increase as the number of equipment that uses electrical energy. For the PG. Ngadiredjo itself supplies the required electrical energy not from PLN sources but from its own power source. Like other large-scale factories, PG. Ngadiredjo must maintain the continuity of the flow of electricity in order to always be stable in the production process, so for that one important thing to note is the stability of power plants located in PG. Ngadiredjo. This thesis aims to analyze the transient stability and load release techniques that exist in the PTPN X (Persero) PG power system. Ngadiredjo to obtain the stability of the plant when there is interference with the system. The analysis includes transient stability and load release techniques due to short circuit breakdown of 3 phases and outage generators. The simulation result shows that the 3 phase phase short circuit disruption in the load side gets the generator response which still can maintain its temporary stability for the disruption of SNM turbine generator release requires the release of the 3 phase load by removing the load of 2,218.32 kW from the total system load 5071,45 kW. As for the Shinko Turbine generator requires the release of a 3-stage load by removing the load of 2,755.59 kW from the total system load of 5071.45 kW to restore the stability of the system.

Keywords : *Transient Stability, Load Shedding.*

PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan utama dan sangat berpengaruh dalam kehidupan manusia. Dari tahun ketahun konsumsi listrik di masyarakat maupun industri terus meningkat seiring banyaknya peralatan yang menggunakan energi listrik (Statistik Ketenagalistrikan ESDM, 2014:2). Dalam proses pembangkitan energi

listrik umumnya terdiri dari berbagai pusat pembangkit, seperti pusat pembangkit listrik tenaga air, pusat pembangkit listrik tenaga gas dan uap (*thermal*), pusat pembangkit listrik tenaga diesel dan jenis pusat pembangkit lainnya. Semua unit pembangkit yang ada tersebut terhubung satu sama lain melalui suatu saluran untuk mensuplai kebutuhan listrik.

Sistem kelistrikan yang kompleks mulai dari pusat pembangkit sampai ke beban dan saling interkoneksi dengan beberapa pembangkit lainnya tak luput dari terjadinya sebuah gangguan. Gangguan-gangguan yang terjadi dapat berupa gangguan yang kecil dan gangguan yang besar. Gangguan yang kecil tidak begitu mempengaruhi kondisi sistem, biasanya sistem langsung bekerja normal kembali setelah terjadi gangguan. Gangguan yang besar seperti gangguan pada pembangkit, pembebanan yang berlebihan (*over load*) dan gangguan hubung singkat, besar pengaruhnya pada kondisi sistem kelistrikan. Apabila gangguan-gangguan tersebut termasuk gangguan besar, maka kemungkinan dapat menyebabkan sistem menjadi padam total (*black out*). Terjadinya gangguan pada sistem tenaga listrik dapat mengakibatkan terjadinya perubahan parameter-parameter listrik yang berperan penting. Parameter-parameter tersebut antara lain tegangan, arus, kecepatan rotor dan frekuensi. Dan bila gangguan tidak segera dihilangkan, maka akan menyebabkan ketidakstabilan pada sistem kelistrikan tersebut.

Dengan demikian diperlukan analisis sistem tenaga listrik untuk menentukan kestabilan sistem jika terjadi gangguan. Analisa kestabilan *transient* merupakan hal yang sangat penting dalam perencanaan dan operasi sistem tenaga. Kestabilan dimaksud sebagai langkah nyata dalam upaya analisis stabilitas sistem tenaga listrik agar sistem memiliki stabilitas yang tinggi dan baik serta dapat kembali bekerja secara normal setelah mengalami gangguan. Dan sebaliknya, ketidak-stabilan suatu sistem dapat menyebabkan kehilangan sinkronisasi dari sistem itu sehingga membuat sistem tidak stabil.

KAJIAN TEORI

Kestabilan Tenaga Listrik

Menurut Praba Khundur (1994: 17) kestabilan sistem tenaga didefinisikan sebagai kemampuan sistem tenaga yang memungkinkan mesin bergerak serempak atau sinkron dalam sistem pada operasi normal dan dapat kembali dalam keadaan seimbang (normal) setelah mengalami gangguan. Permasalahan stabilitas sistem tenaga listrik secara umum berkaitan erat dengan kestabilan sudut (*rotor angle stability*), kestabilan frekuensi (*frequency stability*) dan kestabilan tegangan (*voltage stability*). Kestabilan pada sistem tenaga listrik tergantung pada kondisi operasi sistem tenaga dan dari tingkat gangguan pada sistem tersebut. Biasanya sistem tersebut akan berubah jika terjadi gangguan, sistem akan berubah dari kondisi stabil menjadi tidak stabil (*unstable*) setelah terjadi gangguan.

