

**SKRIPSI**

**ANALISIS PERSENTASE DARI DAYA YANG TERPASANG  
PADA GENERATOR TERHADAP SETTING DAYA PADA RELAY**



Oleh

**ASWIN DWI PUTRA**

**105 82 1100817**

**TAUFIK HIDAYAT**

**105 82 1104117**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR**

**2023**

**HALAMAN JUDUL**

**ANALISIS PERSENTASE DARI DAYA YANG TERPASANG PADA  
GENERATOR TERHADAP SETTING DAYA PADA RELAY**

Skripsi

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Program Studi Teknik Elektro

Fakultas Teknik

**ASWIN DWI PUTRA**  
**105821100817**

**TAUFIK HIDAYAT**  
**105821104117**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR  
2023**



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan untuk memenuhi syarat ujian guna memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.

Judul Skripsi : **ANALISIS PERSENTASE DARI DAYA YANG TERPASANG PADA GENERATOR TERHADAP SETTING DAYA PADA RELAY**

Nama : 1. ASWIN DWI PUTRA  
2. TAUFIK HIDAYAT

Stambuk : 1. 105 82 11008 17  
2. 105 82 11041 17

Makassar, 31 Agustus 2023

Telah Diperiksa dan Disetujui  
Oleh Dosen Pembimbing;

Pembimbing I

Rizal Ahdiyati Duyo, S.T., M.T

Pembimbing II

Dr. Ir. Hj. Hafsah Nirwana, M.T

Mengetahui,

Ketua Prodi Teknik Elektro



Ir. Adriani, S.T., M.T., IPM

NBM : 1044 202



**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR**  
**FAKULTAS TEKNIK**



**Kampus Merdeka**  
INDONESIA JAYA

GEDUNG MENARA IQRA LT. 3

Jl. Sultan Alauddin No. 259 Telp. (0411) 866 972 Fax (0411) 865 588 Makassar 90221  
 Website : <https://teknik.unismuh.ac.id>, Email : [teknik@unismuh.co.id](mailto:teknik@unismuh.co.id)

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

**PENGESAHAN**

Skripsi atas nama ASWIN DWI PUTRA dengan nomor induk Mahasiswa 105 82 11008 17 dan TAUFIK HIDAYAT dengan nomor induk Mahasiswa 105 82 11041 17, dinyatakan diterima dan disahkan oleh Panitia Ujian Tugas Akhir/Skripsi sesuai dengan Surat Keputusan Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar Nomor : 0012/SK-Y/20201/091004/2023, sebagai salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar pada hari Sabtu, 30 Agustus 2023.

Panitia Ujian :

1. Pengawas Umum Makassar, 15 Dhuhfar 1445 H  
31 Agustus 2023 M
- a. Rektor Universitas Muhammadiyah Makassar  
Prof. Dr. H. Ambo Asse, M.Ag
  - b. Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin  
Prof. Dr. Eng. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T., ASEAN, Eng
2. Penguji
- a. Ketua : Dr. Ir. Zahir Zainuddin, M.Sc
  - b. Sekretaris : Anugrah, S.T., M.M
3. Anggota
- 1. Dr. Umar Katu, S.T., M.T
  - 2. Dr. Eng. Ir. H. Zulfajri Basri Hasanuddin, M.Eng
  - 3. Ir. Adriani, S.T., M.T., IPM

Mengetahui :

Pembimbing I

Pembimbing II

Rizal Ahdiyut Duyo, S.T., M.T

Dr. Ir. Hj. Hafsah Nirwana., M.T



Dr. Ir. Hj. Nurriawaty, S.T., M.T., IPM

NBM : 795 108

12/9/23

## **ANALISIS PERSENTASE DARI DAYA YANG TERPASANG PADA GENERATOR TERHADAP SETTING DAYA PADA RELAY**

**ASWIN DWI PUTRA  
TAUFIK HIDAYAT  
ABSTRAK**

Abstrak : Aswin Dwi Putra dan Taufik Hidayat (2023) Analisis Persentase Dari Daya Yang Terpasang Pada Generator Terhadap Setting Daya Pada Relay. Terjadinya gangguan pada suatu bagian sistem jaringan tenaga listrik sering tidak dapat dihindari. Agar dapat menyelamatkan peralatan sistem dari kerusakan akibat adanya gangguan, maka dibutuhkan sistem proteksi yang andal. Gangguan yang sering terjadi adalah gangguan hubung singkat. Pada pusat-pusat pembangkit, generator yang merupakan salah satu komponen vital harus dijamin mutu dan keandalan sehingga kontinuitas penyalurannya terjamin. Untuk mencapai hal tersebut kita harus melindungi generator terhadap kerusakan dengan cara menghilangkan gangguan yang terjadi secara cepat dan tepat. Untuk itu diperlukan sistem setting relay yang andal dibimbing oleh DR. Ir Hafsah Nirwana, M.T., Rizal A Duyo, S.T., M.T. Adapun tujuan dari pada penelitian ini adalah Mengetahui macam-macam gangguan generator dan akibatnya. Mengetahui sistem setting relay yang digunakan di BTG Tonasa dan Menganalisa kegagalan sistem proteksi generator. Metode yang dipergunakan pada penelitiann ini adalah mengadakan penelitian dan pengambilan data di Boiler Turbin Generator PT semen Tonasa . Hasil yang didapatkan pada penelitian ini adalah. Relay proteksi yang digunakan pada BTG Tonasa sangat banyak, antara lain : relay daya balik, relay differensial, relay transverse diflferensial, relay stator hubung tanah, relay rotor hubung tanah dan relay penguatan hilang. Berdasarkan arus relay 3,57 A maka relay-relay harus disett dengan tap-tap arus yang mendekati nilai arus nominal relay dan Kegagalan sistem proteksi yang diakibatkan setting-setting relay belum pernah terjadi karena setting-setting relay pada BTG Tonasa masih memenuhi syarat (andal).

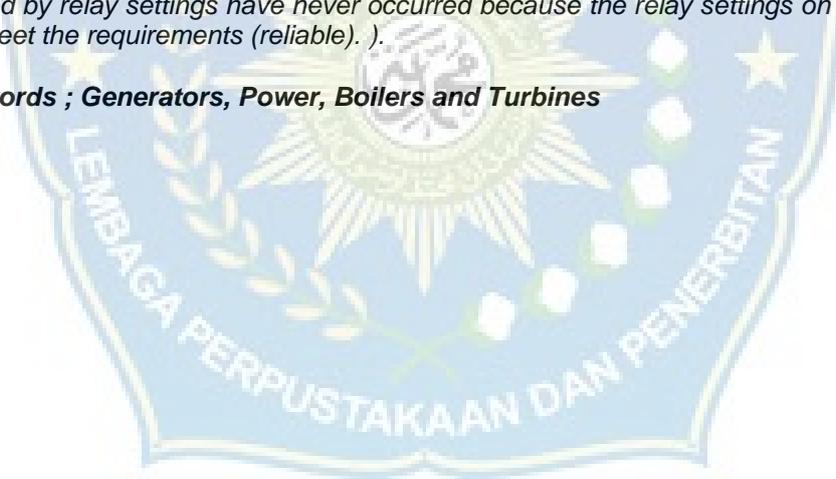
**Kata kunci ; Generator, Daya, Boiler dan Turbin**

ANALYSIS OF THE PERCENTAGE OF POWER INSTALLED IN THE GENERATOR ON  
THE POWER SETTINGS ON THE RELAY

**ASWIN DWI PUTRA  
TAUFIK HIDAYAT  
ABSTRACT**

*Abstract : Aswin Dwi Putra and Taufik Hidayat (2023) Analysis of the percentage of power installed in the generator on the power settings on the relay. The occurrence of disturbances in a part of the electric power network system often cannot be avoided. In order to save system equipment from damage due to interference, a reliable protection system is needed. The disturbance that often occurs is a short circuit. At generating centers, generators, which are one of the vital components, must be guaranteed for quality and reliability so that continuity of distribution is guaranteed. To achieve this, we must protect the generator against damage by eliminating disturbances that occur quickly and precisely. For this reason, a reliable relay setting system is needed, guided by DR. Ir Hafsa Nirwana, M.T., Rizal A Duyo, S.T., M.T. The aim of this research is to find out the various types of generator disturbances and their consequences. Understand the relay setting system used at BTG Tonasa and analyze generator protection system failures. The method used in this research is conducting research and collecting data at the Generator Turbine Boiler of PT Semen Tonasa. The results obtained in this research are: There are many protection relays used on BTG Tonasa, including: reverse power relay, differential relay, transverse differential relay, ground circuit stator relay, ground circuit rotor relay and loss gain relay. Based on the relay current of 3.57 A, the relays must be set with current taps that are close to the nominal current value of the relay and protection system failures caused by relay settings have never occurred because the relay settings on BTG Tonasa still meet the requirements (reliable). ).*

**Keywords ; Generators, Power, Boilers and Turbines**



## KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, karena Rahmat dan HidayahNya sehingga penulis dapat menyusun skripsi ini, dan dapat kami selesaikan dengan baik.

Tugas akhir ini disusun sebagai salah persyaratan akademik yang harus ditempuh dalam rangka penyelesaian program studi pada Jurusan Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar. Adapun judul tugas akhir adalah : “Analisis Persentase Dari Daya Yang Terpasang Pada Generator Terhadap Setting Daya Pada *Relay*”

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa dalam penulisan skripsi ini masih terdapat kekurangan-kekurangan, hal ini disebabkan penulis sebagai manusia biasa tidak lepas dari kesalahan dan kekurangan baik itu ditinjau dari segi teknis penulis maupun dari perhitungan-perhitungan. Oleh karena itu penulis menerima dengan ikhlas dan senang hati segala koreksi serta perbaikan guna penyempurnaan tulisan ini agar kelak dapat bermanfaat.

Skripsi ini dapat terwujud berkat adanya bantuan, arahan, dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu dengan segalan ketulusan dan kerendahan hati, kami mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada :

1. Ibu DR. Ir. Hj. Nurnawaty, S.T., M.T. sebagai Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
2. Ibu Adriani, ST, MT., sebagai Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.

3. Ibu. DR. Ir. Hafsah Nirwana, M.T. Selaku Pembimbing I dan Bapak Rizal A Duyo, ST, MT, selaku Pembimbing II, yang telah banyak meluangkan waktunya dalam membimbing kami.
4. Bapak dan ibu dosen serta staf pegawai pada fakultas teknik atas segala waktunya telah mendidik dan melayani penulis selama mengikuti proses belajar mengajar di Universitas Muhammadiyah Makassar.
5. Ayahanda dan Ibunda yang tercinta, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya atas segala limpahan kasih sayang, doa dan pengorbanan terutam dalam bentuk materi dalam menyelesaikan kuliah.
6. Saudara-saudaraku serta rekan-rekan mahasiswa fakultas teknik terkhusus angkatan 2017 yang dengan keakraban dan persaudaraan banyak membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Semoga semua pihak tersebut di atas mendapat pahala yang berlipat ganda di sisi Allah SWT dan skripsi yang sederhana ini dapat bernabfaat bagi penulis, rekan-rekan, masyarakat serta bangsa dan Negara. Amin.

Makassar, September 2023

## DAFTAR ISI

	Halaman
SAMPUL .....	i
HALAMAN JUDUL .....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
PENGESAHAN .....	iv
ABSTRAK .....	v
ABSTRACT .....	vi
KATA PENGANTAR .....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xii
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
A. Latar Belakang .....	1
B. Rumusan Masalah .....	2
C. Tujuan .....	2
D. Batasan Masalah.....	3
E. Manfaat .....	3
F. Metode Penulisan .....	3
G. Sistematika Penulisan .....	4
BAB II TINJUAN PUSTAKA .....	6
A. Generator.....	6
1. Prinsip Kerja Generator Sinkron.....	7
2. Jenis Generator AC .....	8

3. Susunan/Konstruksi.....	9
4. Eksitasi Generator AC.....	13
B. Macam-Macam Gangguan Generator .....	15
1. Gangguan Listrik.....	15
2. Gangguan Mekanis/Panas ( <i>Mechanical or Thermal Fault</i> ).....	16
3. Gangguan Sistem ( <i>System Fault</i> ).....	17
C. Perangkat Sistem Proteksi.....	19
1. Relay.....	19
a. Pengertian Relay Proteksi .....	19
b. Fungsi dan Peranan Relay Proteksi.....	20
c. Syarat-Syarat Relay Proteksi.....	22
d. Jenis-Jenis Relay Proteksi.....	23
e. Simbol dan Kode Relay.....	31
2. Pemutus Tenaga/Pemutus Beban .....	32
3. Transduser.....	34
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>37</b>
A. Waktu dan Tempat.....	37
1. Waktu.....	37
2. Tempat .....	37
B. Tahapan Penelitian.....	37
C. Gambar Rangkaian.....	38
<b>BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>42</b>
A. Data Generator Pada BTG Tonasa.....	42

