

## Analisis Kinerja Sistem Proteksi Type M-3425A pada Generator di WHRPG PT. Semen Padang

Liliana<sup>1</sup>, Delafena I<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sultan Syarif Kasim Riau  
Jl. HR. Soebrantas No. 155 Simpang Baru, Panam, Pekanbaru, 28293  
Email: liliana@uin-suska.ac.id, 11750515194@students.uin-suska.ac.id

### ABSTRAK

*Waste Heat Recovery Power Generation (WHRPG)* adalah sebuah sistem mengkonservasi energi dan menunjang pembangunan bersih atau *Clean Development Mechanism (CDM)* yang merupakan implementasi dari *Kyoto Protocol*. Sistem ini terbukti dapat menurunkan emisi CO<sub>2</sub> sebesar 47.000 ton per tahun. WHRPG menggunakan generator sinkron dengan kapasitas 8,5 MW dilengkapi dengan sistem eksitasi tanpa sikat. Pengoperasian WHRPG yang kontinu harus didukung dengan pengoperasian generator dengan pengamanan yang optimal. Generator harus terus dilindungi dari gangguan-gangguan yang mungkin terjadi. Pengamanan Generator telah dilengkapi dengan *Generator Protection Type M-3425* yang terdiri atas beberapa jenis pengamanan di dalamnya. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja proteksi pada generator khususnya terhadap gangguan tegangan lebih dan frekuensi rendah berupa kenaikan tegangan mencapai 45% dan gangguan penurunan frekuensi mencapai 6 % . Penelitian ini mengidentifikasi ketepatan kinerja relay *Over Current Relay* dan *under frequency Relay* dalam melaksanakan pengamanan gangguan tersebut. Hasil pemantauan dan analisis dinyatakan bahwa kedua relay dapat dengan cepat membaca gangguan yang terjadi, selanjutnya memberi isyarat untuk mengaktifkan *lock out relay*, *alarm* dan lampu indikator sehingga gangguanpun dengan segera dapat diatasi sehingga potensi kerusakan yang bisa terjadi pada generator bisa diminimalisir.

**Kata Kunci:** WHRPG, *Generator Protection Type M-3425*, *over voltage relay*, *under frequency relay*, gangguan

### ABSTRACT

*Waste Heat Recovery Power Generation (WHRPG)* is a system of energy conservation and support *Clean Development Mechanism (CDM)* that is the implementation of the *Kyoto Protocol*. The system proved to be able to reduce CO<sub>2</sub> emissions by 47,000 tonnes per year. WHRPG uses a synchronous generator with a capacity of 8.5 MW equipped with a brushless excitation system. Continuous operation of WHRPG must be supported with generator operation with optimal security. Generators must continue to be protected against possible disruptions. Generator security is equipped with *Generator Protection Type M-3425* consisting of several types of security in it. This research aims to analyse the performance of the protection of generators in particular against more over voltage and under frequencies in the form of increase in voltage reaches 45% and impaired frequency decrease reaches 6%. This research identifies the accuracy of the performance of *Over Current Relay* and *Under Frequency Relay* in carrying out the security of such faults. The results of monitoring and analysis are stated that both relays can quickly read the interference that occurs, then signals to enable *lock out relay*, *alarms* and indicator lights so that the handling can immediately be solved so that the potential damage that can happen to the generator can be minimized.

**Keywords:** WHRPG, *Generator Protection Type M-3425*, *over voltage*, *under frequency*, *fault*

### Pendahuluan

#### 1. Latar Belakang

Konservasi energi sebagai salah satu pilar manajemen energi nasional yang saat ini belum mendapatkan perhatian yang khusus oleh pemerintah. Penggunaan energi di Indonesia lebih memprioritaskan pada penyediaan dan penyaluran energi listrik. Pernyataan ini terbukti dari peningkatan eksploitasi bahan bakar fosil dan penyaluran energi ke desa-desa di seluruh penjuru

negeri. Menurut undang-undang no 30 Tahun 2007 tentang energi. Konservasi energi adalah upaya sistematis, terencana dan terpadu guna melestarikan sumber daya energi dalam negeri dan meningkatkan efisiensi pemanfaatan sumber energi. Pelaksanaan konservasi dari seluruh tahap baik itu penyediaan, pengusaha, pemanfaatan dan sumber energy [1].