Menurut Hadi Saadat (1999:460) sifat gangguan stabilitas sistem tenaga listrik dapat dibedakan menjadi:

1. Stabilitas tetap (*steady state*)

Stabilitas *steady state* adalah kemampuan suatu sistem tenaga listrik mempertahankan sinkronisasi antara mesin-mesin dalam sistem setelah mengalami gangguan kecil (fluktuasi beban).

2. Stabilitas peralihan (*transient*)

Stabilitas *transient* adalah kemampuan suatu sistem tenaga listrik mempertahankan sinkronisasi setelah mengalami gangguan besar yang bersifat mendadak.

Persamaan Ayunan dan Dinamika Rotor

Persamaan ayunan adalah persamaan yang mengatur gerakan rotor suatu mesin sinkron didasarkan pada prinsip dinamika rotor yang menyatakan: "Momen putar percepatan (*accelerating torque*) adalah hasil kali momen kelembaban (moment of inertia) rotor dan percepatan sudutnya" (William D. Stevenson, 1983).

Menurut William D. Stevenson (1983:351) Untuk generator serempak, persamaan ayunan dapat ditulis :

$$J \frac{d^2 \theta_m}{dt^2} = T_m - T_e \dots \dots \dots [1]$$

Dengan :

J = Momen inersia dari massa rotor (kg-m²)

$d^2 \theta_m$ = Pergeseran sudut rotor (radianmekanis)

t = Waktu (detik)

T_m = Momen putar mekanis atau poros (penggerak) (N-m)

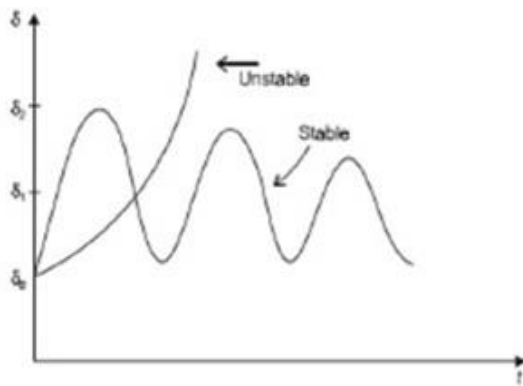
T_e = Momen putar elektrik (N-m)

dt^2 = Lama gangguan (detik)

Untuk generator yang beroperasi dalam keadaan normal, maka $T_m = T_e$ dalam keadaan ini tidak ada percepatan ataupun perlambatan terhadap massa rotor. Bila terjadi gangguan akan menghasilkan suatu percepatan ($T_m > T_e$) atau perlambatan terhadap massa rotor ($T_m < T_e$) (William D. Stevenson, 1983).

Kestabilan *Transient*

Menurut Prabha Khundur (1990:25) kestabilan *transient* adalah kemampuan dari power system (sistem tenaga) untuk mempertahankan kesinkronan setelah mengalami gangguan besar yang bersifat tiba-tiba. Pada kasus semacam *transient stability* sistem harus cukup kuat untuk mempertahankan diri terhadap gangguan besar atau perubahan beban yang relatif besar terjadi, setelah tripnya pembangkitan atau lepasnya beban besar secara tiba-tiba. Keseimbangan antara energi *input* dan *output elektrik* pada sistem akan hilang. Jika energi input tidak lagi mencukupi, inersia rotor mesin yang masih bekerja pada periode yang singkat akan melambat. Apabila beban hilang maka energi input pada sistem akan melebihi beban elektrik, dan mesin akan bergerak semakin cepat dan menyebabkan sistem menjadi *unstable*. Berikut ini gambar grafik sistem tenaga dalam keadaan stabil dan *unstable*.



Gambar 1 Grafik untuk sistem saat kondisi *stable* dan *unstable*
(Sumber: Prabha Kundur, 1994)

Di dalam grafik terdapat dua gelombang dengan gelombang pertama menunjukkan sudut rotor mengalami isolasi namun kenaikan hingga nilai maksimum kemudian beresilasi sehingga sudut rotor kembali mencapai kondisi *stable*. Dalam gelombang kedua menunjukkan rotor kehilangan sinkronisasi sehingga saat ayunan pertama, sudut rotor terus naik mencapai kondisi *unstable*.

Pelepasan Beban (*Load Shedding*)

Pelepasan beban atau *Load Shedding* merupakan suatu bentuk tindakan pelepasan beban yang terjadi secara otomatis ataupun manual untuk pengamanan operasi dari unit-unit pembangkit yang kemungkinan terjadinya penurunan frekuensi dan tegangan. Pelepasan beban secara otomatis maupun manual dilakukan karena jumlah pasokan daya berkurang, pelepasan beban secara otomatis dilakukan dengan cara mendeteksi frekuensi atau dengan melihat kondisi sumber daya pembangkit yang beroperasi tidak mencukupi kebutuhannya (kemampuan pembangkitan lebih kecil daripada jumlah beban).