B. Relay Proteksi Generator Pada BTG Tonasa .....	43
1. Relay Daya Balik ( <i>Reverse Power</i> ).....	43
2. Relay Differensial .....	44
3. Relay Transverse Differensial.....	44
4. Relay Rotor Hubung Tanah .....	45
5. Relay Stator Hubung Tanah.....	46
6. Relay Penguatan Hilang ( <i>Field Loss Relay</i> ) .....	47
C. Gangguan;Gangguan yang Pernah Terjadi .....	48
D. Analisa Kegagalan Sistem Proteksi dan Cara Menanggulangi Kegagalan Sistem Proteksi.....	49
1. Relay Proteksi .....	49
2. Trafo Tegangan (PT) dan Trafo Arus (CT) .....	50
3. Pengawatan .....	51
4. Sumber Daya Arus Searah ( <i>Battery Station</i> ) .....	52
5. Pemutus Tegangan .....	53
E. Analisa Setting Relay .....	53
BAB V PENUTUP.....	58
A. Kesimpulan .....	58
B. Saran.....	59
DAFTAR PUSTAKA PUSTAKA.....	60
LAMPIRAN	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Konstruksi Mesin Kutub Luar.....	8
Gambar 2.2 Konstruksi Mesin Kutub Dalam.....	9
Gambar 2.3 Rangkaian Belitan Jangkar Di Stator .....	11
Gambar 2.4 Penampang Rotor untuk Jenis Kutub Menonjol dengan Belitan Peredam.....	12
Gambar 2.5 Penampang Rotor untuk Jenis Kutub Silinder .....	12
Gambar 2.6 Generator dengan Penguat Generator Shunt .....	14
Gambar 2.7 Contoh Relay Listrik.....	19
Gambar 2.8 Relay Pneumatik atau Hydraulic.....	20
Gambar 2.9 Skema Proteksi Daya Balik.....	24
Gambar 2.10 Belitsn Rotor dengan Voltmeter.....	25
Gambar 2.11 Relay Rotor Hubung Tanah.....	26
Gambar 2.12 Skema Dasar Proteksi Differensial .....	27
Gambar 2.13 Skema Dasar Transverse Differensial Protection.....	28
Gambar 2.14 Relay Arus Lebih pada Pentanahan Impedansi.....	29
Gambar 2.15 PMT Sedikit Menggunakan Minyak.....	33
Gambar 2.16 Hubungan Transformator Arus pada Saluran Sistem Daya .....	35
Gambar 2.17 Rangkaia Transformator Tegangan yang Digandengkan dengan Kapasitor (CVT) dengan Induktansi Penyetelan.....	36
Gambar 3.1 Skema Proteksi Daya Balik.....	38
Gambar 3.2 Belitan Rotor Dengan Voltmeter.....	39
Gambar 3.3 Relay Rotor Hubung Tanah.....	40

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **A. Latar Belakang**

Penggunaan tenaga listrik dewasa ini menjadi salah satu hal yang sangat penting dalam masyarakat, dimana hal ini berjalan seiring dengan perkembangan dan peningkatan jumlah konsumen. Mengingat hal tersebut pada sistem kelistrikan dituntut adanya penyediaan daya yang mencukupi dan kontinyu oleh produsen sehingga dapat dinikmati oleh konsumen. Oleh karena itu suatu sistem kelistrikan harus dirancang sedemikian rupa dan dikelola dengan baik dan benar demi kelangsungan penyediaan tenaga listrik.

Terjadinya gangguan pada suatu bagian sistem jaringan tenaga listrik sering tidak dapat dihindari. Agar dapat menyelamatkan peralatan sistem dari kerusakan akibat adanya gangguan, maka dibutuhkan sistem proteksi yang andal. Gangguan yang sering terjadi adalah gangguan hubung singkat.

Oleh karena itu dibangun pusat-pusat pembangkit tenaga listrik yang menggunakan air, uap, gas atau nuklir sebagai tenaga penggerakannya. Dari penggerak awal inilah yang kemudian akan membangkitkan tenaga listrik untuk memenuhi kebutuhan masyarakat dan industri.

Seiring dengan perkembangan industri maka diperlukan pengembangan sumber energi listrik. Listrik merupakan suatu energi yang sangat dibutuhkan manusia dalam kehidupan modern ini. Manfaat yang sangat besar dari listrik terlihat nyata dalam berbagai aspek kehidupan. Kemajuan pesat dibidang

teknologi dan perkembangan sektor industri menyebabkan meningkatnya kebutuhan tenaga listrik.

Pada pusat-pusat pembangkit, generator yang merupakan salah satu komponen vital harus dijamin mutu dan keandalan sehingga kontinuitas penyalurannya terjamin. Untuk mencapai hal tersebut kita harus melindungi generator terhadap kerusakan dengan cara menghilangkan gangguan yang terjadi secara cepat dan tepat. Untuk itu diperlukan sistem setting relai yang andal.

### **B. Rumusan Masalah**

Rumusan masalah dalam Tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana mengatasi kondisi-kondisi yang abnormal yang dapat terjadi pada sistem tenaga listrik misalnya pada generator maka disetiap sistem dilengkapi dengan beberapa peralatan proteksi yang mempunyai fungsi yang berbeda-beda.
2. Bagaimana setting relai bterhadap adanya gangguan dan untuk mengamankannya dan berusaha membatasi daerah yang terkena gangguan seminimal mungkin.

### **C. Tujuan**

Adapun tujuan penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Mengetahui macam-macam gangguan generator dan akibatnya.
2. Mengetahui sistem setting relai yang digunakan di BTG Tonasa.

#### **D. Batasan Masalah**

Adapun batasan masalah dalam tugas akhir ini adalah :

1. Jenis proteksi utama generator yang digunakan pada BTG Tonasa.
2. Mengetahui cara mensett relay
3. Cara menanggulangi dan menganalisa kegagalan sistem proteksi.

#### **E. Manfaat**

Adapun manfaat penulisan tugas akhir ini adalah:

1. Mengetahui kemungkinan gangguan sistem proteksi dan cara menanggulangnya
2. Cara menentukan setting relay daya balik, relay differensial dan relay penguatan hilang.

#### **F. Metode Penulisan**

Dalam penulisan tugas akhir, metode yang digunakan adalah :

1. Penelitian Pustaka (*Library Research*)

Yaitu penulisan atau pengumpulan data-data dengan jalan membaca dan mempelajari berbagai literatur-literatur, tulisan-tulisan dan bahan-bahan kuliah yang telah didapatkan selama mengikuti perkuliahan guna memperoleh landasan teori yang berhubungan dengan materi penulisan tugas akhir.

2. Penelitian Lapangan (*Field Research*)

Yaitu penelitian yang dilakukan secara langsung terhadap obyek penelitian yaitu sistem proteksi generator pada BTG Tonasa dengan cara ;

- a. Observasi (Pengamatan Langsung)

Penulis mengadakan pengamatan langsung terhadap obyek yang diteliti guna mengumpulkan data-data.

b. Interview (Wawancara)

Penulis mengadakan tanya jawab secara langsung kepada pihak-pihak yang memahami permasalahan ini.

**G. Sistematika Penulisan**

Sistematika dari penulisan tugas akhir ini adalah :

**BAB I Pendahuluan**

Terdiri dari latar belakang masalah, alasan memilih judul, tujuan, batasan masalah, metode penulisan dan sistematika penulisan.

**BAB II Tinjauan Pustaka**

Membahas secara umum tentang generator, sistem proteksi dan macam-macam gangguan pada generator, relay-relay proteksi generator yang ada pada BTG Tonasa.

**BAB III Metodologi Penelitian**

Pada bab ini Membahas tentang waktu pembuatan tugas akhir, tempat pembuatan tugas akhir, metode penelitian, gambaran tentang blok atau rangkaian dalam penelitian

**BAB IV Hasil Pembahasan Dan Penelitian**

Pada bab ini menguraikan gangguan-gangguan yang pernah terjadi, analisa kegagalan sistem proteksi dan cara menanggulangi kegagalan sistem proteksi, serta cara mensett relay.

## BAB V Penutup

Bab ini menguraikan tentang kesimpulan dan saran.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **A. Generator**

Generator sering juga disebut sebagai pembangkit atau suatu sarana yang berfungsi untuk membangkitkan arus listrik. Jenis generator ada 2 macam yaitu generator arus searah dan generator arus bolak balik. Pada prinsipnya antara generator arus searah dengan generator arus bolak balik tidak jauh berbeda tetapi memiliki konstruksi yang tidak sama. Untuk generator arus bolak balik kumparan jangkar dihubungkan dengan dua cincin geser sedangkan untuk generator arus searah kumparan jangkar dihubungkan dengan sebuah komutator.

Generator AC lebih cocok untuk membangkitkan tenaga listrik yang berkapasitas besar. Hal ini didasarkan atas pertimbangan-pertimbangan antara lain

:

- Timbulnya masalah komutasi pada generator DC.
- Timbulnya persoalan dalam hal menaikkan dan menurunkan tegangan pada listrik DC. Hal ini menimbulkan persoalan untuk hantaran dalam pengiriman tenaga listrik (transmisi/distribusi) masalah penampang kawat, tiang transmisi, rugi-rugi dan sebagainya.
- Listrik AC mudah untuk diubah menjadi listrik DC.
- Masalah efisiensi mesin dan pertimbangan lainnya.

## 1. Prinsip Kerja Generator Sinkron

Prinsip kerja generator sinkron berdasarkan induksi elektromagnetik. Setelah rotor diputar oleh penggerak mula, dengan demikian kutub-kutub yang ada pada rotor akan berputar. Jika kumparan kutub diberi arus searah, maka pada permukaan kutub akan timbul medan magnet (garis-garis gaya fluks) yang berputar, kecepatannya sama dengan putaran kutub.

Garis-garis gaya fluks yang berputar tersebut akan memotong kumparan jangkar yang ada di stator sehingga pada kumparan jangkar tersebut timbul EMF atau GGL atau tegangan induksi. Frekuensi EMF atau tegangan induksi tersebut mengikuti persamaan;

$$f = \frac{p \times n_s}{120} \text{ Hz} \dots\dots\dots(2.1)$$

dengan:

p = banyaknya kutub

$n_s$  = kecepatan sinkron (rpm)

Karena frekuensi dan tegangan induksi tersebut di Indonesia sudah tertentu yaitu 50 Hz dan jumlah kutub selalu genap, maka putaran kutub/putaran rotor/putaran penggerak mula sudah tertentu.

Besarnya kapasitas daya pada generator dapat dihitung dengan rumus :

$$P = \sqrt{3} V.I \cos \theta \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana:

P = Daya (Watt)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

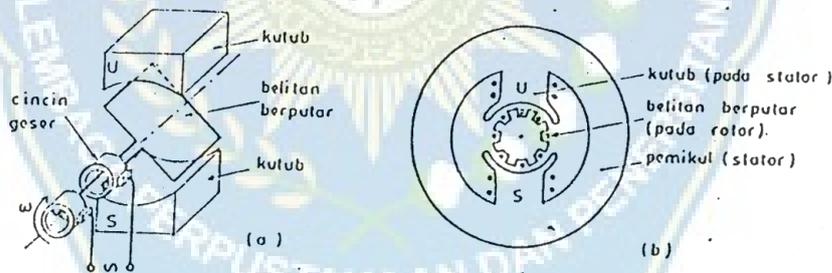
$\cos \theta =$  Faktor daya

## 2. Jenis Generator AC

Ada dua jenis generator dilihat dari letak konstruksi kumparnya, yaitu :

- a. Generator kutub luar
- b. Generator kutub dalam
- a. Generator kutub luar

Pada generator kutub luar, belitan jangkar diletakkan pada rotornya yang berputar, sedangkan belitan medan diletakkan pada statornya. Tegangan dan arus generator dihasilkan dari kumparan jangkar dengan menggunakan cincin geser serta sikat arang. Karena cincin geser dan sikat tidak mampu menyalurkan arus dan tegangan yang besar sehingga penggunaan untuk kapasitas yang besar tidak dapat digunakan.

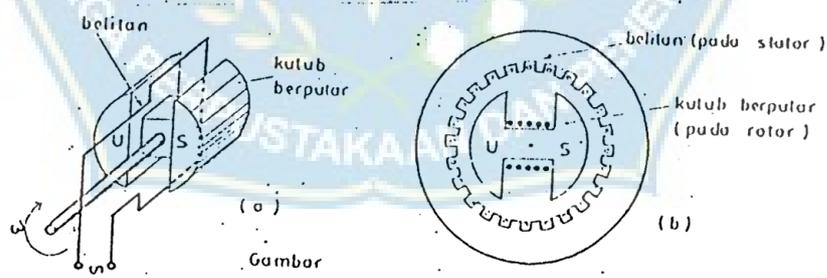


Gambar 2.1 Gambar konstruksi mesin kutub luar 2. Generator kutub dalam

Jenis generator kutub dalam banyak digunakan sebagai sumber tenaga listrik. Pada jenis ini belitan jangkar dipasang pada stator sedangkan belitan medannya ditempatkan pada rotor dengan alasan :

1. Belitan jangkar lebih kompleks daripada belitan medan sehingga lebih mudah dan lebih terjamin ditempatkan pada struktur yang diam serta tegar yakni stator.
2. Lebih mudah mengisolasi dan melindungi belitan jangkar terhadap tegangan yang tinggi.
3. Pendinginan belitan jangkar mudah karna inti stator yang dibuat cukup besar sehingga dapat didinginkan dengan udara paksa.
4. Belitan medan mempunyai tegangan rendah sehingga dapat efisien bila dipakai pada kecepatan tinggi.

Tegangan dan arus keluaran generator diambil langsung dari belitan jangkar yang tidak berputar tidak diambil melalui cincin geser dan sikat lagi. Cincin geser dan sikat tetap digunakan untuk menyalurkan arus searah ke belitan medan yang menghasilkan medan elektromagnet dengan polaritas tetap yang memutar rotor, tapi daya yang dihasilkan relatif kecil.



