

## SISTEM PROTEKSI GENERATOR TURBIN UAP (Studi Kasus: Pabrik Gula Camming)

Nurhani Amin\*

### Abstract

*This study aims to determine the extent of the protection system reliability steam turbine generator at Camming Sugar Factory in Bone regency against short circuit. Generator protection system reliability at Camming Sugar Factory in 1996 to 2003 reliability configuration is 1. In 2004 to 2007, the series reliability configuration is 0.9994, reliability parallel configuration is 1.0 and backup configuration is 0.9995. In 2008 to 2011, the series and parallel configurations reliability is 1, while the backup configuration is 0.9998. In 2012, the series reliability configuration are 0.9998, parallel reliability, configuration is 0.0007 and backup configuration reliability is 1. This shows that the generator protection system reliability at Camming Sugar Factory classified very well.*

**Keyword:** Protection system, Camming Sugar Factory, Steam turbine, generator

### 1. Pendahuluan

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi dewasa ini membawa dampak yang sangat luas diberbagai bidang kehidupan. Penerapan ilmu pengetahuan dan teknologi akan memudahkan aktivitas manusia dari berbagai segmen kehidupan.

Sektor industri merupakan sektor yang sangat penting dalam memasuki era pasar bebas. Pembangunan di sektor industri menjadi indikator kemajuan dan kesiapan suatu dalam bersaing di era kompetitif ini.

Pabrik Gula Camming sebagai salah satu industri besar yang berbasis agroindustri dalam menjalankan aktivitas senantiasa didukung oleh tersedianya sumber tenaga listrik. Sumber tenaga listrik untuk produksi menggunakan generator set (genset). Sumber tenaga listrik untuk penerangan dan yang menunjang proses produksi menggunakan tegangan dari Perusahaan Listrik Negara (PLN).

Pembangkit listrik yang digunakan pada Pabrik Gula Camming adalah Pembangkit Listrik Tenaga Listrik (PLTD) dan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). PLTD digunakan sebagai start awal, pada saat alternator turbin uap sudah bekerja PLTD tidak bekerja lagi.

Generator sebagai salah satu peralatan listrik harus menggunakan sistem pengaman yang

standar. Baik pengamanan terhadap manusia, hewan dan peralatan jika terjadi gangguan. Sistem pengamanan diperlukan untuk melindungi generator dari kondisi-kondisi abnormal.

Gangguan yang dapat menyebabkan kerusakan yang fatal pada peralatan listrik adalah hubung singkat. Gangguan-gangguan hubung singkat yang sering terjadi pada generator adalah hubung singkat antar fasa, hubung singkat antar lilitan, hubung singkat dengan tanah pada belitan rotor dan hubung singkat antar lilitan pada belitan rotor. Gangguan ini akan menimbulkan kondisi abnormal, sehingga dapat menggunakan proses produksi dari industri ini. Kondisi abnormal ini harus ditanggulangi dan diperbaiki dengan cepat sebelum menimbulkan kerusakan yang berat pada generator dan sistem disekitar generator. Untuk menghindari kondisi seperti ini digunakan sistem proteksi yang handal, sehingga diharapkan gangguan-gangguan yang terjadi tidak akan mengganggu atau merusak generator dan sistem lain yang ada disekitarnya.

### 2. Studi Pustaka

#### 2.1 Generator

Generator adalah suatu sistem yang menghasilkan tenaga listrik dengan masukan tenaga mekanik . Jadi disini generator berfungsi untuk

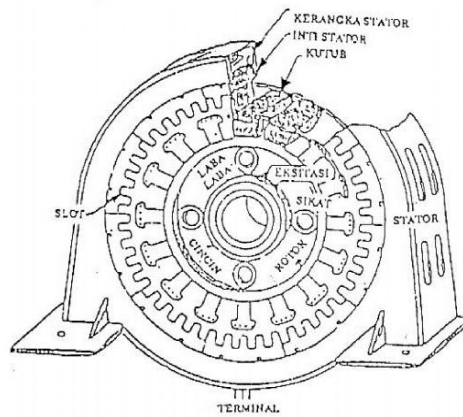
---

\* Staf Pengajar Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Tadulako, Palu

mengubah tenaga mekanik menjadi tenaga listrik yang mempunyai prinsip kerja sebagai berikut: bilamana rotor diputar maka belitan kawatnya akan memotong gaya-gaya magnet pada kutub magnet, sehingga terjadi perbedaan tegangan, dengan dasar inilah timbullah arus listrik, arus melalui kabel/kawat yang ke dua ujungnya dihubungkan dengan cincin geser. Pada cincin-cincin tersebut menggeser sikat-sikat, sebagai terminal penghubung keluar.