Indonesia saat ini masih bergantung pada penggunaan energi dari fosil. Berdasarkan *Handook of energy and economic statistics of Indonesia (HEESI)* pemasok energi di Indonesia

masih dipasok oleh energi konvensional. Untuk energi non konvensional masih berasal dari air, angin, panas bumi dan lain sebagainya. Batu bara memasok sekitar 24,8%, minyak bumi 30,2% dan 19,03% dari gas alam dengan total 74,14% [2].

Energi listrik merupakan kebutuhan primer bagi perusahaan-perusahaan yang bergerak dibidang produksi barang, salah satunya PT Semen Padang. Sebagian besar aktifitas di perusahaan ini tidak terlepas dari penggunaan daya listrik, baik di perkantoran maupun di pabrik. Untuk mencegah terkedalanya operasional pabrik akibat dari penggunaan listrik PT Semen Padang melakukan kerja sama dengan PT. PLN Persero yakni sebesar 90 MW dan juga menggandeng *New Energy and Industrial Technology Development Organization* (Nedo) asal Jepang untuk membangun pembangkit listrik tenaga gas buang atau WHRPG (*Waste Heat Recovery Power Generation*). Dengan kapasitas 9 MW di Indarung V tetapi untuk *safety* maka dari 9 MW tadi dikurangi sebesar 0,5 MW sehingga daya yang bisa dihasilkan WHRPG menjadi 8,5 MW. Selain itu, teknologi ini juga akan mengurangi dampak pemanasan global dengan penurunan emisi CO2 sebesar 47.000 ton per tahun [2], [9].

WHRPG (*Waste , Heat Recovery Power Generation*) menggunakan generator sinkron yang terhubung langsung dengan Gardu Induk di perusahaan tersebut. Dalam proses sinkronisasi memiliki syarat yang harus dipenuhi yaitu frekuensi yang sama, urutan fasa, sudut fasa, dan tegangan yang sama [3]. Generator merupakan salah satu aspek terpenting pada sistem pembangkit dan merupakan aspek yang paling rentan terhadap gangguan dan kesalahan. Gangguan yang bisa terjadi seperti arus lebih, tegangan lebih, daya balik, frekuensi lebih dan lain sebagainya [4].

Dalam mengantisipasi gangguan tersebut generator membutuhkan peralatan proteksi yang mampu melindungi generator. Seperti gangguan arus lebih maka dibutuhkan relay arus lebih yang dapat mengantisipasi gangguan tersebut, gangguan tegangan lebih juga memiliki alat pengaman berupa relay tegangan lebih. Untuk mempermudah pengecekan dan penyetingan. Semua peralatan proteksi yang ada disatukan dalam sebuah perangkat proteksi generator Type M-3425, yang terdiri atas 24 jenis relay yang berfungsi mengamankan kinerja generator [5]. Di Penelitian ini akan menganalisis kinerja peralatan proteksi terhadap gangguan yang pernah terjadi terjadi berupa *over voltage* dan *under frequency*.

Kemampuan proteksi dalam menangani gangguan yang terjadi diharapkan dapat ditangani sesuai fungsi dan kerja peralatan relay proteksi di generator.

## 2. Teori

### 2.1. Waste Heat Recovery Power Generation (WHRPG)

WHRPG adalah penggunaan gas buang Kiln pada boiler untuk memanaskan air dan mengubah air tersebut menjadi uap yang sangat panas yang digunakan untuk menggerakkan turbin dan menghasilkan tenaga listrik dari kumparan medan magnet di generator. Peralatan-peralatan yang mendukung kerja WHRPG terdiri atas pompa, *sand filter*, *ram water tank*, *demineralizer*, *cooling tower*, *Suspension Preheater (SP) Boiler*, dan *Air Quenching Cooler (AQC) Boiler* [6].