Pada perencanaan pelepasan beban dapat ditentukan terlebih dahulu beban-beban yang akan dilepaskan dan dapat dilakukan dengan dua cara yaitu :

1. Manual *Load Shedding*
2. Automatic *Load Shedding*

Standar Tegangan

Standar yang digunakan untuk tegangan nominal dalam kondisi normal adalah berdasarkan standar Perusahaan Listrik Negara (SPLN) tentang tegangan nominal terminal dengan variasi tegangan -10% sampai dengan +5%. Kemudian variasi tegangan yang dimaksud adalah bahwa standar tegangan dianggap normal bila nilai terendahnya minimal 10% dan nilai tertinggi maksimal 5% dari nilai nominalnya.

Standar Frekuensi

Standar yang digunakan untuk pengendalian frekuensi diatur oleh pemerintah melalui peraturan menteri energi dan sumber daya mineral nomor : 03 tahun 2007. Disebutkan bahwa, "Frekuensi sistem dipertahankan kisaran +/- 0,5 Hz di sekitar 50 Hz, kecuali dalam periode singkat, dimana penyimpangan sebesar +/- 2 Hz atau 98% diizinkan selama kondisi darurat. Berikut ini adalah

batasan ijin frekuensi, seperti ditunjukkan pada Tabel 1 sebagai berikut.

Tabel 1 Batasan ijin frekuensi

No	Frekuensi	Rating
1	Normal Frekuensi	50.0 ± 0.5 Hz
2	Emergency frekuensi	52 Hz (Batas atas) 47.5 (Batas bawah)

(Sumber : SPLN, 1995)

Teknik Pelepasan Beban (*Load Shedding*)

Perencanaan pelepasan beban didalam sistem tenaga adalah untuk menentukan jumlah tingkat pelepasan beban dalam suatu sistem. Dalam perencanaan pelepasan beban terdapat beberapa prosedur untuk rencana mekanisme pelepasan beban secara baik dan handal. Berikut ini merupakan prosedur pelepasan beban yang dilakukan dalam tiga langkah adalah sebagai berikut (Imam Robandi, 2007):

1. 10% beban dilepas ketika frekuensi turun sampai 49,333Hz.
2. 15% penambahan pelepasan beban ketika frekuensi turun sampai 49,000 Hz.
3. Penambahan pelepasan beban sesuai sistem hingga sistem kembali stabil ketika frekuensi turun sampai 48,333 Hz

Tabel 2 skema pelepasan beban tiga langkah

Step	Frekuensi Trip Point (Hz)	Percent Of Load Shadding (%)
1	49,333	10
2	49,000	15
3	48,333	Sesuai permintaan sistem

(Sumber : Imam Robandi, 2009)

METODE PENELITIAN

Pendekatan Penelitian

Pendekatan dalam Penelitian ini adalah pendekatan kuantitatif, karena penelitian ini melakukan pengamatan pada objek untuk mengumulkan data-data berupa angka yang diperlukan dalam penelitian. Pada penelitian ini, akan dilakukan uji coba untuk menganalisa kestabilan *transient* (peralihan) di sistem kelistrikan di PTPN X (Persero) PG. Ngadiredjo dengan mensimulasikan pengaruh gangguan besar pada sistem kelistrikan dengan simulasi menggunakan software ETAP 12.6.0.

Teknik Pengumpulan Data

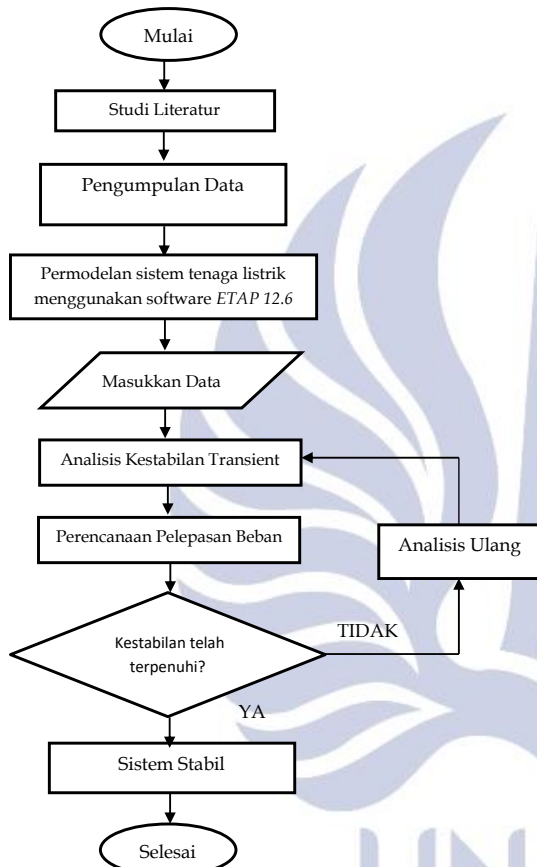
Teknik pengumpulan data adalah metode yang digunakan untuk mengupulkan data dalam suatu

penelitian. Dalam penelitian ini penulis menggunakan beberapa metode pengumpulan data yaitu:

1. Metode Wawancara
2. Metode Observasi
3. Studi Literatur

Langkah-langkah Pengerjaan Tugas Akhir

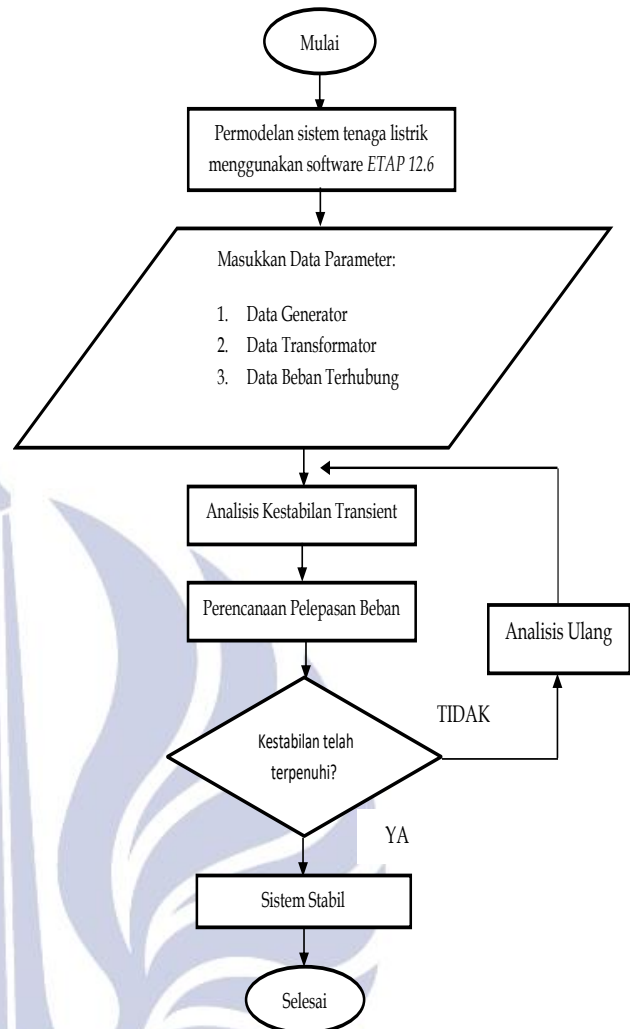
Langkah-langkah pengerjaan tugas akhir “Analisis Kestabilan Transient Akibat Pelepasan Beban di PTPN X (Persero) PG. Ngadiredjo” adapun diagram alir ditunjukkan pada Gambar 2:



Gambar 2 Diagram alir pengerjaan Tugas akhir
(Sumber Data Primer 2017)

Teknik Analisis Data

Analisis data pada penelitian ini dilakukan dengan cara menelaah seluruh data yang tersedia dari berbagai sumber, yaitu wawancara, observasi dan studi literature kemudian mengolahnya menggunakan *software ETAP 12.6.0*. Setelah semua data terkumpul selanjutnya membuat rancangan penelitian melalui beberapa tahapan seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 3 berikut:



Gambar 3 Diagram Alir (flowchart) Analisis Penelitian
(Sumber Data Primer 2017)

Rancangan penelitian yang telah dibuat sebelumnya, prosedur untuk tiap tahapan akan dipaparkan sebagai berikut:

1. Pemodelan *single line diagram* PTPN X (Persero) PG. Ngadiredjo dengan menggunakan *software ETAP 12.6.0*.
2. Masukkan data parameter :
 - a. Data pembangkit (Generator)
 - b. Data transformator
 - c. Data Beban
3. Analisis Kestabilan *Transient*
Peneliti melakukan analisis kestabilan *Transient* menggunakan *software ETAP 12.6.0* dengan berbagai kondisi dan gangguan, adapun kondisinya sebagai berikut:
 - a. Salah satu pembangkit lepas atau trip dari sistem.
 - b. Lepasnya beban yang terhubung ke sistem dalam skala besar secara tiba-tiba karena gangguan hubung singkat.
4. Perencanaan Pelepasan Beban
Peneliti melakukan skenario pelepasan beban (*load shadding*) sesuai dengan mekanisme

pelepasan beban tiga langkah menurut standart ANSI/IEEE C37.106-1987

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Pembangkit Listrik PTPN X (Perero) PG. Ngadiredjo