Bagian-bagian generator :

- a. Rotor, adalah bagian yang berputar yang mempunyai bagian terdiri dari poros, inti, kumparan, cincin geser, dan sikat-sikat.
- b. Stator, adalah bagian yang tak berputar (diam) yang mempunyai bagian terdiri dari rangka stator yang merupakan salah satu bagian utama dari generator yang terbuat dari besi tuang dan ini merupakan rumah dari semua bagian-bagian generator, kutub utama beserta belitannya, kutub-kutub pembantu beserta belitannya, bantalan-bantalan poros.



Gambar 1. Konstruksi sederhana sebuah generator (Sunil, 1978)

Macam generator berdasarkan tegangan yang dibangkitkan generator dibagi menjadi 2 yaitu :

- a. Generator Arus Bolak-Balik (AC)  
Generator arus bolak-balik yaitu generator dimana tegangan yang dihasilkan (tegangan out put ) berupa tegangan bolak-balik.
- b. Generator Arus Searah (DC)  
Generator arus searah yaitu generator dimana tegangan yang dihasilkan (tegangan out put)

berupa tegangan searah, karena didalamnya terdapat sistem penyearahan yang dilakukan bisa berupa oleh komutator atau menggunakan dioda.

Berdasarkan sistem pembangkitannya generator AC dapat dibagi menjadi 2 yaitu :

- a. Generator 1 fasa  
Generator yang dimana dalam sistem melilitnya hanya terdiri dari satu kumpulan kumparan yang hanya dilukiskan dengan satu garis dan dalam hal ini tidak diperhatikan banyaknya lilitan. Ujung kumparan atau fasa yang satu dijelaskan dengan huruf besar X dan ujung yang satu lagi dengan huruf U.
- b. Generator 3 fasa  
Generator yang dimana dalam sistem melilitnya terdiri dari tiga kumpulan kumparan yang mana kumparan tersebut masing-masing dinamakan lilitan fasa. Jadi pada statornya ada lilitan fasa yang ke satu ujungnya diberi tanda U – X; lilitan fasa yang ke dua ujungnya diberi tanda dengan huruf V – Y dan akhirnya ujung lilitan fasa yang ke tiga diberi tanda dengan huruf W – Z.

## 2.2 Gangguan yang Sering Terjadi pada Generator

Gangguan adalah setiap kesalahan dalam suatu rangkaian yang menyebabkan terganggunya aliran arus yang normal. Peristiwa terjadinya gangguan dalam sistem tenaga listrik merupakan peristiwa yang umum terjadi, hal semacam ini biasanya dikenal dengan kondisi abnormal. (Stevenson, 1994)

Kondisi abnormal yang sering muncul pada generator adalah sebagai berikut:

- Gangguan hubung singkat pada lilitan
- Hilangnya eksitasi
- Terbebani lebih
- Generator berfungsi sebagai motor
- Kenaikan temperatur yang lebih besar dari temperatur normal (over heating)
- Berputar dengan putaran yang lebih besar dari putaran normal (over speed)
- Beroperasi dalam keadaan tidak seimbang dan tidak sinkron.

## 2.3 Sistem Proteksi pada Generator

Generator merupakan salah satu bagian tenaga listrik yang sangat vital dan mahal harganya sehingga perlu mendapatkan perlindungan yang cukup handal terhadap gangguan yang terjadi.