### 2.2 Generator Sinkron

Generator sinkron /alternator adalah mesin listrik arus bolak balik yang menghasilkan arus bolak-balik. Generator sinkron bekerja dengan cara mengubah energi mekanik (gerak) menjadi energi listrik berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik [3], [4], [8]. Generator yang digunakan pada WHRPG adalah generator sinkron 3 fasa. Generator ini diproduksi oleh Meidensha Corporation (Jepang) dengan kapasitas 8,5 MW yang dilengkapi dengan sistem eksitasi tanpa sikat (*brushless exciter*). Tegangan keluaran generator pada unit ini adalah sebesar 6,3 kV [5].



Gambar 1. Generator Sinkron pada WHRPG

### 2.3 Sistem Proteksi pada Generator

Beberapa peralatan perlindungan pada generator dari gangguan disajikan sebagai berikut [4]:

#### 1. Generator Differential Protection

Proteksi ini membandingkan dua besaran arus dan fasa antara dua titik atau lebih pada batas-batas daerah pengamanan. Relay ini digunakan sebagai proteksi utama untuk mengamankan generator dari gangguan hubung singkat hubung fasa atau hubung singkat antar lapisan (*layer short circuit*) yang bekerja dengan kecepatan tinggi agar tidak terjadi kerusakan yang lebih parah.

2. *Over Voltage Protection*

Relay ini digunakan sebagai proteksi generator terhadap tegangan lebih pada generator.

3. *Under Voltage Protection*

Proteksi ini berfungsi untuk mendeteksi beberapa kondisi yang menyebabkan kondisi *undervoltage*.

4. *Field Failure Relay*

Proteksi ini merupakan pengaman generator yang melindungi ujung-ujung belitan stator generator sebagai akibat hilangnya penguatan generator.

5. *Reverse Power Protection*

Proteksi yang berfungsi apabila terjadi daya balik yang masuk ke generator, sehingga mencegah generator sebagai motor.

6. *Voltage dependent Over Protection*

Relay ini berfungsi untuk mendeteksi arus lebih yang mengalir dalam kumparan stator generator.

7. *Under Frequency Protection*

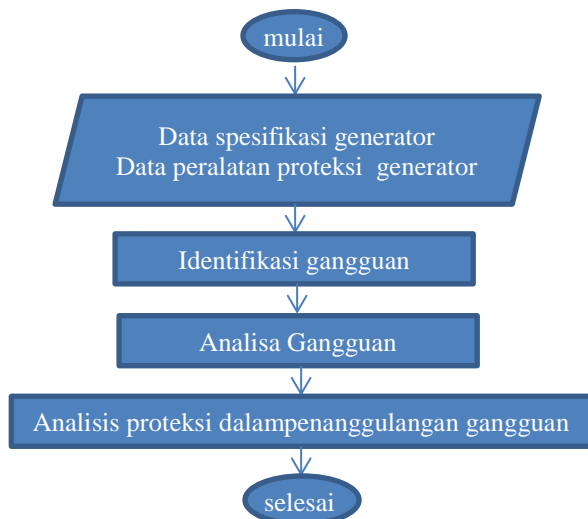
Pengaman bantu generator untuk mendeteksi adanya perubahan frekuensi di bawah harga yang diizinkan.

8. *Over frequency Protection*

Pengaman bantu generator untuk mendeteksi adanya perubahan frekuensi di atas harga yang diizinkan.