Sistem kelistrikan yang terdapat pada kelistrikan PTPN X (Perero) PG. Ngadiredjo menggunakan pembangkit sendiri yang berasal dari tenaga uap dan diesel. Berikut ini adalah pembangkit yang ada di PG. Ngadiredjo yang diperlihatkan oleh Tabel 3 berikut ini:

Tabel 3 Kapasitas Pembangkit PG. Ngadiredjo

ID	Tegangan (kV)	Kapasitas (kVA)
G1 Turbine Generator Shinko	6.3	4500
G2 Turbine Generator SNM	6.3	3500
G3 Diesel Generator Yanmar	6.3	800
G4 Diesel Generator Cummins	6.3	800

(Sumber : PG.Ngadiredjo, 2017)

Data Beban Listrik PTPN X (Perero) PG. Ngadiredjo

Beban-beban listrik yang ada di PG. Ngadiredjo sebagian besar adalah beban-beban induktif, hal ini dikarenakan semua peralatan operasi di PG. Ngadiredjo berupa motor-motor listrik yang berfungsi untuk mengolah tebu hingga menjadi gula siap konsumsi.

Pada Tabel 4 dibawah ini akan ditunjukkan data mengenai beban-beban listrik yang terpasang di PG.Ngadiredjo.

Tabel 4 Uraian Beban Listrik PG. Ngadiredjo

No	Uraian	kW
1	Transformator 1	318,18
2	Transformator 2	284,00
3	Transformator 3	371,83
4	Transformator 4	424,94
5	Transformator 5	115,70
6	Transformator 6	422,31
7	Transformator 7	316,60
8	Transformator 8	599,55
9	Transformator 9	319,76
10	Transformator 10	904,58
11	Transformator 11	482,79
12	Transformator 14	511,19
	Total	5.071,45

(Sumber : PG.Ngadiredjo, 2017)

Studi Kasus Pada Analisis Kestabilan *Transient*

Dalam Analisis Stabilitas *Transient* terdapat beberapa parameter yang diamati dalam analisis stabilitas *transient* ini adalah:

1. Frekuensi sistem sebelum, saat dan setelah terjadi gangguan.
 2. Tegangan di bus – bus generator dan bus utama sebelum, saat dan setelah terjadi gangguan.
 3. Sudut rotor pada generator
- Berikut ini adalah kasus-kasus yang akan dianalisis pada penelitian ini, ditunjukkan oleh Tabel 5 berikut ini:

Tabel 5 kasus analisis kestabilan *transient*

Kasus	Keterangan	Waktu (Detik)	Aksi
1	Turbine Generator SNM Outage	1	Load Shadding tahap 3
2	Turbine Generator Shinko Outage	1	Load Shadding tahap 3
3	Short Cicut 3 Fasa di Bus T4	1	-
4	Short Cicut 3 Fasa di Bus T6	1	-
5	Short Cicut 3 Fasa di Bus T8	1	-
6	Short Cicut 3 Fasa di Bus T11	1	-
7	Short Cicut 3 Fasa di Bus T14	1	-

(Sumber : Data Primer, 2018)

Hasil Penelitian Simulasi Kestabilan *Transient*

Studi Kasus Gangguan Turbine Generator SNM Outage dan Teknik Pelepasan Beban

Untuk studi kasus berikut ini akan ditampilkan hasil simulasi dengan gangguan berupa lepasnya generator SNM dari sistem, sehingga hanya tinggal generator Shinko yang masih beroperasi dan dilanjutkan tindakan pelepasan beban (*load shadding*) agar sistem kembali stabil. Berikut ini adalah teknik pelepasan beban agar sistem kembali stabil setelah gangguan. Pada studi kasus ini disimulasikan gangguan generator SNM ouatage pada saat $t = 1$ detik dengan waktu simulasi selama 20 detik dan dilanjutkan dengan mekanisme *load shedding*, seperti terlihat pada Tabel 6.