Gambar 2.2 Konstruksi mesin kutub dalam

### 3. Susunan /Konstruksi

Susunan dalam konstruksi generator AC lebih sederhana bila dibandingkan

generator DC. Adapun bagian-bagian dari generator adalah :

a. Rangka Stator

Dibuat dari besi tuang. Rangka ini merupakan rumah komponen-komponen di dalamnya. Rangka stator ini secara langsung mengalirkan udara melalui bagian-bagian generator untuk pendinginan dan juga sebagai tempat terminal output generator.

b. Stator

Bagian ini tersusun dari plat-plat baja dengan tujuan untuk mereduksi kerugian arus eddy. Dimana pada stator ini mempunyai alur-alur sebagai tempat belitan stator. Belitan stator ini berfungsi sebagai tempat terjadinya GGL induksi. Belitan stator ini dirangkai untuk hubungan tiga fase yang terdiri atas :

1) Belitan satu lapis (single layer winding)

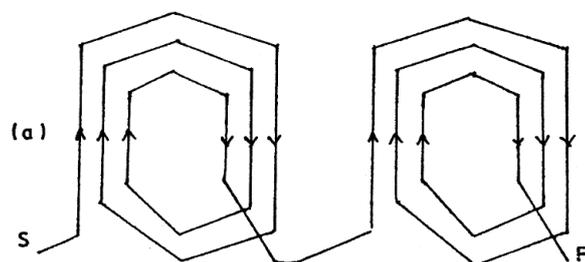
Belitan satu lapis ini bentuknya dua macam :

- Mata rantai
- Gelombang

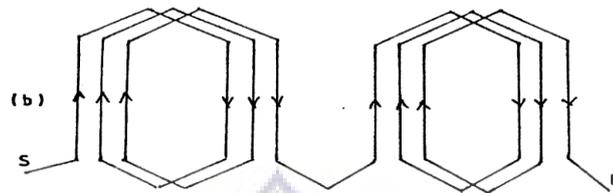
2) Belitan dua lapis (double layer winding)

Belitan dua lapis ini bentuknya dua macam ;

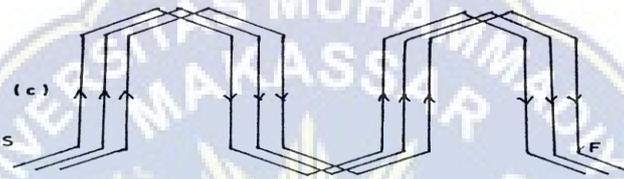
- jenis gelombang
- Jenis gelung Jenis belitan ini dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



(a) Konsentris atau Spiral



(b) Gedung



(c) Gelombang

Gambar 2.3 Rangkaian belitan jangkar di stator

Ujung-ujung dari belitan ini kemudian dipasang pada terminal box dengan hubungan bintang atau segitiga. Hubungan bintang adalah yang paling umum karena dengan sendirinya langsung memberikan tegangan tinggi dan kawat netral dapat dikeluarkan bersama tiga saluran membentuk sistem empat kawat tiga fasa.

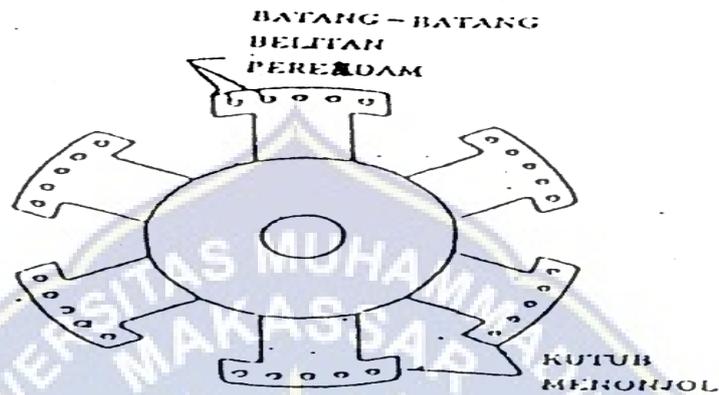
c. Rotor

Konstruksi rotor terdiri dari dua jenis :

1. Jenis kutub menonjol (salient pole) untuk generator dengan kecepatan rendah dan medium. Kutub menonjol terdiri dari inti kutub, badan kutub dan sepatu kutub. Belitan medan dililitkan pada badan kutub, dan pada sepatu kutub

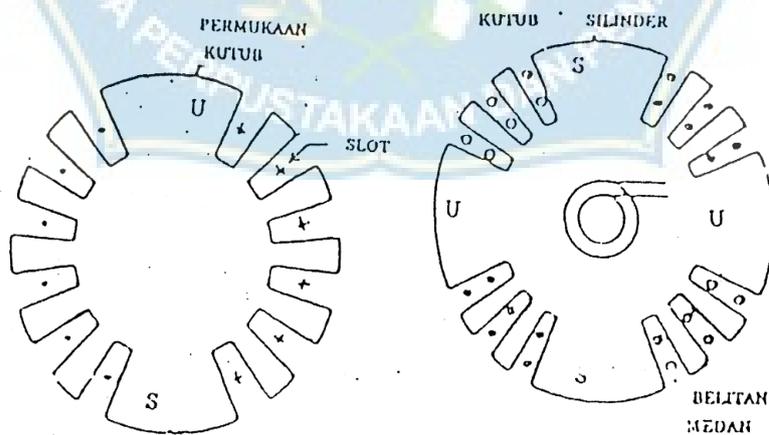
dipasang belitan peredam. Belitan kutub dari tembaga, badan kutub dan sepatu kutub dari besi lunak.

2.



Gambar 2.4 Penampang rotor untuk jenis kutub menonjol dengan belitan peredam

3. Jenis kutub silinder untuk generator dengan kecepatan tinggi (oturbo generator) dengan jumlah kutub yang sedikit terdiri dari alur-alur yang dipasangi kumparan medan dan gigi-gigi. Alur dan gigi tersebut terbagi atas pasangan-pasangan kutub.



Gambar 2.5 Penampang rotor untuk jenis kutub silinder

Kumparan kutub dari kedua macam kutub tersebut dihubungkan dengan cincin geser untuk memberikan arus searah sebagai penguat medan. Arus searah ini dari sumbernya disalurkan melalui sikat kemudian ke cincin geser.

d. Slip ring (cincin geser)

Dibuat dari bahan kuningan atau tembaga yang dipasang pada poros dengan bahan isolasi. Slip ring itu berputar bersama-sama dengan poros dan rotor. Jumlah slip ring ada 2 buah dimana masing-masing alip ring dapat menggeser sikat arang yaitu sikat positif dan sikat negatif yang berguna untuk mengalirkan arus penguat magnet ke lilitan magnet pada rotor,

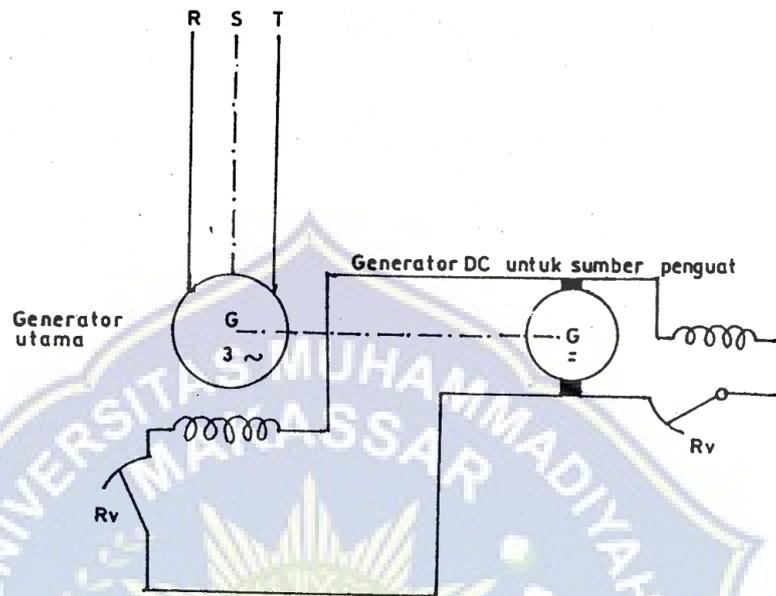
e. Generator Penguat

Generator penguat - adalah suatu generator arus searah yang dipakai sebagai sumber arus. Biasanya yang dipakai adalah dinamo shunt. Generator arus searah ini biasanya dikopel terhadap mesin pemutarnya bersama generator utama. Akan tetapi sekarang banyak generator yang tidak menggunakan generator arus searah sebagai sumber penguat, tetapi mengambil sebagian kecil dari belitan statornya, ditransformasikan kemudian disalurkan dengan dioda sebagai penguat magnetnya.

#### 4. Eksitasi Generator AC

Sistem eksitasi konvensional sebelum tahun 1960 terdiri dari sumber arus searah yang dihubungkan ke medan generator AC melalui dua cincin slip dan

sikat-sikat. Sumber DC yang biasanya digerakkan motor atau generator DC dengan penggerak mula yang sama yang diberikan oleh generator AC.



Gambar 2,6 Generator dengan penguat generator shunt

Sistem pembangkitan lain yang masih digunakan baik dengan generator sinkron type kutub sepatu maupun type rotor silinder sepatu adalah sistem tanpa sikat-sikat dimana generator AC kecil dipasang pada poros yang sama sebagai pengeksitasi. Pengeksitasi AC mempunyai jangkar yang berputar, keluarannya kemudian disearahkan oleh penyearah dioda silikon yang dipasang pada poros utama yang diberikan langsung dengan hubungan isolasi sepanjang poros ke medan generator sinkron yang berputar. Medan dari pengeksitasi AC adalah stasioner dan dicatu dari sumber DC terpisah. Keluaran dari pengeksitasi AC merupakan tegangan yang dibangkitkan oleh generator sinkron yang dapat dikendalikan dengan mengubah kekuatan medan pengeksitasi AC.

## B. Macam-Macam Gangguan Generator

Macam-macam gangguan generator dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

### 1. Gangguan Listrik

Jenis gangguan ini adalah gangguan yang timbul dan terjadi pada bagian-bagian listrik dan generator. Gangguan tersebut antara lain :

a. Stator hubung singkat satu fasa ke tanah (*stator ground fault*)

Gangguan stator hubung tanah tidak dapat dideteksi oleh relay apabila impedansi titik netral generator ke tanah tinggi. Akibat gangguan stator ke tanah menimbulkan bunga api yang bisa menyebabkan kebakaran dan merusak isolasi serta inti besi.

b. Rotor hubung tanah (*field ground*)

Pada rotor generator yang belitannya tidak dihubungkan ke tanah, bila salah satu sisi terhubung ke tanah belum menjadi masalah. Tetapi bila sisi lainnya terhubung ke tanah maka akan terjadi arus medan pada sebagian belitan yang terhubung singkat melalui tanah. Akibatnya terjadi ketidakseimbangan fluksi yang menimbulkan vibrasi yang berlebihan dan kerusakan fatal pada rotor yang dapat membahayakan generator maupun penggerakannya. Besarnya getaran mekanis yang timbul sangat dipengaruhi oleh jarak bantalan penyangga generator dari penggerakannya.

c. Kehilangan medan penguat (*loss of excitation*)

Hilangnya medan penguat akan membuat putaran mesin naik dan berfungsi sebagai generator induksi. Kondisi ini akan berakibat pemanasan

lebih pada rotor dan pasak, akibat arus induksi yang bersirkulasi pada rotor.

Kehilangan medan penguat dapat dimungkinkan oleh:

- Jatuhnya (trip) saklar penguat
- Hubung singkat pada belitan penguat
- Kerusakan kontak-kontak sikat arang pada sistem penguat
- Kerusakan pada sistem AYR d, Tegangan lebih

Tegangan yang berlebihan melampaui batas maksimum yang diijinkan dapat berakibat tembusnya desain isolasi yang akhirnya akan menimbulkan hubung singkat antar belitan. Tegangan lebih dapat dimungkinkan oleh putaran mesin lebih cepat atau kerusakan pada pengatur tegangan otomatis.

## **2. Gangguan Mekanis/Panas (*Mechanical or Thermal Fault*)**

Jenis-jenis gangguan mekanik atau panas meliputi:

### **a. Generator berfungsi sebagai motor (*Motoring*)**

Motoring adalah peristiwa perubahan fungsi generator menjadi motor akibat adanya daya balik (reverse power). Daya balik terjadi disebabkan oleh turunnya daya masukan dari penggerak utama (prime mover). Dampak kerusakan akibat peristiwa ini adalah pada penggerak utama itu sendiri. Pada turbin uap peristiwa motoring mengakibatkan pemanasan lebih pada sudu-sudunya.

b. Pemanasan lebih setempat

Pemanasan lebih setempat pada sebagian stator dapat dimungkinkan oleh :

- Kerusakan laminasi
- Kendornya bagian-bagian tertentu di dalam generator seperti pasak-pasak stator terminal ujung-ujung belitan.

c. Kesalahan paralel

Kesalahan dalam memparalel generator karena syarat-syarat sinkron tidak terpenuhi dapat mengakibatkan kerusakan pada bagian poros dan kopling generator dan penggerak utamanya karena terjadinya momen puntir. Kemungkinan kerusakan lain yang timbul adalah kerusakan PMT dan kerusakan pada kumparan stator akibat adanya kenaikan tegangan sesaat.

d. Gangguan pendingin stator

Gangguan pada sistem pendingin stator (pendingin dengan media udara, hydrogen atau air) sebagai akibat banyaknya debu yang menempel pada stator atau kurang sempurnanya aliran udara atau aliran hydrogen akan menyebabkan kenaikan suhu belitan stator. Apabila suhu belitan melampaui batas ratingnya akan berakibat kerusakan belitan.