Bila terjadi suatu gangguan didalam rangkaian listrik, instalasi harus diamankan dan bagian yang terganggu harus di pisahkan dalam waktu secepatnya, guna mencegah atau memperkecil kerusakan yang dapat diakibatkan oleh gangguan itu. (Abdul Kadir, 1996)

Hal ini perlu dilakukan secara otomatis dan selektif, sehingga bagian dari instalasi yang tidak terganggu dapat berfungsi dengan baik. Hal ini perlu dilakukan dengan berbagai pengamanan, dimana fungsi utama peralatan proteksi adalah melepaskan atau memisahkan peralatan yang terganggu dari sistem keseluruhan guna memperkecil kerusakan yang dapat terjadi dan sebanyak mungkin mempertahankan kontinuitas penyediaan tenaga listrik.

#### 2.4 Kehandalan sistem

Suatu peralatan pada lokasi dengan kondisi yang sering terganggu atau mengalami kerusakan dikatakan bahwa peralatan tersebut mempunyai kehandalan yang rendah. Jadi kehandalan dapat didefinisikan sebagai kemungkinan dari satu atau kumpulan benda akan memuaskan kerja pada keadaan tertentu dan periode waktu yang ditentukan. (Pabla, 1991).

Standar kehandalan adalah 0 – 0,49 dikategorikan kehandalan peralatan kurang dari 0,5 keatas dikategorikan kehandalan peralatan baik.

Kehandalan sistem dapat dihitung dengan 3 konfigurasi sebagai berikut:

##### a. Konfigurasi Seri

Blok diagram suatu sistem dengan konfigurasi seri sebagai berikut



Gambar 2. Diagram blok konfigurasi seri

Sistem dengan dua komponen seri akan mencapai sukses bila komponen pertama sukses dan komponen kedua sukses. Jadi sistem seri mengikuti prinsip teorema probabilitas perkalian. Apabila R1 dan R2 masing-masing adalah kehandalan komponen pertama dan kedua, maka kehandalan sistem seri secara matematis adalah:

$$R_s = R_1 \text{ dan } R_2$$

Bila sebuah peralatan mempunyai jumlah kerusakan f per periode waktu, nilai tengah jumlah kerusakan waktu t adalah ft. Kemungkinan ada kerusakan sebanyak x dalam waktu t dengan distribusi poisson:

$$\frac{e^{-ft} (ft)^x}{x!}$$

Dengan memasukkan x = 0 kemungkinan tidak terjadi kerusakan selama periode waktu t disebut fungsi kehandalan R(t), yaitu:

$$R(t) = e^{-ft}$$

Maka

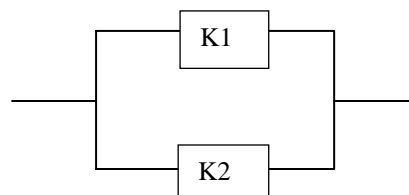
$$e^{-f_s t} = e^{-f_1 t} + e^{-f_2 t} = e^{-(f_1 + f_2)t}$$

Sehingga didapat

$$f_s = f_1 + f_2$$

##### b. Konfigurasi Paralel

Dua komponen yang terhubung paralel, blok diagramnya sebagai berikut:



Gambar 3. Diagram blok konfigurasi paralel

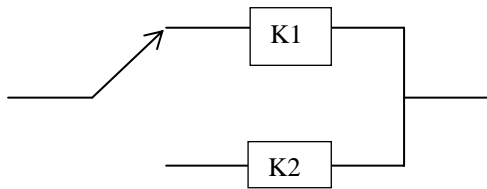
Sistem dengan dua komponen terhubung paralel akan mencapai sukses bila komponen pertama sukses atau komponen kedua sukses. Jadi sistem paralel mengikuti prinsip Teorema Probabilitas Penjumlahan.

Apabila R1 dan R2 adalah kehandalan komponen pertama dan kedua, maka secara matematis kehandalan sistem paralel adalah:

$$\begin{aligned} R_p(t) &= R_1(t) + R_2(t) - R_1(t)R_2(t) \\ &= e^{-f_1 t} + e^{-f_2 t} - e^{-f_1 t} \cdot e^{-f_2 t} \end{aligned}$$

c. Konfigurasi Cadangan

Blok diagram konfigurasi cadangan sebagai berikut:



Gambar 4. Diagram blok konfigurasi sistem cadangan

Sistem mulai bekerja dengan unit K1, suatu saat unit tersebut mengalami gangguan dan agar supaya pelayanan tidak terhenti maka unit K2 harus bekerja, lalu swict ideal S pindah keunit K2 dan waktu yang dibutuhkan harus cepat sehingga pelayanan tetap berlangsung. Sistem ini akan gagal jika K1 dan K2 mengalami kegagalan.