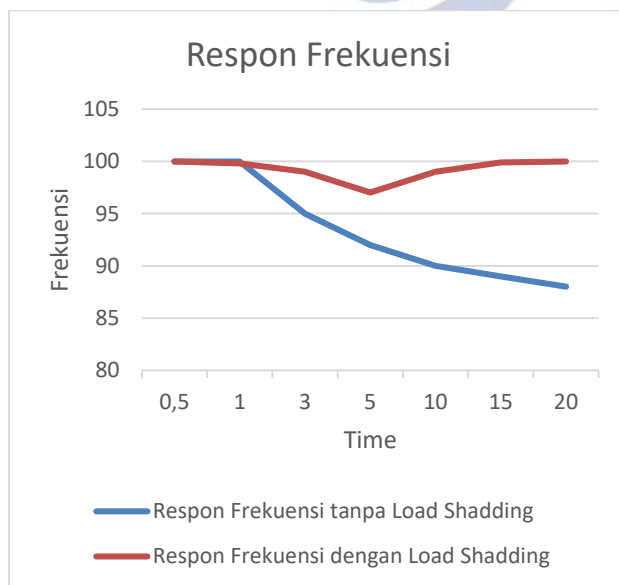
Tabel 6 Teknik Pelepasan Beban Saat Generator SNM outage

Tahap	Time	Proteksi	Load Shadding (kW)	(Hz)
1	2.601	ACB T14 Open	511,19 kW	49,32
2	4.412	VCB T10 Open	904,58 kW	49,02
3	10.913	NFBMG NS1203N Open, MCCB MGST5020 Open,	802,55kW	48,33
Total Load Shadding			2.218,32 kW	

(Sumber : Data Primer, 2018)

Tabel 6 diatas menunjukkan teknik pelepasan beban tiga tahap saat terjadi gangguan generator SNM outage. *Load shadding* tahap pertama dilakukan saat frekuensi mengalami penurunan hingga mencapai 49,32 Hz dengan melepaskan beban 10 % dari total beban dan pelepasan beban tahap 2 dilakukan saat frekuensi sistem turun mencapai 49,02 Hz dengan melepaskan beban 15% atau sekitar 904,58 kW dari total beban dan pelepasan beban tahap 3 dilakukan saat frekuensi sistem mencapai 48,33 dengan melepas beban sebesar 802,55 kw. Untuk mengembalikan sistem setelah terjadi gangguan lepasnya generator SNM dari sistem diperlukan pelepasan beban sebesar 2.218,32 kW (Tabel 5) dari total beban sistem sebesar 5.071,45 kW (Tabel 4) agar sistem kembali stabil dan normal.

Pada Gambar 4 akan diperlihatkan respon frekuensi setelah terjadi gangguan lepasnya generator SNM pada sistem.



Gambar 4 Respon Frekuensi saat generator Turbine SNM Outage

(Sumber: Data Primer, 2017)

Pada Gambar 4 menunjukkan respon frekuensi dari sistem saat generator SNM outage dari sistem. Pada gambar diatas garis biru menunjukkan respon frekuensi normal (tanpa mekanisme *load shadding*) setelah mengalami gangguan *generator outage* sedangkan garis merah menunjukkan respon frekuensi sistem setelah dilakukan proses *load shadding* tahap 3 dengan melepas beban sebesar 2.218,32 kW dan kembali stabil pada 49,60 Hz. Berdasarkan standar ANSI/IEEE C37.106-1987 dimana untuk operasi kontinu frekuensi dikatakan stabil jika nilainya antara 99.17-100.83%, maka frekuensi sistem masih dalam batas yang diijinkan

Studi Kasus Turbine Generator Shinko Outage

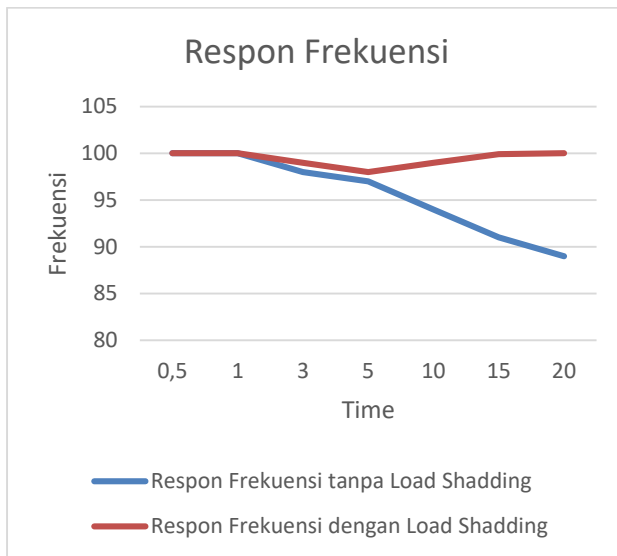
Untuk studi kasus kali ini akan ditampilkan hasil simulasi dengan gangguan berupa lepasnya generator Shinko dari sistem, sehingga hanya tinggal generator SNM yang masih beroperasi dan dilanjutkan dengan mekanisme *load shadding*. Mekanisme *load shadding* yang digunakan berdasarkan pada standar ANSI/IEEE C37.106-1987.