### 3. Gangguan Sistem (*System Fault*)

Gangguan yang umum terjadi pada sistem generator antara lain :

a. Frekuensi generator yang tidak normal

Perubahan frekuensi keluar dari batas-batas normal di sistem dapat berakibat ketidakstabilan pada turbin generator. Perubahan frekuensi sistem

dapat dimungkinkan . oleh tripnya unit-unit pembangkit atau penghantar. Akibat tripnya pada transmisi mengakibatkan putaran generator dan penggerakannya akan menjadi lebih cepat. Dengan putaran yang cepat ini sangat berpengaruh pada bantalan penyangga generator yang lama kelamaan akan panas dan mengalami kerusakan.

b. Lepas sinkron (*loss of synchron*)

Adanya gangguan di sistem akibat perubahan beban mendadak switching, hubung singkat dan peristiwa lainnya yang cukup besar akan menimbulkan ketidakstabilan sistem. Apabila peristiwa ini cukup lama dan melampaui batas-batas ketidakstabilan generator, generator akan kehilangan kondisi paralel. Keadaan ini akan menghasilkan arus puncak yang tinggi dan penyimpangan frekuensi operasi keluar dari yang seharusnya sehingga akan menyebabkan terjadinya stress pada belitan generator, gaya puntir yang berfluksitasi dan resonansi yang akan merusak turbin generator. Pada kondisi ini generator harus dilepas dari sistem.

c. Arus beban kumparan yang tidak seimbang

Pembebanan yang tidak seimbang pada sistem atau adanya gangguan 1 fasa dan 2 fasa pada sistem menyebabkan beban generator tidak seimbang dan menimbulkan arus urutan negatif. Arus urutan negatif yang lebih akan mengakibatkan arus medan frekuensi rangkap dengan arah berlawanan dengan putaran rotor dan menginduksikan arus pada rotor yang menyebabkan adanya pemanasan lebih dan kerusakan pada bagian-bagian konstruksi rotor,

### C. Perangkat Sistem Proteksi

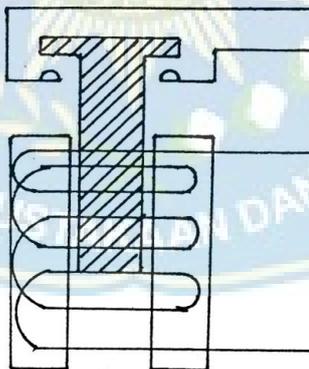
Dihilangkannya suatu gangguan dengan cepat oleh suatu sistem perlindungan memerlukan kerja yang benar dari beberapa sub-sistem dari sistem perlindungan tersebut. Sistem perlindungan tersebut dapat dibagi menjadi 3 sub sistem:

1. Relay
2. Pemutus tenaga/beban
3. Transduser

#### 1. Relay

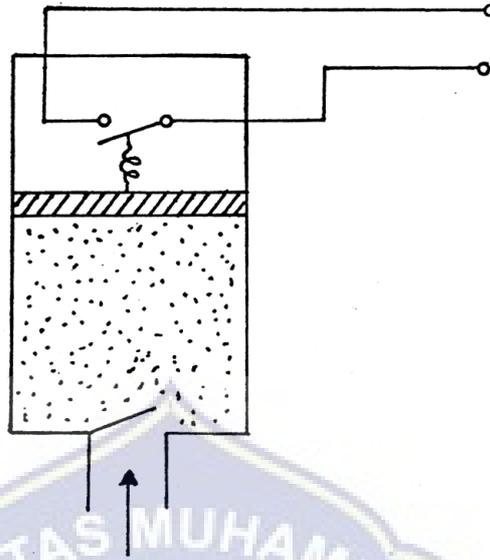
##### a. Pengertian Relay Proteksi

Relay adalah alat yang bekerja secara otomatis mengatur/memasukkan suatu rangkaian listrik (rangkai trip atau alarm) akibat adanya perubahan rangkaian lain.



Gambar 2.7 Contoh Relay Listrik

Pada gambar 2.7, rangkaian trip atau alarm akan kontak apabila ada perubahan nilai tertentu dari nilai rangkaian listrik lainnya, relay ini biasa disebut relay listrik.



Gambar 2.8 Relay pneumatik atau hydrolic

Rangkaian trip alarm akan masuk apabila tekanan dalam ruang A mencapai nilai tertentu akibat adanya perubahan dari rangkaian hydraulic atau pneumatic relay ini biasa disebut relay hydraulic atau relay pneumatic.

Relay proteksi adalah suatu relay listrik yang digunakan untuk mengamankan peralatan-peralatan listrik terhadap kondisi abnormal.

b. Fungsi dan Peranan Relay Proteksi

Nilai investasi peralatan listrik pada suatu pembangkit listrik sedemikian besarnya sehingga perhatian yang khusus harus diutamakan agar setiap peralatan tidak hanya beroperasi dengan efisiensi yang optimal, tetapi juga harus teramankan dari kecelakaan atau kerusakan yang total. Kerusakan yang fatal dapat menimbulkan :

- Kerugian biaya investasi
- Kerugian operasi
- Terganggunanya pelayanan

Untuk itu relay proteksi sangat diperlukan pada peralatan pembangkit.

Relay proteksi adalah suatu perangkat kerja proteksi yang mempunyai fungsi dan peranan :

- 1) Memberikan sinyal alarm atau melepas pemutus tenaga (circuit breaker) dengan tujuan mengisolir gangguan atau kondisi yang tidak normal seperti adanya : beban lebih, tegangan rendah, kenaikan suhu, beban tidak seimbang, daya balik, frekuensi rendah, hubung singkat dan kondisi abnormal lainnya.
- 2) Melepas/mentrip peralatan yang berfungsi tidak normal untuk mencegah timbulnya kerusakan.
- 3) Melepas/mentrip peralatan yang terganggu secara cepat dengan tujuan mengurangi kerusakan yang lebih berat.
- 4) Menglokalisir kemungkinan dampak akibat gangguan dengan memisahkan peralatan yang terganggu dari sistem. Peralatan yang terganggu dapat menyebabkan gangguan pada peralatan lain yang berada pada sistem.
- 5) Melepas peralatan/bagian yang terganggu secara cepat dengan maksud menjaga stabilitas sistem, kontinuitas pelayanan dan kerja sistem. Secara umum fungsi dan peranan relay proteksi adalah :
  - Mencegah kerusakan
  - Membatasi kerusakan
  - Mencegah meluasnya gangguan sistem.

### c. Syarat-Syarat Relay Proteksi

Adapun beberapa syarat-syarat dari relay proteksi yang harus dipenuhi:

#### 1) Andal (*Reliable*)

Dalam keadaan normal, tidak ada gangguan, relay tidak bekerja mungkin berbulan-bulan atau bertahun-tahun. Tetapi bila pada suatu saat ada gangguan, maka ia harus bekerja dalam hal ini relay tidak boleh gagal bekerja karena pemadaman akan meluas. Disamping itu relay juga tidak boleh salah bekerja.

#### 2) Cepat (*Speed*)

Waktu kerja relay cepat makin cepat relay bekerja maka tidak hanya dapat memperkecil kerusakan akibat gangguan tetapi juga memperkecil kerusakan gangguan. Adakalanya dari selektivitas dikehendaki adanya penundaan waktu. Tetapi secara keseluruhan tetap dikehendaki waktu kerja relay yang cepat. Jadi harus dapat memberikan selektivitas yang baik dengan waktu yang cepat.

#### 3) Peka (*Sensitive*)

Relay dikatakan peka bila dapat bekerja dengan masukan dari besaran yang dideteksi adalah kecil. Jadi relay dapat bekerja pada awal kejadian.

#### 4) Selektif (*Selective*)

Relay proteksi bertugas mengamankan suatu alat atau bagian dari sistem tenaga listrik dalam jangkauan pengamannya, Letak PMT sedemikian rupa sehingga setiap bagian dari sistem dapat dipisah-pisahkan. Tugas relay adalah mendeteksi adanya gangguan yang terjadi pada daerah

pengamannya dan memberi perintah untuk membuka PMT dan memisahkan bagian sistem lain yang tidak terganggu dapat beroperasi dengan normal. Dikatakan selektif bila relay proteksi bekerja hanya pada daerah yang terganggu saja.

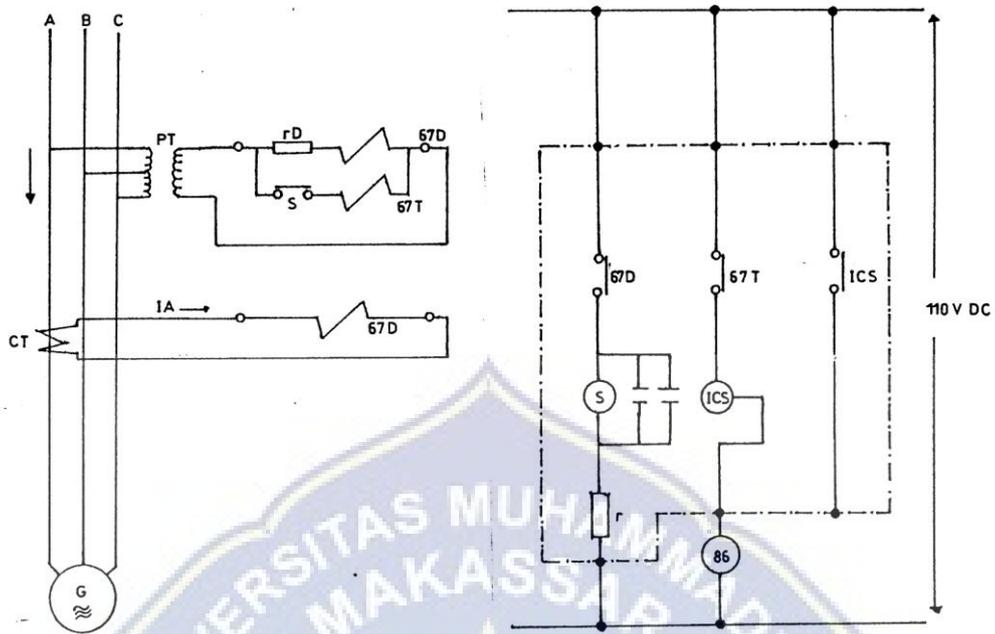
#### d. Jenis-Jenis Relay Proteksi

Jenis proteksi pada generator ada bermacam-macam. Adapun proteksi yang digunakan pada BTG Tonasa adalah :

##### 1) Relay Daya Balik (*Reverse Power Relay*)

Relay daya balik berfungsi untuk mendeteksi aliran daya aktif yang masuk ke arah generator. Berubahnya aliran daya aktif ke arah generator berakibat berubahnya kerja generator sebagai motor. Perubahan ini disebabkan oleh pengaruh rendahnya input dari penggerak mula generator. Bila input ini tidak dapat mengatasi rugi-rugi yang ada, maka kekurangan daya dapat diperoleh dengan cara menyerap daya aktif dari sistem. Selama penguatan masih tetap (sama dengan keadaan saat kerja sebagai generator) maka aliran daya reaktif generator sama halnya sebelum generator bekerja sebagai motor.

Relay daya balik ini harus mempunyai respon yang sangat peka terhadap gejala awal dari daya balik. Relay proteksi daya balik dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 2.9 Skema proteksi daya balik

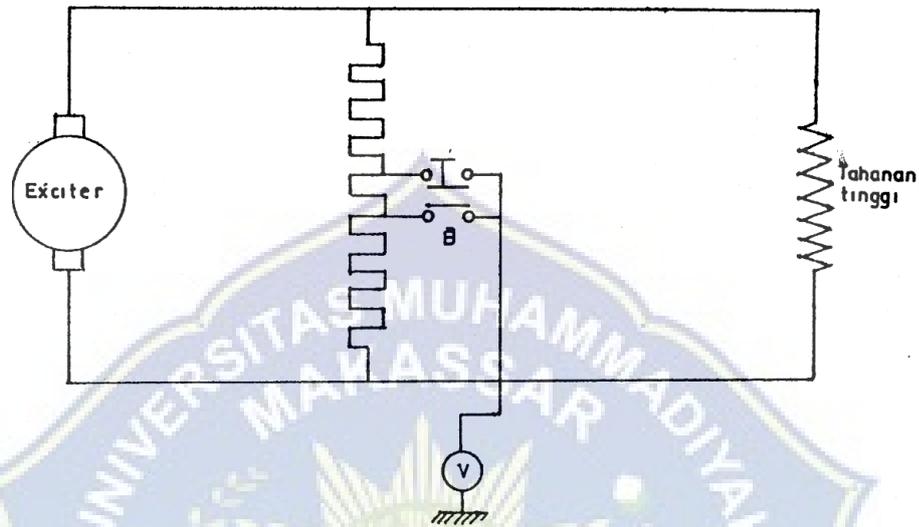
Prinsip kerja relay ini pada dasarnya sama dengan wattmeter. Kontak elemen arah (D) akan menutup apabila aliran daya aktif menuju ke generator. Masuknya kontak D akan mengerjakan relay CT yang kontakannya masuk setelah setting waktu tertentu untuk kemudian mentripping PMT.

## 2) Proteksi Rotor Hubung Tanah (*Rotor Earth Protection*)

Relay ini mendeteksi gangguan rotor ke tanah. Relay ini bekerja bila ada perubahan arus yang sangat besar pada belitan rotor yang disebabkan hubung singkat belitan rotor ke tanah, karena kejadian ini akan menimbulkan getaran mekanis sebagai akibat distorsi medan penguat yang dapat membahayakan generator.