**Metode Penelitian**

Metodologi penelitian disajikan dalam diagram alir berikut ini



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

3.1. *Data Spesifikasi Generator*

Generator sinkron yang diproteksi pada WHRPG memiliki spesifikasi sebagai berikut

Tabel 1. Data spesifikasi generator [6]

Type	TIC-AF	Coolant temperatur	43°C
Output	9445 KVA	Poles	4
Rotasi Speed	1500 rpm	Phase	3
Frequency	50 Hz	Merk	Meiden
Voltage	6300 V	Year	2010
Current	866 A	Thermal class	155 (F)
Power Factor	90%	Field Current	143 A
Rating	CONT	Field Voltage	235 V

3.2. *Data Peralatan Proteksi M.3425*

Data peralatan proteksi yang sejauh ini pernah bekerja mengamankan generator sesuai fungsinya dapat disajikan sebagai berikut

Tabel 2. Data peralatan proteksi M-3425 dan fungsinya

Proteksi	Fungsi
<i>Generator Differential Protection (87G)</i>	Melindungi mesin dari semua kesalahan kumparan internal, fasa tunggal ke gangguan ground pada mesin
<i>Over Voltage Protection (59G)</i>	Proteksi generator terhadap tegangan lebih pada generator
<i>Under Voltage Protection (27G)</i>	Mendeteksi beberapa kondisi yang menyebabkan kondisi tegangan rendah
<i>Field Failure Relay (40G)</i>	Melindungi ujung-ujung belitan stator generator sebagai akibat hilangnya penguatan generator
<i>Reverse Power Protection (32R)</i>	Melindungi apabila terjadi daya balik yang masuk ke generator, sehingga mencegah generator sebagai motor
<i>Voltage dependent Over Protection (51G)</i>	Mendeteksi arus lebih yang mengalir dalam kumparan stator generator.
<i>Under Frequency Protection (81L)</i>	Mendeteksi adanya perubahan frekuensi dibawah harga yang diizinkan.
<i>Over frequency Protection (81H)</i>	Mendeteksi adanya perubahan frekuensi diatas harga yang diizinkan.

**Hasil dan Pembahasan**

1. *Identifikasi Gangguan pada Generator WHRPG*

Identifikasi merupakan tahap awal dalam mengetahui gangguan pada generator. Identifikasi gangguan bertujuan agar operator dapat dengan mudah mengetahui gangguan yang terjadi pada generator. Proses awal dalam identifikasi ditandai dengan alarm, lampu LED menyala dan monitor pada ruangan kontrol menampilkan adanya

gangguan. Selanjutnya operator akan mengecek *Generator Protection Relay Type M -3425A*. Monitor akan menampilkan data gangguan berupa nilai yang tidak sesuai dari settingan pada alat proteksi, dimana data tersebutlah yang dijadikan perbandingan guna menentukan jenis gangguan yang terjadi.

Berdasarkan gangguan yang pernah terjadi pada generator, maka hasil identifikasi yang didapatkan adalah data- data gangguan yang tersaji berikut ini:

Tabel 3. Hasil identifikasi gangguan pertama (Gangguan tanggal 23 Januari 2020)

Tegangan generator ( $V_g$ )	6,300 V
Frekuensi generator (f)	50 Hz
Kenaikan tegangan ( $\Delta V_R$ )	45 %
Tegangan pada sisi primer ( $V_p$ )	6,600 V
Tegangan pada sisi sekunder ( $V_s$ )	110 V

Tabel 4. Hasil identifikasi gangguan kedua (Gangguan tanggal 14 Februari 2020)

Frekuensi rata-rata generator (f)	50 Hz
<i>Governor drop</i>	6 %
frekuensi (Fu)	46 Hz (6%)

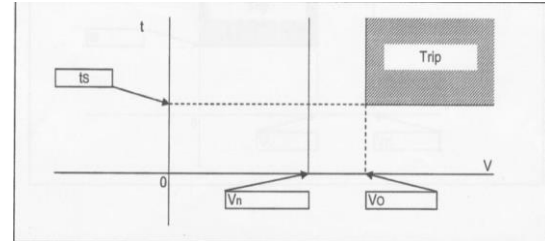
## 2. Analisa Gangguan pada Generator WRHPG