Tabel 7 Teknik Pelepasan Beban Saat Generator Shinko outage

Tahap	Time	Proteksi	Load Shadding (Kw)	(Hz)
1	2.001	ACB T14 Open	511,19 kW	49,29
2	3.062	VCB T10 Open	904,58 kW	49,00
3	5.523	NFBMG NS1203N T9 Open, MCCB MGST5020 Open, NFBMG NS1203N T4 Open, NFBMG NS1203N T1 Open, ACB T6 Open	1.340,56 kW	48,32
Total Load Shadding			2.775,9 kW	

(Sumber : Data Primer, 2018)

Tabel 7 diatas menunjukkan teknik pelepasan beban tiga tahap saat terjadi gangguan generator Shinko outage (Generator Shinko lepas dari system). *Load shadding* tahap pertama dilakukan saat frekuensi mengalami penurunan hingga mencapai 49,29 Hz dengan melepaskan beban 10 % dari total beban dan pelepasan beban tahap 2 dilakukan saat frekuensi sistem turun mencapai 49,00 Hz dengan melepaskan beban 15% dari total beban dan pelepasan beban tahap 3 dilakukan saat frekuensi sistem mencapai 48,32 dengan melepas beban sebesar 1.340,56 kW. Untuk mengembalikan sistem setelah terjadi gangguan lepasnya generator Shinko dari sistem diperlukan pelepasan beban sebesar 2.775,9 kW (Tabel 7) dari total beban listrik sebesar 5.071,45 kW (Tabel 4) agar sistem kembali stabil.

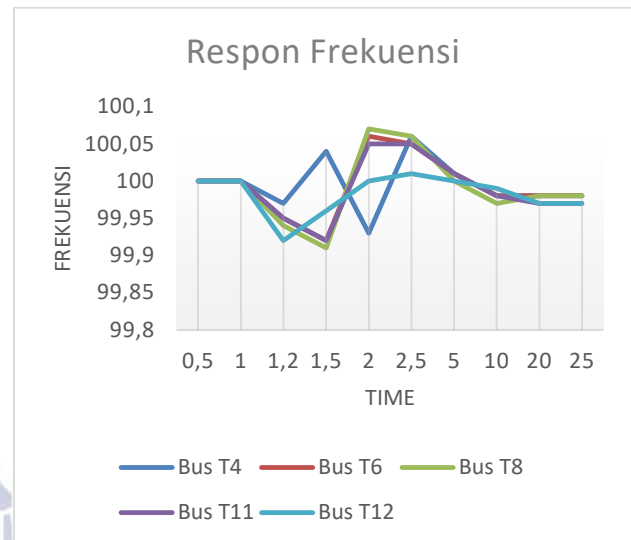


Gambar 5 Respon Frekuensi saat *generator Turbine Shinko Outage*
(Sumber: Data Primer, 2017)

Gambar 5 menunjukkan respon frekuensi dari sistem saat generator Shinko outage dari sistem. Garis merah menunjukkan respon frekuensi sistem saat dilakukan pelepasan bebas (*load shading*) tahap 3 dengan melepaskan beban listrik sebesar 2.775,59 kW sedangkan garis merah menunjukkan respon frekuensi tanpa proses *load shedding*. Pada sistem kelistrikannya, frekuensi terlihat mengalami kenaikan dan kembali stabil setelah dilakukan proses *load shedding* pada 49.53 Hz saat 15,5201 detik. Berdasarkan standar ANSI/IEEE C37.106-1987 dimana untuk operasi kontinu frekuensi dikatakan stabil jika nilainya antara 99.17-100.83%, maka frekuensi sistem masih dalam batas yang diijinkan.

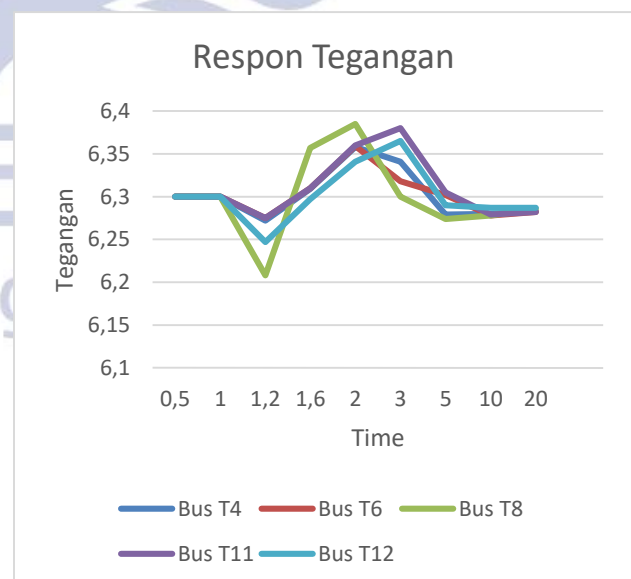
Study Kasus short Circuit 3 Fasa di Bus T4 (t= 1 detik)

Pada simulasi ini ditampilkan studi kasus dengan gangguan *short circuit 3 fasa* di bus beban. Pada studi kasus ini disimulasikan gangguan *short circuit* pada saat t = 1 detik dengan waktu simulasi selama 20 detik. Pada studi kasus ini akan menganalisa tentang respon frekuensi, respon tegangan dan sudut rotor pada sistem kelistrikan saat terjadi gangguan *short circuit 3 fasa* di sisi beban.