Prinsip kerja relay ini ada dua cara yaitu :

- Dengan memasang tahanan tinggi paralel dengan belitan rotor dan dipasang voltmeter seperti pada gambar di bawah ini:

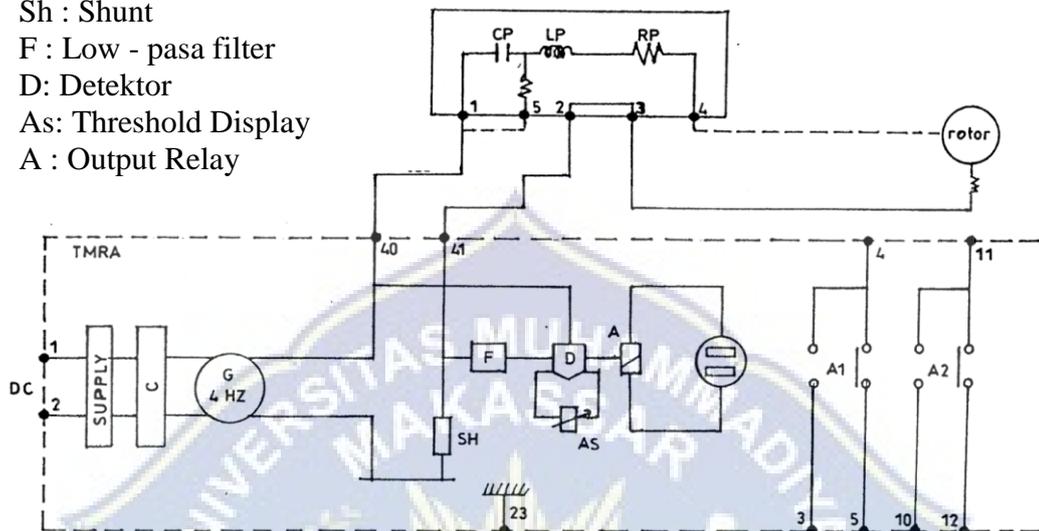


Gambar 2.10 Belitan rotor dengan voltmeter

Bila terjadi gangguan pada rotor, maka voltmeter akan menyimpan. Kelemahan cara ini yaitu bila terjadi gangguan ditengah rotor, voltmeter tidak menyimpan, untuk itu dipasang kontak B yang sewaktu-waktu digunakan untuk mengontrol apakah terjadi gangguan tepat di tengah rotor.

- Menggunakan relay rotor hubung tanah yang menggunakan rangkaian penyearah seperti gambar berikut ini

Ket;  
 C : d - c /dc converter  
 G : Generator 4 Hz  
 Sh : Shunt  
 F : Low - pasa filter  
 D: Detektor  
 As: Threshold Display  
 A : Output Relay



Gambar 2.11 Relay rotor hubung tanah

Adapun cara kerjanya adalah :

- Peralatan diberi suplay sumber DC
- Suplay DC ini kemudian masuk ke converter (C).
- Lalu dihubungkan ke sebuah generator 4 Hz (G) yang membangkitkan sinyal frekuensi rendah yang sinusoidal. Selanjutnya meneruskan ke modul menembus bodi dari modul (TRMA), dimana rangkaian LC terstel pada 4 Hz yang terpasang dekat rotor generator.
- Saat terjadi gangguan, arus akan mengalir ke tahanan pentanahan generator dan selanjutnya mengalir ke shunt. Dari terminal shunt, sinyal akan tersaring oleh (F) dan diteruskan ke detektor (D).



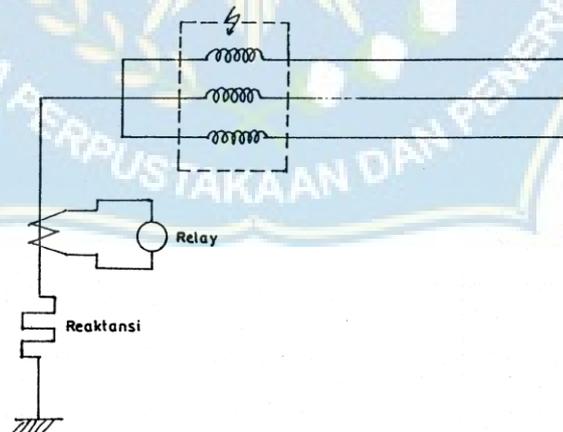


## 5) Relay Stator Hubung Tanah

Prinsip penggunaan relay stator hubung tanah pada generator dipengaruhi oleh sistem pentanahannya. Sistem pentanahan pada generator dapat dilakukan dengan beberapa cara yaitu :

- Pentanahan dengan trafo distribusi.
- Pentanahan dengan tahanan.
- Pentanahan dengan reaktansi.
- Pentanahan langsung.
- Tidak ditanahkan.

Pentanahan dengan tahanan dan reaktansi disebut pentanahan impedansi. Pada sistem pentanahan impedansi, arus urutan nol pada rangkaian digunakan sebagai besaran ukurnya. Relay yang digunakan untuk mendeteksi arus urutan nol adalah relay arus lebih pada pentanahan impedansi yang tampak pada gambar :



Gambar 2.14 Relay arus lebih pada pentanahan impedansi

Prinsip kerja relay berdasarkan adanya arus urutan nol ( $I_0$ ) yang mengalir pada rangkaian relay. Arus urutan nol terjadi apabila pada

generator terhubung ke tanah. Apabila arus yang mengalir melebihi besarnya setting arus pada relay, maka relay bekerja untuk melepas PMT generator. Karena arus hubung singkat ini akan menimbulkan kerusakan yang fatal pada belitan dan inti stator.

6) Relay Penguatan Hilang (*Field Loss Protection*)

Relay ini bertugas mencegah timbulnya pemanasan yang berlebihan pada ujung-ujung lilitan stator generator sebagai akibat hilangnya penguatan generator. Penguatan hilang juga dapat menyebabkan generator lepas sinkron dari sistem.

Relay ini menjatuhkan PMT generator dengan terlebih dahulu memberikan alarm agar operator dapat melakukan langkah-langkah pengamanan. Relay ini baru memadai dipakai jika ada hubungannya dengan penghematan investasi isolasi generator, oleh karenanya baru layak dipakai pada generator-generator dengan tegangan tinggi dan daya terpasang.

e. Simbol dan Kode Relay

No	Nama Relay	Simbol	Kode
1	Relay Jarak (Distance Relay)	$Z <$	21
2	Relay Periksa Sinkron (Sinkron Check Relay)	$U_f = \rightarrow$	25
3	Relay Tegangan Kurang (Under Voltage Relay)	$u <$	27
4	Relay Daya Balik (Reverse Power Relay)	$p \leftarrow$	32
5	Relay Arus Kurang (Under Current Relay)	$I <$	37
6	Kehilangan Medan Penguat (Loss of Excitation Relay)	$B = 0$	40
7	Relay Urutan Fasa Negatif (Negative Phase Sequence Relay)	$I_i >$	46
8	Relay Suhu (Thermis Relay)		49
9	Over Current Relay Instantaneous	$I >$	50
10	Relay Arus Lebih dengan Waktu Tunda (Time Over Current Relay)	$I >$	51
11	Relay Fluksi Lebih (Over Excitatin Relay)	 $V/f$	59/81
12	Relay Tegangan Lebih (Over Voltage Relay)	$U >$	59
13	Relay Tegangan Simbang (Time Balance Relay)	$U_d$	60
14	Relay Waktu Tunda		62
15	Relay Tekan Gas (Gas Pressure Relay)	$P$	63
16	Relay Hubung Tanah (Ground Fault Relay)		64
17	Relay Kehilangan Sinkronisasi (Out of Step Relay)		78
18	Relay Frekuensi (Frequency Relay)	$f$	81
19	Lock Out Relay		86
20	Relay Defferensial (Defferential Relay)	$\text{---}AI\text{---}$	87
21	Relay Bucholz (Bucholz Relay)		95

## **2. Pemutus Tenaga/Pemutus Beban**

Pemutus tenaga dikenakan bagi pemutus rangkaian yang ditujukan untuk pemakaian dalam rangkaian dengan nilai tegangan yang lebih tinggi dari 600 V. Pemutus rangkaian tegangan mempunyai nilai tegangan standar dari 4.160 sampai dengan 765.000 V dan nilai pemutus setinggi 63.000 ampere, Karena perkembangan dari sistem kelistrikan disamping pemutus udara magnetik, udara tekan, hampa dan belerang heksa florida.

Pemutus rangkaian udara magnetik tersedia dalam nilai 750.000 KVA pada 13.800 V. Pada pemutus ini arus diputuskan antara kontak yang dapat dipisahkan dalam udara dengan pertolongan kumparan peniup magnetik. Jika kontak pengalir arus utama berpisah selama pemutusan suatu gangguan, bunga api ditarik keluar dalam arah mendatar dan dipindahkan ke kontak bunga api. Pada saat bersamaan, kumparan tiup dihubungkan ke dalam rangkaian untuk membangkitkan medan magnet untuk menarik bunga api ke atas ke dalam selubung bunga api. Bunga api melakukan percepatan keatas, dibantu oleh medan magnet dan pengaruh panas alami, ke dalam selubung bunga api dimana ia di rentang dan dibagi menjadi segmen-segmen kecil. Tahanan bunga api bertambah sampai ketika arus yang lewat bunga api pecah. Setelah itu bunga api tidak membangun dirinya sendiri lagi.

Pemutusan udara tekan bergantung pada aliran udara tekan yang diarahkan ke kontak pemutus untuk memutuskan bunga api yang terbentuk ketika aliran listrik diputuskan. Pemutus rangkaian minyak direndam dalam minyak sehingga

pemutusan arus terjadi dalam minyak yang dengan pengaruh pendinginannya membantu meredam bunga api.

Pemutus belerang Heksaflorida menggunakan gas belerang heksaflorida (SF<sub>6</sub>) sebagai media isolasi dan pemadam bunga api. Mekanisme kerja pemutus SF<sub>6</sub> dioperasikan secara pneumatik. Pegas akan tertekan dan menyediakan energi untuk pembukaan pemutus.



Gambar 2.15 PMT sedikit menggunakan minyak.

Pemutus hampa memutuskan aliran arus singkat dengan jalan memisahkan kontak-kontaknya di dalam ruang hampa. Karena pemutusan arus terjadi di dalam ruang hampa, disitu tidak terjadi ionisasi produk bunga api yang dapat mempertahankan adanya bunga api seperti halnya jika bunga api terbentuk diudara.

### 3. Transduser

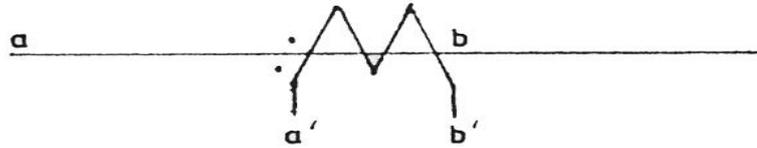
Arus dan tegangan pada peralatan daya hams dilindungi, biasanya diubah oleh transformator arus dan tegangan ke tingkat yang lebih rendah untuk mengoperasikan rela. Tingkat-tingkat yang lebih rendah ini diperlukan karena dua alasan :

- a. Tingkat masukan yang lebih rendah ke rele-rele memastikan bahwa komponen-komponen yang digunakan untuk konstruksi reie-rele tersebut secara fisik akan menjadi cukup kecil dan lebih murah.
- b. Petugas-petugas yang bekerja dengan rele-rele tersebut dapat bekerja dalam lingkungan yang aman.

Beban pada transformator arus dan transformator tegangan umumnya dikenal sebagai muatan dari transformator tersebut. Istilah muatan biasanya melukiskan impedansi yang dihubungkan pada kumparan sekunder transformator itu tetapi dapat juga menetapkan voltmeter yang diberikan kepada beban.

#### a. Transformator Arus

Peralatan-peralatan daya tertentu adalah dari jenis tangki mati (dead tank) yaitu yang mempunyai suatu tangki logam yang ditanahkan. Didalamnya berisi peralatan daya dalam suatu bahan isolasi. Jenis peralatan itu mempunyai suatu sarung (bushing) dimana dikeluarkan suatu terminal dari peralatan daya tersebut. Transformator-transformator arus dibuat didalam sarung ini dan dikenal sebagai CT sarung (bushing CT). Bila sistem tangki mati semacam itu tidak tersedia, dipakai transformator arus yang berdiri bebas.



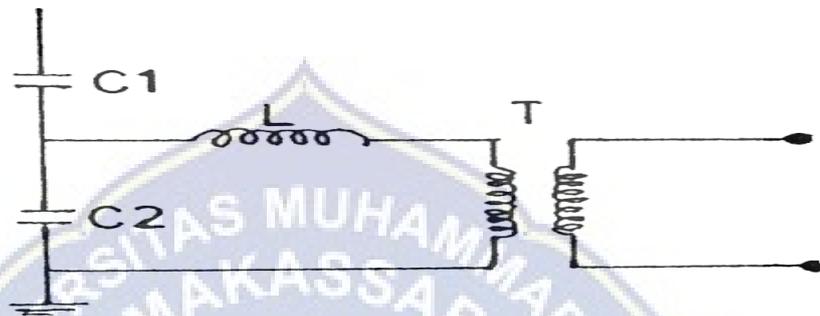
Gambar 2.16 Hubungan transformator arus pada saluran sistem daya

Penyajian dalam bentuk skema untuk transformator arus ditunjukkan pada gambar dibawah. Gulungan primer suatu transformator arus biasanya terdiri dari suatu lilitan tunggal, dilukiskan oleh suatu garis lurus yang ditandai a dan b. Lilitan tunggal ini diperoleh dengan memasukkan penghantar primer itu melalui satu atau beberapa ters baja toroid. Gulungan-gulungan sekunder yang terminalnya ditandai a' dan b' merupakan gulungan-gulungan berlilitan banyak yang digulung pada teras-teras torid tersebut. Titik-titik yang ditempatkan pada terminal-terminal a dan a' dan gulungan-gulungan transformator arus itu mempunyai arti sama seperti transformator biasa. Bila arus primer memasuki terminal a, arus yang meninggalkan terminal bertanda titik a' pada gulungan sekunder adalah sefasa dengan arus primer, jika arus magnetisasi diabaikan.

b. Transformator Tegangan

Dalam penggunaan rele biasanya dijumpai dua jenis transformator tegangan. Untuk penggunaan pada tegangan rendah tertentu (tegangan-tegangan sistem di sekitar 12 kV atau lebih randan), transformator-transformator dengan gulungan primer pada tegangan sistem dan gulungan sekunder pada 67 V (yang mewakili tegangan dari saluran ke

netral sistem) dan  $67 \times \sqrt{3} = 116 \text{ V}$  (yang mewakili tegangan antar saluran sistem) adalah merupakan suatu standar industri. Untuk tegangan-tegangan pada tingkat HV dan EHV, digunakan suatu rangkaian pembagi potensial kapasitansi seperti pada gambar.