Untuk sistem dengan f yang sama dan mempunyai m buah unit komponen cadangan untuk n = 1 buah, maka keahdalannya:

$$R(t) = e^{-ft} \sum_{i=0}^m \frac{(ft)^i}{i!}$$

Untuk n buah unit dengan m buah komponen/unit cadangan dan masing-masing f komponen adalah sama, maka frekuensi kegagalan sistem fs sama dengan nf. Dengan demikian dapat ditulis:

$$R(t) = e^{-nft} \sum_{i=0}^m \frac{(nft)^i}{i!}$$

**3. Metodologi Penelitian**

Penelitian ini dilaksanakan di Pabrik Gula Camming Kecamatan libureng Kabupaten Bone. Variabel-variabel dalam penelitian ini sebagai:

a Sistem Pengaman adalah cara pengamanan peralatan (pengamanan yang digunakan untuk

generator baik berupa pemutus beban, sekering, relai dan pentanahan)

- b Generator adalah adalah suatu sistem yang menghasilkan tenaga listrik dengan masukan tenaga mekanik.
- c Gangguan adalah setiap kesalahan dalam suatu rangkaian yang menyebabkan terganggunya aliran arus yang normal.
- d Keahandalan adalah kemungkinan dari satu atau kumpulan benda akan memuaskan kerja pada keadaan tertentu dan periode waktu yang ditentukan,

**4. Hasil Penelitian**

4.1 Keadaan umum Pabrik Gula Camming

Pabrik Gula Camming adalah pabrik yang bergerak dibidang agrobisnis. Pembangkit yang digunakan adalah Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) dan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). PLTD dijalankan sebagai penggerak mula untuk menjalankan turbin uap. Generator pertama kalinya dioperasikan pada saat diadakan *performance test* pada tanggal 16 Februari 1986 dan giling pertama dimulai pada tanggal 2 agustus 1986.

4.2 Data Generator pada PLTU

PLTU Pabrik Gula Camming memiliki 2 generator yang identik jenis, konstruksi, sistem proteksi yang terpasang maupun energi listrik yang dibangkitkan.

Data generator sebagai berikut:

Merk	: SHINKO
Type	: TK8L-AF-1200
Rate Output	: 3750 KVA
Frekuensi	: 50 Hz
Tegangan	: 6 KV
Arus	: 367 A
Tegangan eksitasi	: 150 V
Arus fld	: 77 A
Temperatur maksimum	: 44°
Phasa	: 3
Putaran	: 1500 rpm
Faktor daya	: 0,8
Kutub	: 4
Exiter AC	
Type	: ASN-C-520
Rated Output	: 19 KVA
Tegangan	: 135 V
Arus	: 813 A

Nomer mesin : E091660102  
 Massa : 14740 Kg

tahun 1996 hingga 2012 untuk generator utama 3 kali dan generator cadangan 1 kali.

#### 4.3 Sistem Proteksi Generator

Adapun relai proteksi yang digunakan untuk mengamankan generator pada Pabrik Gula Camming adalah:

- a. *Overcurrent relay*  
*Overcurrent relay* yang digunakan adalah *Overcurrent relay* dan *inverse overcurrent relay* yang berfungsi untuk memproteksi generator bila terjadi hubung singkat yang menyebabkan arus lebih.
- b. *Earth fault relay*  
*Earth fault relay* yang digunakan adalah *instantaneous earth fault relay* yang berfungsi untuk mengamankan generator terhadap gangguan ke tanah
- c. *Overvoltage relay*  
*Overvoltage relay* yang digunakan adalah *Overvoltage relay* tipe VDG dan *instantaneous overvoltage relay* tipe VAC yang berfungsi untuk mengamankan generator dari kerusakan yang disebabkan oleh tegangan lebih.
- d. *Auxiliary relay*  
*Auxiliary relay* merupakan relai bantu yang berfungsi untuk membantu mengamankan generator jika relai yang seharusnya bekerja tetapi terjadi gangguan pada relai tersebut sehingga tidak bekerja sebagaimana mestinya.
- e. *Tripping relay*  
*Tripping relay* adalah relai untuk pemutusan, relai ini merupakan *back-up* untuk *overcurrent relay* yang tidak atau gagal bekerja.
- f. *Master relay*  
*Master relay* adalah relai yang menjadi *back-up* untuk sistem relai yang ada. Apabila gangguan pada semua relai maka relai ini akan bekerja paling belakangan.
- g. *Reverse power relay*  
*Reverse power* yang digunakan adalah *inverse reverse power relay* yang berfungsi untuk mengamankan generator dari daya balik.