Gambar 6 Respon Frekuensi saat terjadi gangguan *Short Circuit 3 Fasa* di Bus beban
(Sumber: Data Primer, 2017)

Pada Gambar 6 diatas dapat dilihat respon frekuensi sistem saat mengalami gangguan *short circuit 3 fasa* pada bus beban. Gangguan *short circuit 3 fasa* terjadi pada detik ke 1 di bus beban (Bus T4, T6, T8, T11, T12). Terlihat pada gambar 6 frekuensi pada sistem mengalami penurunan dan kenaikan frekuensi akibat gangguan *short circuit 3 fasa*. Kenaikan tertinggi frekuensi mencapai 100.07 Hz terjadi di bus T8, namun keadaan frekuensi pada sistem masih dalam batas yang diijinkan, berdasarkan standar ANSI/IEEE C37.106-1987 dimana untuk operasi kontinu frekuensi dikatakan stabil jika nilainya antara 99.17-100.83%, maka frekuensi sistem sudah stabil.



Gambar 7 Respon Frekuensi saat terjadi gangguan *Short Circuit 3 Fasa* di Bus beban
(Sumber: Data Primer, 2017)

Gambar 7 di atas menunjukkan respon tegangan pada sistem setelah mengalami gangguan *short circuit 3 fasa* pada bus beban. Kondisi tegangan dari semua bus beban masih berada dalam *range* yang diperbolehkan. Tegangan nominal yang ada di PG. Ngadiredjo yaitu 6,3 kV dan dari hasil analisis di atas dapat disimpulkan bahwa tegangan sistem masih dapat dikatakan stabil dan masih dalam kondisi yang diijinkan, berdasarkan batas Standar PLN (+5% dan -10)

PENUTUP

Simpulan

Pada simulasi yang telah dilakukan menunjukkan bahwa stabilitas pembangkit setelah terjadi gangguan *short circuit 3 phasa* di bus T4, T6, T8, T11 dan T14 masih dapat mempertahankan kestabilannya, sementara pada studi kasus gangguan *generator outage* sistem menjadi tidak stabil karena mengalami penurunan frekuensi dan tegangan.

Simulasi teknik pelepasan beban (*load shadding*) dari 2 kasus gangguan lepasnya pembangkit (*generator outage*) menggunakan tindakan pelepasan beban 3 langkah (Tabel 2) dengan langkah pertama melepaskan beban sebesar 10% dari beban total dilanjutkan dengan langkah kedua dengan melepas 15% beban dan langkah ketiga melepaskan beban sesuai permintaan sistem agar sistem kembali stabil.

Untuk kasus lepasnya generator turbin SNM memerlukan pelepasan beban 3 langkah (Tabel 6) dengan melepas beban sebesar 2.218,32 kW dari total beban sistem 5.071,45 kW dan untuk studi kasus lepasnya generator turbin Shinko memerlukan pelepasan beban 3 langkah (Tabel 7) dengan melepaskan beban sebesar 2.755,9 kW dari total beban sistem 5.071,45 kW (Tabel 4) untuk memulihkan stabilitas sistem.

Saran

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, penulis memberikan saran untuk kasus hubung singkat, sebaiknya bus-bus beban yang mengalami penurunan frekuensi cukup besar diberikan rele *undervoltage* agar mencegah penurunan frekuensi yang mengakibatkan kerusakan pada peralatan listrik.

DAFTAR PUSTAKA

- D.Stevenson, William. 1983. Analisis Sistem Tenaga Listrik Edisi Keempat. Jakarta: Erlangga.
- IEEE, "Guide for Abnormal Frequency Protection for Power Generating Plants", 1987. IEEE Std C37.106-1987.
- Robandi Imam. 2009. Modern Power System Kontrol: Andi Yogyakarta
- Kundur, Prabha. 1994. Power System Stability and Control. McGraw-Hill, Inc.
- Saadat, H. 1999. Power System Analysis. McGraw-Hill: International Edition.
- Standar PLN. 1995. Tegangan-Tegangan Standar : Jakarta