Gambar 2.17 Rangkaian transformator tegangan yang digandengkan dengan kapasitor (CVT) dengan induktansi penyetalan L

Kapasitor-kapasitor  $C_1$  dan  $C_2$  diatur sedemikian sehingga diperoleh suatu tegangan sebesar beberapa kilovolt pada  $C_2$  bila terminal A berada pada potensial sistem. Dalam suatu transformator tegangan kapasitor gandeng semacam ini, tegangan yang disadap tersebut masih dikurangi lagi sampai pada tingkat tegangan rele oleh sebuah transformator,

Dengan mengatur L sedemikian sehingga  $\omega L$  sama dengan impedansi Thevenin  $1/\omega (C_1 + C_2)$ , dihasilkan suatu resonansi sen dan keluaran dari CVT menjadi sefasa dengan potensial saluran tanpa menimbulkan kesalahan sudut fasa dalam keluaran CVT tersebut. Transformator tegangan biasanya jauh lebih teliti daripada transformator-ransformator arus dan kesalahan-kesalahan perbandingan dan sudut fasanya biasanya dapat diabaikan.

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **A. Waktu dan Tempat**

##### **a. Waktu**

Pembuatan tugas akhir ini akan dilaksanakan selama 6 bulan, mulai dari bulan April 2023 sampai dengan Desember 2023 sesuai dengan perencanaan waktu yang terdapat pada jadwal penelitian.

##### **b. Tempat**

Penelitian ini dilakukan di Kab. Pangkep

#### **B. Tahapan penelitian**

##### **1. Penelitian Pustaka (*Library Research*)**

Yaitu penulisan atau pengumpulan data-data dengan jalan membaca dan mempelajari berbagai literatur-literatur, tulisan-tulisan dan bahan-bahan kuliah yang telah didapatkan selama mengikuti perkuliahan guna memperoleh landasan teori yang berhubungan dengan materi penulisan tugas akhir.

##### **2. Penelitian Lapangan (*Field Research*)**

Yaitu penelitian yang dilakukan secara langsung terhadap obyek penelitian yaitu sistem proteksi pembangkit listrik pada BTG Tonasa

##### **3. Observasi (Pengamatan Langsung)**

Penulis mengadakan pengamatan langsung terhadap obyek yang diteliti guna mengumpulkan data-data.



penguatan masih tetap (sama dengan keadaan saat kerja sebagai generator) maka aliran daya reaktif generator sama halnya sebelum generator bekerja sebagai motor.

Relay daya balik ini harus mempunyai respon yang sangat peka

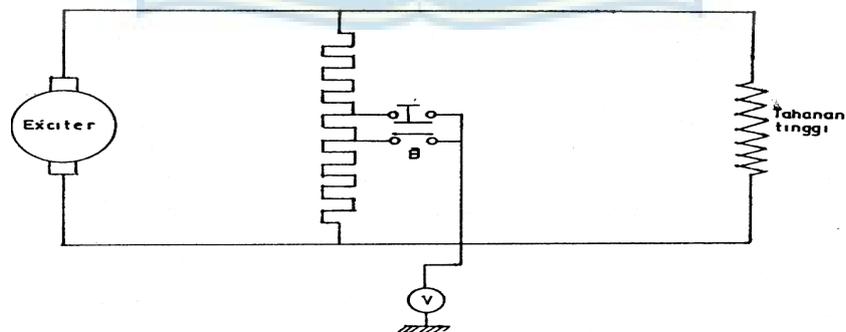
Prinsip kerja relay ini pada dasarnya sama dengan wattmeter. Kontak elemen arah (D) akan menutup apabila aliran daya aktif menuju ke generator. Masuknya kontak D akan mengerjakan relay CT? yang kontaknya masuk setelah setting waktu tertentu untuk kemudian mentripkan PMT.

8) Proteksi Rotor Hubung Tanah (*Rotor Earth Protection*)

Relay ini mendeteksi gangguan rotor ke tanah. Relay ini bekerja bila ada perubahan arus yang sangat besar pada belitan rotor yang disebabkan hubung singkat belitan rotor ke tanah, karena kejadian ini akan menimbulkan getaran mekanis sebagai akibat distorsi medan penguat yang dapat membahayakan generator.

Prinsip kerja relay ini ada dua cara yaitu :

- Dengan memasang tahanan tinggi paralel dengan belitan rotor dan dipasang voltmeter seperti pada gambar di bawah ini:

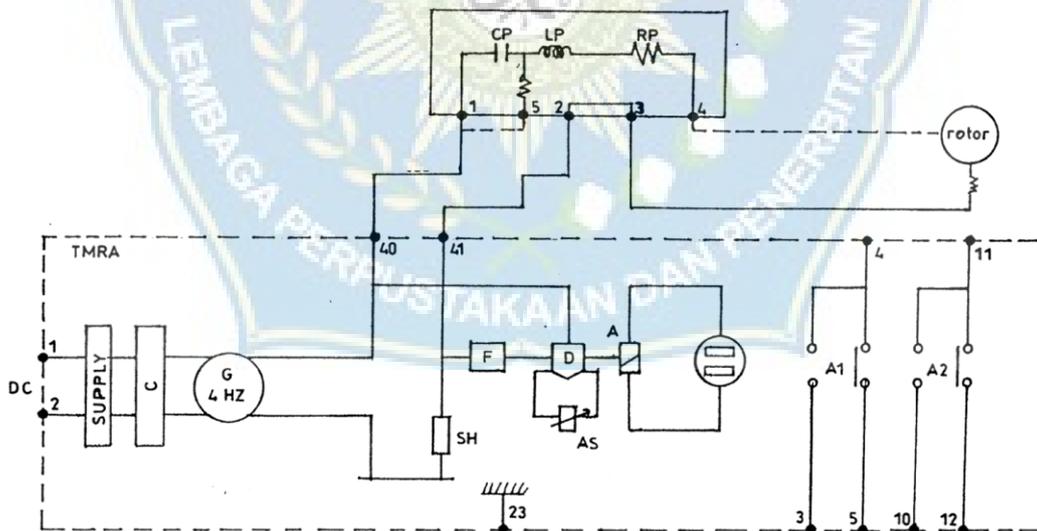


Gambar 3.2 Belitan rotor dengan voltmeter

Bila terjadi gangguan pada rotor, maka voltmeter akan menyimpan. Kelemahan cara ini yaitu bila terjadi gangguan ditengah rotor, voltmeter tidak menyimpan, untuk itu dipasang kontak B yang sewaktu-waktu digunakan untuk mengontrol apakah terjadi gangguan tepat di tengah rotor.

- Menggunakan relay rotor hubung tanah yang menggunakan rangkaian penyearah seperti gambar berikut ini

Ket;  
 C : d - c /dc converter  
 G : Generator 4 Hz  
 Sh : Shunt  
 F : Low - pasa filter  
 D: Detektor  
 As: Threshold Display  
 A : Output Relay



Gambar 3.3 Relay rotor hubung tanah

Adapun cara kerjanya adalah :

- Peralatan diberi suplay sumber DC

- Suplay DC ini kemudian masuk ke converter ()
- Lalu dihubungkan ke sebuah generator 4 Hz (G) yang membangkitkan sinyal frekuensi rendah yang sinusoidal. Selanjutnya meneruskan ke modul menembus bodi dari modul (TRMA), dimana rangkaian LC terstel pada 4 Hz yang terpasang dekat rotor generator.
- Saat terjadi gangguan, arus akan mengalir ke tahanan pentanahan generator dan selanjutnya mengalir ke shunt. Dari terminal shunt, sinyal akan tersaring oleh (F) dan diteruskan ke detektor (D).
- Detektor kemudian membandingkan harga dari pelayanan komponen (modul) dengan bagian tegangan dari generator yang diatur oleh tahanan dari Threshold Display (AS). Saat threshold display ini bekerja melebihi ambang batasnya kemudian mengoperasikan output relay (A). Saat A bekerja lalu memberikan sinyal indikator electromechanical bahwa terjadi gangguan rotor ke tanah.

## BAB IV

### HASIL PENELITIAN PEMBAHASAN

#### A. Data Generator pada BTG Tonasa

Type	: QF 25 2W
Voltage	: 6300V
Power faktor	: 0,8
Excitation voltage	: 180 V
Insulation class	: F
Weight	: 70.000kg
Current	: 2860 A
Connection	: Y
Excitation current	: 372 A
Standard	: G.B 206486
Output	: 25 MW
Frequency	: 50 Hz
Speed	: 3000 rpm
Effisiensi	: 97,4%
Item no	: JO.301
Serial no	: 9401001
Reaktansi	: 15%
Arus nominal 25 MW	: 2978 A
Arus gangguan	: 25,28 KA
Arus nominal 40 MVA	: 3678 A
Rating daya jangka pendek	: 40 MVA

## B. Relay Proteksi Generator pada BTG TONASA

### 1. Relay Daya Balik (*Reverse Power*)

Peristiwa daya balik terjadi apabila daya yang dibangkitkan oleh generator sangat rendah, yang disebabkan rendahnya input dari penggerak mula generator.

Pada BTG Tonasa yang menyebabkan generator berfungsi sebagai motor apabila sistem telah sinkron tetapi beban tidak segera dinaikkan sekitar 3-6 MW (pada Tonasa IV) maka daya aktif yang dihasilkan oleh generator akan berubah arah kembali ke generator dan generator akan menyerap kembali daya aktif tersebut sehingga generator berubah fungsi.

Untuk mengatasi pemanasan pada sudu-sudu turbin akibat rendahnya daya input, maka pada BTG Tonasa dipasang dua buah relay daya balik. . Adapun spesifikasi relay daya balik yang dipakai pada BTG Tonasa adalah :

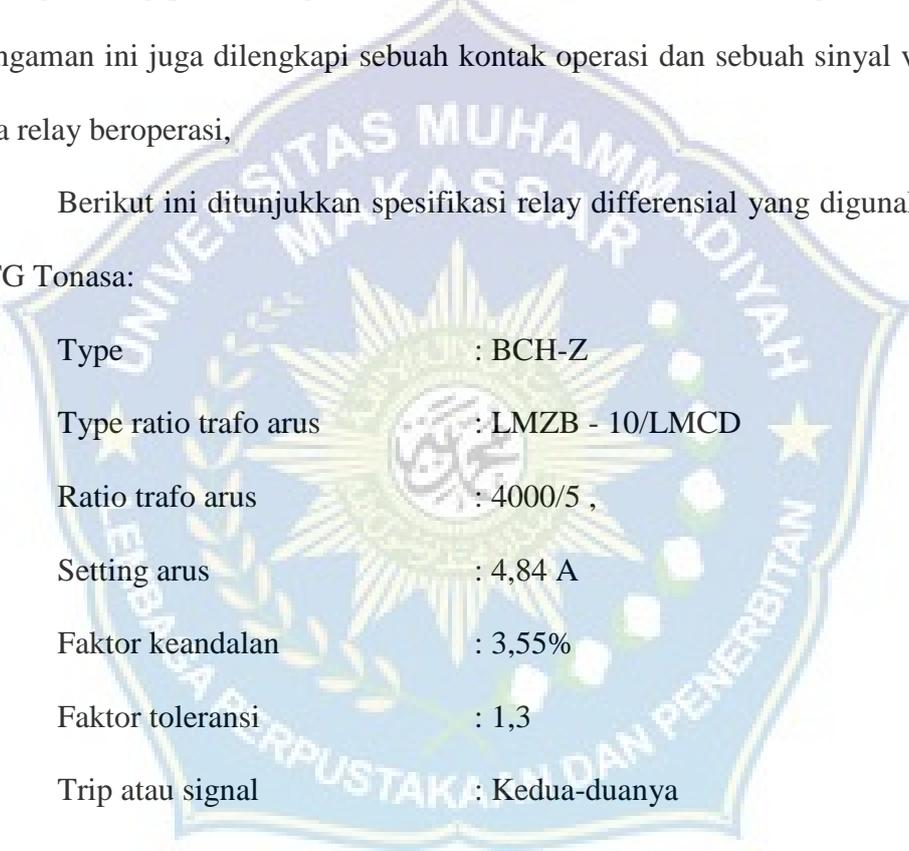
Type	: LNG-3 5 A $100\sqrt{3}$
Ratio trafo arus	: 4000/5
Ratio trafo tegangan	: 63 00/100
Tap daya	: 0,01 - 0,03 Po
Skala setting waktu	: 1,5 s
Setting daya	: 9,92 W
Setting	: 1 x c
Trip atau signal	: Kedua-duanya
Buatan	: Shanghay China

## 2. Relay Differensial

Relay differensial yang digunakan pada BTG Tonasa ada enam buah. Relay ini akan bekerja apabila arus gangguan yang melewati CT1 dan CT2 adalah lebih besar dari arus setting  $\pm 3,55\%$  dari rating 4,84 A dari arus nominalnya.