#### 4.4 Keandalan Relai Proteksi Generator

Gangguan pada generator yang digunakan pada Pabrik Gula Camming yang disebabkan oleh terjadinya hubung singkat dari

Tabel 1. Frekuensi gangguan/tahun

No.	Tahun	Lama gangguan/tahun (jam)	Frekuensi gangguan/tahun
1	1996 – 1999	-	0
2	2000 – 2003	-	0
3	2004 – 2007	2,5	$2,283.10^{-5}$
4	2008 – 2011	-	0
5	2012- sekarang	1	$1,142.10^{-5}$

Pada tabel 1 terlihat bahwa pada tahun 1996 sampai 2003 tidak pernah terjadi gangguan yang disebabkan hubung singkat. Ini dikarenakan generator masih dalam keadaan baik. Pada tahun 2004 sampai 2007 terjadi 3 kali gangguan dengan lama gangguan 2,5 jam. Pada tahun 2012 terjadi 2 kali gangguan dengan lama gangguan 1 jam.

Tabel 2. Frekuensi gangguan/tahun

N o.	Tahun	Konfigurasi Seri	Konfigurasi Paralel	Konfigurasi Cadangan
1	1996– 1999	1	1	1
2	2000– 2003	1	1	1
3	2004– 2007	0,9994	1	0,0995
4	2008– 2011	1	1	0,9998
5	2012 sekarang	-	0,9997	0,9999

Pada tabel 2 terlihat bahwa kehandalan sistem proteksi generator pada Pabrik Gula Camming tahun 1996 sampai 2003 konfigurasi kehandalannya adalah 1. Tahun 2004 sampai 2007 dengan konfigurasi seri kehandalannya 0,9994, konfigurasi paralel kehandalannya 1 dan konfigurasi cadangannya 0,9995. Tahun 2008 hingga 2011 dengan konfigurasi seri dan paralel kehandalannya 1 sedangkan konfigurasi cadangan 0,9998. Tahun 2012 dengan konfigurasi seri kehandalannya 0,9998, konfigurasi paralel kehandalannya 0,0007 dan konfigurasi cadangan kehandalannya 1. Ini memperlihatkan bahwa kehandalan sistem proteksi generator pada Pabrik Gula Camming diklasifikasikan sangat baik.

## 5. Kesimpulan dan Saran

### 5.1 Kesimpulan

Keandalan sistem proteksi terhadap hubung singkat diklasifikasikan sangat baik karena keandalannya mendekati dan bahkan mencapai nilai 1. Ini dikarenakan generator masih beroperasi dalam umur ekonomis.

### 5.2 Saran

Pemeliharaan terhadap sistem proteksi yang telah ada perlu perhatian lebih terutama CB dan relay. Setting parameter-parameter berada dalam posisi yang diinginkan dan peralatan masih memenuhi syarat-syarat teknis yang ada.

## 6. Daftar Pustaka

Abdul Kadir, 1996, *Pembangkit Tenaga Listrik*, Jakarta: Universitas Indonesia

A.S. Pabla, 1991, *Sistem Distribusi Daya Listrik*, Jakarta: Erlangga

Hutahuruk, 1999, *Pengetahuan Netral Sistem Tenaga dan Pengtanahan Peralatan*, Jakarta: Erlangga

Stevenson, 1994, *Analisis Sistem Tenaga Listrik*, Jakarta: Erlangga

Sunil S. Rao, 1978, *Swicth Gear and Protection*, India: Khanna Publisher