### 2.1. Analisa Data Gangguan Pertama

Gangguan pertama yang terjadi telah berhasil diidentifikasi oleh perangkat proteksi, dimana relay yang bertugas membaca gangguan yang terjadi dan memberikan isyarat sesuai fungsi dari relay tersebut. Setelah pengecekan pada *generator control panel*, terdapat indikator pada LED *Phase Over voltage* menyala. Ini mengindikasikan bahwa gangguan yang terjadi adalah gangguan *over voltage* sehingga yang bekerja adalah relay Tegangan Lebih pada generator. Berdasarkan data yang disajikan pada tabel,1 terjadi kenaikan tegangan yang melebihi nilai settingan relay Over Voltage pada Sistem Proteksi generator Type M-3425A dengan kenaikan mencapai 45 %. Terjadi kenaikan tegangan mencapai 160 Volt pada sisi sekunder. Berdasarkan data settingan pada *relay Over Voltage* batas kenaikan tegangan yang diizinkan tidak lebih dari 143 V atau tidak melebihi 30 % kenaikan dari tegangan nominal keluaran generator.

Tegangan lebih yang terjadi melebihi nilai settingan mencapai 17 V. Dari data pada tanggal 23 Januari 2020, gangguan tersebut bersifat *electrical fault*. Gangguan tegangan lebih tersebut disebabkan oleh putaran rotor yang *overspeed* sehingga berdampak pada tembusnya desain isolasi yang akhirnya akan menimbulkan

hubungan singkat antara belitan. Untuk mengatasi hal tersebut proteksi tegangan lebih akan memerintahkan *Circuit Brieket* (CB) untuk *open*. Setelah diperiksa dan putaran kembali normal maka *Circuit Brieket* (CB) akan diperintahkan *Close* agar generator kembali beroperasi.



Gambar 3. Settingan nilai tegangan dan waktu untuk memerintahkan CB [7]

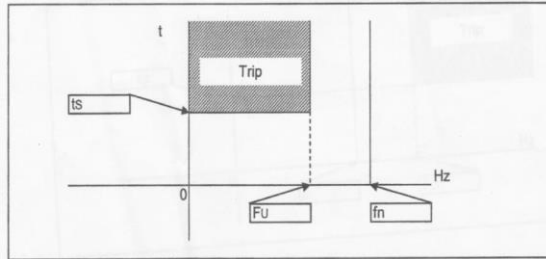
Konfirmasi terhadap gangguan tegangan lebih dapat dilihat pada gambar 3. Settingan nilai tegangan dan waktu terhadap gangguan tegangan lebih, dimana  $V_n$  adalah tegangan normal yaitu 110 V dalam keadaan AVR tanpa beban, pada keadaan transien nilai tegangan mencapai 143 V. Apabila tegangan tersebut berlebih dari nilai yang sudah di setting makan proteksi akan memberi sinyal kepada CB (*Circuit Breaket*) agar ke kondisi *open*.

### 2.1. Analisa Data Gangguan Kedua

Pengecekan pada *generator control panel* menunjukkan bahwa lampu indikator pada LED *frekuensi menyala*. Setelah melihat data gangguan pada monitor, diperoleh informasi bahwa nilai frekuensi bernilai 46 Hz. Berdasarkan gangguan yang terjadi berupa nilai frekuensi yang nilainya berada di bawah frekuensi sistem maka relay yang bertugas membaca gangguan tersebut adalah *Relay Under Frequency*. *Relay under frequency* akan bekerja jika penurunan frekuensi sistem melebihi 4% atau mencapai nilai 48 Hz. Dari gangguan yang telah diidentifikasi diketahui bahwa frekuensi system mengalami penurunan sebesar 6%.

Penurunan frekuensi yang terjadi mencapai 2 Hz. Penurunan berpengaruh pada daya listrik yang dihasilkan generator. Frekuensi memiliki hubungan dengan turbin dan generator, maka dari itu frekuensi berpengaruh terhadap putaran turbin yang diatur oleh governor. Gangguan frekuensi rendah bersifat *System Fault* karena gangguan tersebut berasal dari kesalahan sistem. Governor drop pada tabel di atas akan berbanding lurus dengan frekuensi dimana semakin besar kegagalan dari governor semakin besar juga kegagalan pada frekuensi. Dalam

pembangkitan dan penyaluran dibutuhkan nilai yang konstan yaitu 50 Hz sesuai standar dari PLN. Sama seperti relay sebelumnya relay ini akan memerintahkan CB ke kondisi *open*, akan kembali *close* apabila kembali normal.