Setting relay differensial ini disetting secara bervariasi untuk masing-masing phasa dengan toleransi 20-30-40 % untuk masing-masing phasa. Pengaman ini juga dilengkapi sebuah kontak operasi dan sebuah sinyal voltmeter bila relay beroperasi,

Berikut ini ditunjukkan spesifikasi relay differensial yang digunakan pada BTG Tonasa:



Type	: BCH-Z
Type ratio trafo arus	: LMZB - 10/LMCD
Ratio trafo arus	: 4000/5 ,
Setting arus	: 4,84 A
Faktor keandalan	: 3,55%
Faktor toleransi	: 1,3
Trip atau signal	: Kedua-duanya
Buatan	: Shanghai China

## 3. Relay Transverse Differensial

Pada BTG Tonasa, generator yang digunakan adalah generator dengan belitan per-fasa dibagi dua sama besar. Untuk hubung singkat antar lilitan penggunaan relay differensial tidak akan dapat mendeteksi gangguan tersebut.

Untuk itu digunakan sistem proteksi yang disebut transverse differensial protection.

Adapun spesifikasi relay transverse differensial yang dipakai pada BTG Tonasa adalah:

Type	: LCD-6
ratio trafo arus	: 75/5
Setting arus	: 3,58 A
Faktor keandalan	: 5,6 %
Jumlah	: 2 buah
Trip atau signal	: Kedua-duanya
Buatan	: Shanghai China

#### **4. Relay Rotor Hubung Tanah**

Untuk mencegah timbulnya getaran mekanis sebagai akibat distorsi medan penguat yang dapat membahayakan generator perlu dipasang sebuah relay yang mampu mendeteksi adanya hubung tanah pada rotor.

Penggunaan relay rotor hubung tanah ini untuk mendeteksi adanya perubahan arus yang sangat besar pada belitan rotor. Pada BTG Tonasa digunakan dua buah relay rotor hubung tanah. Spesifikasi relay ini adalah sebagai berikut:

a. One point rotor earth protection.

Type	: ZBZ-2A 220V
Ratio trafo arus	: 4000/5
Ratio trafo tegangan	: 6300/100
Skala setting	: 1,5 s

Trip atau signal : signal  
Buatan : Shanghai China

b. Two point rotor earth protection.

Type : ZBZ - 2 A 220 v  
Ratio trafo arus : 4000/5  
Ratio trafo tegangan : 6300/100  
Skala setting : 1 s  
Trip atau signal : kedua-duanya  
Buatan : shanghai China

### 5. Relay Stator Hubung Tanah

Untuk dapat mendeteksi arus urutan nol yang terjadi apabila belitan pada generator terhubung tanah, maka pada BTG Tonasa dipasang dua buah relay stator hubung tanah untuk bisa mencegah kerusakan yang sangat besar pada belitan dan inti stator.

Adapun spesifikasi relay stator hubung tanah yang digunakan pada BTG Tonasa adalah:

Type : ZD-4  
Skala setting : 1 s  
Arus nominal : 0,5 A  
Arus setting : 2 x In A  
Tegangan : 220 V  
Trip atau signal : signal  
Buatan : Sanghay China

## 6. Relay Penguatan Hilang (*Field Loss Relay*)

Untuk mencegah timbulnya pemanasan yang berlebihan pada ujung-ujung lilitan stator generator sebagai akibat hilangnya penguatan generator. Penguatan hilang ini dapat menyebabkan generator lepas sinkron dan sistem.

Pada BTG Tonasa menggunakan dua buah relay penguatan hilang.

Adapun spesifikasinya adalah sebagai berikut:

Type : LA-12 5 A 100 V

Skala setting waktu : 1 s

Trip atau signal : kedua-duanya

Tap arus : 4,5 A

Buatan : Shanghai China

### C. Gangguan-Gangguan yang Pernah Terjadi

Selama beroperasinya BTG Tonasa (Boiler Turbine Generator), jenis gangguan yang pernah terjadi (yang menyebabkan relay proteksi bekerja) adalah :

#### 1. Gangguan daya balik

Gangguan ini terjadi jika menurunnya putaran dari penggerak mula. Hal ini menyebabkan daya out put yang dihasilkan oleh generator juga menurun. Rendahnya input dari penggerak mula generator menyebabkan berubahnya aliran daya aktif ke arah generator yang mengakibatkan berubahnya kerja generator sebagai motor. Untuk pengamannya maka digunakan relay daya balik yang bekerja pada saat gangguan.

#### 2. Kehilangan medan penguat generator .

Gangguan kehilangan medan penguat generator ini disebabkan karena:

- Jatuhnya saklar penguat
- Hubung singkat pada belitan penguat
- Kerusakan kontak-kontak sikat arang pada sistem penguat
- Kerusakan pada sistem AYR

Gangguan ini dapat menyebabkan generator lepas sinkron dari sistem, juga dapat menimbulkan pemanasan yang berlebihan pada ujung-ujung iilitan stator generator.

## **D. Analisa Kegagalan Sistem Proteksi dan Cara Menanggulangi Kegagalan Sistem Proteksi**

Analisa yang akan dibahas berikut ini terbatas pada kegagalan dari sistem relay proteksi dan cara menanggulangnya. Kegagalan suatu sistem relay proteksi dapat dimungkinkan kegagalan dari salah satu perangkat proteksi di bawah ini:

1. Relay proteksi
2. Trafo tegangan (PT)
3. Trafo arus (CT)
4. Pengawatan
5. Sumber daya arus searah (battery station)
6. Pemutus tenaga

### **1. Relay Proteksi**

Relay proteksi bertugas menerima besaran-besaran arus dan tegangan, frekuensi dan lain sebagainya. Adapun ketidaknormalan masukan besaran-besaran listrik yang melampaui batas settingnya, relay akan membunyikan alarm dan atau melepaskan PMT untuk mengisolir gangguan atau peralatan yang mengalami gangguan.

Pada dasarnya kegagalan yang umum terjadi pada relay proteksi itu sendiri adalah:

- a. Bekerja tetapi salah

Kesalahan operasi dapat dipisahkan menjadi dua bagian yaitu :

- Dalam kondisi gangguan, relay proteksi yang seharusnya tidak bekerja, tetapi bekerja (tidak selektive).

- Dalam kondisi tidak terjadi gangguan relay proteksi bekerja (tidak andal).

b. Gagal bekerja

- Dalam kondisi gangguan relay proteksi tidak bekerja dan tidak memutuskan PMTnya (tidak sensitive).
- Dalam kondisi gangguan sistem relay proteksi bekerja, tetapi tidak memutus PMT (tidak andal), namun kondisi ini kemungkinan gangguan kepada kegagalan perangkat lainnya.

Kemungkinan-kemungkinan gangguan yang terjadi pada relay proteksi itu sendiri dan menyebabkan relay proteksi tidak berfungsi sebagaimana mestinya antara lain disebabkan oleh:

- Karakteristik relay proteksi berubah
- Kerusakan/gangguan pada komponen-komponen relay
- Kesalahan posisi setting
- Hilangnya catu daya

Adapun cara menanggulangi kegagalan relay proteksi adalah sebagai berikut:

- Memperbaikinya dan bila perlu menggantinya dengan yang baru.
- Mensetting kembali.
- Memperbaiki atau menyambung kembali.

## **2. Trafo Tegangan (PT) dan Trafo Arus (CT)**

Trafo tegangan dan trafo arus dalam suatu rangkaian proteksi berfungsi memonitor besaran-besaran arus, tegangan, daya, frekuensi, untuk dikirim sebagai masukan ke relay proteksi.

Adanya ketidaknormalan nilai masukan akibat adanya kerusakan/kelainan pada CT dan PT disertai dengan adanya gangguan dapat menyebabkan kegagalan kerja relay proteksi.

a. Trafo Tegangan:

- Ratio antara tegangan primer atau sekunder telah berubah.
- Pengaman lebur sisi sekunder terputus.
- Hubung singkat gulungan primer atau sekunder.

b. Trafo Arus :

- Ratio antara arus primer dan sekunder telah berubah.
- Putus atau hubung singkat pada belitan sekunder.
- Kesalahan penggunaan tap ratio.

Cara menanggulangi kegagalan trafo tegangan dan trafo arus adalah :

- Mengganti yang baru
- Mengganti pengaman lebur (fuse)
- Memperbaiki posisi rasio (retaping)

### 3. Pengawatan

Pengawatan berfungsi menyalurkan atau meneruskan besaran-besaran/signal listrik dari dan ke perangkat proteksi yang satu ke perangkat proteksi yang lainnya. Kerusakan atau kelainan pada sistem pengawatan dapat berakibat gagalnya fungsi proteksi. Kerusakan atau kelainan pada sistem pengawatan antara lain :

- Putus
- Lepas pada sambungan atau terminal

- Hubung singkat atau hubung tanah
- Kontak kendur

Cara menanggulangi kegagalan dari pengawatan adalah sebagai berikut:

- Mengganti kabel
- Reconnection
- Mengencangkan terminal

#### **4. Sumber Daya Arus Searah (*Battery Station*)**

Sumber daya arus searah salah satu fungsinya menyediakan tenaga untuk kerja pemutus tenaga. Ralay proteksi tidaklah akan ada artinya apabila disisi lain terjadi kegagalan kerja pemutus tenaga untuk mengisolir gangguan karena adanya kelainan atau kerusakan pada sumber arus searah.

Pada BTG Tonasa jenis battery station yang digunakan adalah jenis asam cairan memakai asam sulfat ( $H_2SO_4$ ) dimana satu sel battery unit I sebesar 52 buah dan setiap unit mempunyai tegangan 110 volt DC. Demikian pula unit II,

Kerusakan atau ketidaknormalan pada sumber daya arus searah pada umumnya adalah tidak tersedianya atau sudah tidak tersimpan lagi daya (AH) yang dapat disebabkan oleh:

- Trip atau rusaknya alat pengisi batere (battery charger) dalam waktu lama.
- Berat jenis larutan sudah tidak mempunyai syarat.
- Lepas/tripnya saklar utama atau saklar pembagi didistribusi panel.

Cara menanggulangi kegagalan sumber daya arus searah adalah sebagai berikut:

- Mengganti battery yang selnya sudah rusak

- Mengganti/mengisi larutan yang sesuai
- Mengoperasikan battery charger
- Mencari penyebab tripnya dan memasukkan kembali.

## 5. Pemutus Tenaga

PMT adalah perangkat atau bagian dari sistem proteksi yang berfungsi mengisolasi/memutus gangguan atau peralatan yang terganggu. Pada BTG Tonasa jenis pemutus yang digunakan yaitu Vacuum Breaker (hampa udara). Kelainan atau kerusakan yang mungkin terjadi pada PMT adalah :

- Tidak bekerjanya kumparan pelepas.
- Kerusakan pada kontak tetap dan kontak bergerak.

Cara menanggulangi kegagalan pemutus tenaga adalah sebagai berikut:

- Memperbaiki bagian-bagian yang rusak bila perlu menggantinya dengan yang baru.

## E. Analisa Setting Relay

Untuk melakukan setting relay, terlebih dahulu diketahui batasan-batasan yang diberikan pada peralatan yang diamankan (generator) dan besaran yang terjadi pada rangkaian pengamannya.

Generator BTG Tonasa Unit I dan Unit II

Daya generator = 31,25 MVA

Tegangan generator = 6,3 kV

Faktor daya = 0,8

Maka arus rated generator  $I_n = \frac{\text{Daya (kVA)}}{\sqrt{3} \cdot \text{tegangan (KV)}}$

$$I_n = \frac{3125 \text{ KVA}}{\sqrt{3} \cdot 6,3 \text{ KV}}$$

$$I_n = 2863,84 \text{ A}$$

Data yang ada di BTG Tonasa = 2978 A

Generator pada BTG Tonasa mempunyai rating daya jangka pendek sebesar 40 MVA.

$$I_n = \frac{40.000 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \cdot 6,3 \text{ KV}}$$

$$I_n = 3665,7 \text{ A}$$

Data yang ada pada BTG Tonasa = 3678 A

Karena  $I_n = 3665,7 \text{ A}$  maka digunakan stelan CT 4000/5.

Arus rated generator dapat disebut arus sisi primer dari trafo arus CT. Pada keadaan ini arus yang mengalir pada sisi sekunder adalah :

$$I_r = I_n \times \text{CT}$$

$$I_r = 2863,84 \times \frac{5}{4000}$$

$$I_r = 3,57 \text{ A}$$

Arus ini dapat disebut arus yang mengalir ke dalam relay.

Untuk menghitung besarnya proteksi pada belitan yaitu :

- Arus rated generator ( $I_n$ ) = 2863,84 A
- Sensitivitas arus (i) = Ratio CT primer x 0,5  
= 4000x0,5 = 2000 A

$$\text{Sehingga setting relay (a)} = \frac{i}{I} \times 100\%$$

$$= \frac{2000}{2863,84} \times 100\%$$

$$= 69,8 \%$$

$$- \text{ Arus gangguan } (I_{sc}) = \frac{\text{Daya (kVA)}}{\% Z \cdot \sqrt{3} \text{ Tegangan (kV)}}$$

$$I_{sc} = \frac{31250 \times 100}{15 \times \sqrt{3} \times 6,3}$$

$$I_{sc} = 19090 \text{ A}$$

Daya arus gangguan pada BTG Tonasa = 25,28 kA.