Gambar 4 . Setting nilai Frekuensi dan waktu untuk memerintahkan CB [7]

Konfirmasi gangguan frekuensi rendah dapat dilihat pada Gambar 4. Nilai settingan frekuensi pada saat rendah adalah 48 Hz, dengan nilai toleransi 49 Hz. Waktu yang setting untuk memerintahkan CB (*Circuit Breaket*) ke keadaan *open* dari 0-2s, tergantung nilai frekuensi yang terdeteksi.

### Kesimpulan

Penelitian ini telah berhasil mengidentifikasi gangguan- gangguan yang terjadi pada generator sinkron WRPHG. Identifikasi dilakukan oleh *Generator Protection Relay* Type M -3425A dengan mengaktifkan alarm, lampu LED sebagai peringatan adanya gangguan dan pembacaan gangguan di monitor *Generator Control Panel*. Generator sinkron mengalami kenaikan tegangan mencapai 45% atau mencapai 160 V dari tegangan nominal sekundernya dan melebihi batas settingan tegangan pada relay Tegangan Lebih sebesar 143 V. Tegangan lebih yang terjadi mengakibatkan relay bekerja memerintahkan *Circuit Brieket* (CB) untuk *open*, akan *close* apabila tegangan sudah kembali normal. Begitu juga ketika terjadi frekuensi rendah, maka Relay *Under frequency* akan bekerja memberikan isyarat kepada CB untuk trip.

Penelitian ini bisa dikembangkan lagi untuk jenis gangguan lainnya, mengidentifikasi gangguan yang terjadi dan menganalisisnya berdasarkan fungsi kerja relay yang ada pada sistem proteksi generator Type M-3425 A .

### Ucapan Terima Kasih

Terimakasih peneliti ucapkan kepada PT. Semen Padang Unit WHRPG dan Utilitas, Sie. WHRPG yang telah memberikan kesempatan dan dukungan

fasilitas kepada peneliti selama melaksanakan penelitian. Terimakasih juga kepada semua pihak yang telah memberikan support dalam penulisan paper ini.

### Daftar Pustaka

- [1] Nugroho, H. (2012). *Konservasi Energi sebagai keharusan yang terlupakan dalam energi nasional*, Jakarta.
- [2] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2016). *Handook of energy and economic statistics of Indonesia ( HEESI)*.
- [3] Annisa, Winarso, & Dwiono, M. (2019). Analisis Pengaruh Perubahan Beban Terhadap Karakteristik Generator Sinkron. *Jurnal Riset Rekayasa Elektro*, P-ISSN 2685 – 4341, E-ISSN 2685 – 5313. Vol. 1 No.1, 37-53,
- [4] Hidayat, S., Nrartha, M. A., & Citarsa, B.F. (2019). Perancangan Sistem Proteksi dan Monitoring untuk Generator Sinkron Tiga Fase Berbasis Arduino Mega 2560. *Dielektrika*, P-ISSN 2086-9487 [E-ISSN 2579-650x] 141 Vol. 6, No.1 :141 - 153.
- [5] Meiden Catalog. (2010). *Synchronous Turbine Generators*. Tokyo: Meidensha Corporation.
- [6] Reski, S.O. (2017). *Sistem Brushless Excitation dan Pengaturan Tegangan Dengan AVR Ynex06d pada Generator Sinkron WHRPG*. Universitas Andalas. Padang.
- [7] Chapman, Stephen J. (1999) . *Electric Machinery Fundamentals*. New York : Third Edition Mc Graw Hill Companies.
- [8] Fitzgerald, A. E., Charles Kingsley, JR. (1971). *Electric Machinery*. New York : McGraw-Hill Book Company, Inc.
- [9] Utari, L. A. (2018). Perbandingan Sistem Operasi Sinkronisasi Antara PLTA Kuranji dengan Unit Pembangkit WHRPG di PT Semen Padang. Universitas Andalas. Padang