- Persentasi belitan yang tidak dilindungi (percentage of winding unprotected)

$$= \frac{a \cdot I_n}{I_{sc}} \times 100\%$$

$$= \frac{0,698 \times 2863,84}{19090} \times 100\%$$

$$= 10,4\%$$

Jadi besarnya persentasi proteksi untuk belitan (percentage of winding protected)

$$= 100 - 10,4$$

$$= 89,6\%$$

Analisa setting dari relay proteksi yang digunakan pada BTG Tonasa, tidak dibahas secara keseluruhan akan tetapi dengan mengambil beberapa relay proteksi sebagai contoh untuk mengevaluasinya. Adapun relay proteksi tersebut antara lain ;

#### 1. Relay Daya Balik (Reverse Power Relay)

Relay daya balik pada BTG Tonasa mempunyai tap daya 0,01 - 0,02 - 0,03, dengan kapasitas daya relay = 9.92 W.

Tap daya yang dipilih :

$$9,92 \times \frac{4000}{5} \times \frac{6300}{100} = 500.000 \text{ W}$$

$$\text{Atau} = 625.000 \text{ VA}$$

$$\frac{625.000}{31.250.000} \times 100\% = 2\%$$

Karena itu dipilih tap daya = 0,02.

Jadi dengan di setting 9,92 watt pada relay, maka generator ini diproteksi pada 2 % dari daya yang terpasang pada generator.

## 2. Relay Differensial

Arus yang mengalir ke dalam relay :

$$I_r = 2863,84 \times \frac{5}{4000}$$

$$I_r = 3,57 \text{ A}$$

Jadi suatu setting relay sebesar 4 A adalah nilai yang cocok.

- tap arus 4 A

Dalam keadaan ini, relay akan bekerja bila :

$$\frac{4}{3,57} = 1,12 \text{ atau } 112\% \text{ dari arus rated relay generator.}$$

Sedangkan setting yang dipakai pada BTG Tonasa sebesar 4,84 A dengan faktor penambahan 1,3.

- tap arus 5 A

$$\frac{5}{4,84} = 1,03 \text{ atau } 103\% \text{ dari arus rated relay generator. } 4,84$$

Pada BTG Tonasa memiliki 3 buah relay differensial diset dengan toleransi masing-masing 20 %, 30 % dan 40 %. Jadi tap arus yang harus digunakan:

- Untuk relay differensial I

$$3,57 \times 20\% = 0,714$$

$$\text{Jadi tap arus} = 3,57 + 0,714 = 4,284 \text{ A}$$

Dalam keadaan ini relay akan bekerja bila :

$$\frac{4,284}{3,57} = 1,2 \text{ atau } 120 \% \text{ dari arus rated relay.}$$

- Untuk relay differensial II

$$3,57 \times 30\% = 1,071$$

Jadi tap arus =  $3,57 + 1,071 = 4,64$  A Dalam keadaan ini relay akan bekerja bila:

$$\frac{4,64}{3,57} = 1,29 \text{ atau } 129 \% \text{ dari arus rated relay.}$$

- Untuk relay differensial III

$$3,57 \times 40\% = 1,42$$

Jadi tap arus =  $3,57 + 1,42 = 4,99$  A Dalam keadaan ini relay akan bekerja bila :

$$\frac{4,99}{3,57} = 1,39 \text{ atau } 139 \% \text{ dari arus rated relay.}$$

3. Relay Penguatan Hilang (field loss relay) Arus yang mengalir pada relay sebesar :

$$I_f = 2863,84 \times \frac{5}{4000}$$

$$I_f = 3,57 \text{ A}$$

Sedangkan pada relay penguatan hilang yang ada pada BTG Tonasa adalah 4,5 A.

Dalam kondisi ini relay akan bekerja apabila :

$$\frac{4,5}{3,57} = 1,26 \text{ atau } 126 \% \text{ dari arus rated relay.}$$

Skala setting waktu yang dipakai pada relay ini adalah Is, 1,5s, 2s, .... 10s. Untuk mendapatkan setting waktu diperlukan waktu yang secepat mungkin agar relay

dapat segera bekerja jika terjadi gangguan. Olehnya itu digunakan setting terendah yaitu 1 s.



## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### A. Kesimpulan

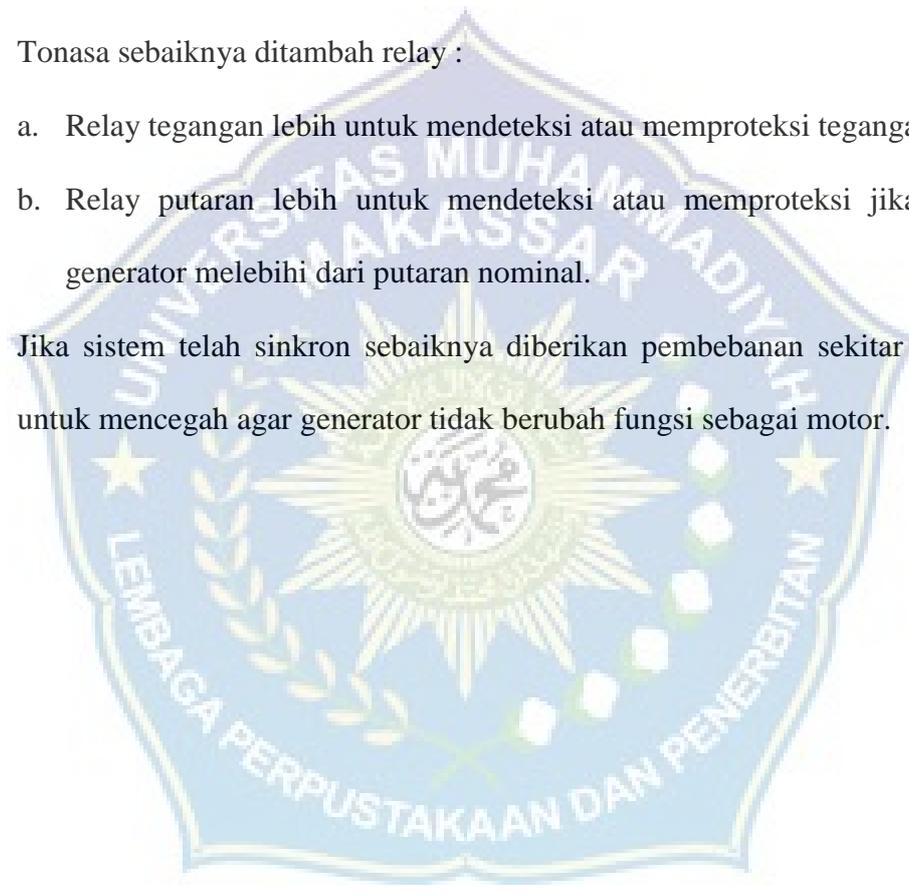
Setelah melakukan Analisis Persentase Dari Daya Yang Terpasang Pada Generator Terhadap Setting Daya Pada Relay pada Boiler Torbin Generator PT Semen tonasa, maka kami menyimpulkan beberapa hal yaitu :

- Relay proteksi yang digunakan pada BTG Tonasa sangat banyak, antara lain : relay daya balik, relay differensial, relay transverse diflferensial, relay stator hubung tanah, relay rotor hubung tanah dan relay penguatan hilang.
- Untuk melakukan setting relay, terlebih dahulu diketahui batasan-batasan yang diberikan pada peralatan yang diamankan (generator) dan besaran yang terjadi pada rangkaian pengamannya.
  - Generator BTG Tonasa Unit I dan Unit II
  - Daya generator = 31,25 MVA
  - Tegangan generator = 6,3 kV
  - Faktor daya = 0,8
  - Maka arus rated generator  $I_n$  = 2978 A
- Berdasarkan arus relay 3,57 A maka relay-relay harus disett dengan tap-tap arus yang mendekati nilai arus nominal relay
- Pada BTG Tonasa memiliki 3 buah relay differensial diset dengan toleransi masing-masing 20 %, 30 % dan 40 %.

- Kegagalan sistem proteksi yang diakibatkan setting-setting relay belum pernah terjadi karena setting-setting relay pada BTG Tonasa masih memenuhi syarat (andal).

## **B. Saran**

- Agar sistem proteksi dapat lebih terpenuhi maka sistem proteksi pada BTG Tonasa sebaiknya ditambah relay :
  - a. Relay tegangan lebih untuk mendeteksi atau memproteksi tegangan lebih.
  - b. Relay putaran lebih untuk mendeteksi atau memproteksi jika putaran generator melebihi dari putaran nominal.
- Jika sistem telah sinkron sebaiknya diberikan pembebanan sekitar 3-6 MW untuk mencegah agar generator tidak berubah fungsi sebagai motor.



## DAFTAR PUSTAKA

- Asi, Sunggono. 2021. Buku Pegangan Kerja Menangani Teknik Tenaga Listrik. Jakarta: CV. Aneka.
- Fitzgerald, A.E dkk. 2020. Dasar-Dasar Elektro Teknik. Jakarta : Erlangga.
- Internasional Civil Aviation Organization, Annex 14 (Visual Aid And Power Supply).*
- Kadir Abdul, Pembangkit Tenaga Listrik, 2020, Universitas Indonesia, Jakarta.
- Kadir, Abdulah. 2020. Pembangkit Tenaga Listrik. Jakarta : Universitas Indonesia, *Lister, Eugene.* 2021. Mesin dan Rangkaian Listrik. Jakarta : Erlangga.
- Pearce, Sir Leonard. *Electric Power Station. Volume Two.*
- Pusat Pendidikan dan Latihan Perusahaan Umum Listrik Negara. Relay Proteksi Peralatan Pembangkit. Jawa Barat.
- Stevenson.Jr, William D. 2020. Analisis Sistem Tenaga Listrik. Jakarta : Erlangga.
- Sumantri Oman, Sistem Pengontrolan Motor di Industri, 1993, Departemen Pendidikan dan Kebudayaan, Jakarta.
- Unit 7 VS 8501 Automatic, \979, Siemens West Germany*
- Zuhal, Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya, 1993, Gramedia, Jakarta.



**MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PIMPINAN PUSAT MUHAMMADIYAH  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR  
UPT PERPUSTAKAAN DAN PENERBITAN**

Alamat kantor: Jl. Sultan Alauddin NO.259 Makassar 90221 Tlp.(0411) 866972,881593, Fax.(0411) 865588

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

**SURAT KETERANGAN BEBAS PLAGIAT**

**UPT Perpustakaan dan Penerbitan Universitas Muhammadiyah Makassar,  
Menerangkan bahwa mahasiswa yang tersebut namanya di bawah ini:**

Nama : Taufik Hidayat / Aswin Dwi Saputra

Nim : 105821104117 / 105821100817

Program Studi : Teknik Elektro

Dengan nilai:

No	Bab	Nilai	Ambang Batas
1	Bab 1	9 %	10 %
2	Bab 2	13 %	25 %
3	Bab 3	4 %	10 %
4	Bab 4	5 %	10 %
5	Bab 5	0 %	5 %

Dinyatakan telah lulus cek plagiat yang diadakan oleh UPT- Perpustakaan dan Penerbitan Universitas Muhammadiyah Makassar Menggunakan Aplikasi Turnitin.

Demikian surat keterangan ini diberikan kepada yang bersangkutan untuk dipergunakan seperlunya.

Makassar, 28 Agustus 2023  
Mengetahui

Kepala UPT Perpustakaan dan Penerbitan,

Nurshah, S.Hum., M.I.P.  
NBM. 964 591

Jl. Sultan Alauddin no 259 makassar 90222  
Telepon (0411)866972,881 593,fax (0411)865 588  
Website: [www.library.unismuh.ac.id](http://www.library.unismuh.ac.id)  
E-mail : [perpustakaan@unismuh.ac.id](mailto:perpustakaan@unismuh.ac.id)

TAUFIK HIDAYAT/ASWIN DWI  
PUTRA  
105821104117/105821100817

## BAB I

by Tahap Tutup

Submission date: 28-Aug-2023 08:33AM (UTC+0700)

Submission ID: 2152365881

File name: BAB\_I\_-\_2023-08-28T093227.407.docx (17.84K)

Word count: 399

Character count: 2571

TAUFIK HIDAYAT/ASWIN DWI PUTRA  
105821104117/105821100817 BAB I

ORIGINALITY REPORT

9%

SIMILARITY INDEX

9%

INTERNET SOURCES

0%

PUBLICATIONS

0%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	<a href="http://ejournal.unisbablitar.ac.id">ejournal.unisbablitar.ac.id</a> Internet Source	4%
2	<a href="http://library.polmed.ac.id">library.polmed.ac.id</a> Internet Source	4%
3	<a href="http://es.scribd.com">es.scribd.com</a> Internet Source	2%

Exclude quotes  On  
Exclude bibliography  On

Exclude matches  < 2%



TAUFIK HIDAYAT/ASWIN DWI  
PUTRA  
105821104117/105821100817

## BAB II

*by Tahap Tutup*

**Submission date:** 28-Aug-2023 08:35AM (UTC+0700)  
**Submission ID:** 2152366993  
**File name:** BAB\_II\_-\_2023-08-28T093236.768.docx (479.55K)  
**Word count:** 1769  
**Character count:** 11254

TAUFIK HIDAYAT/ASWIN DWI PUTRA  
105821104117/105821100817 BAB II

ORIGINALITY REPORT

<b>13%</b>	<b>12%</b>	<b>1%</b>	<b>5%</b>
SIMILARITY INDEX	INTERNET SOURCES	PUBLICATIONS	STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

<b>1</b>	<a href="http://jendeladenngabei.blogspot.com">jendeladenngabei.blogspot.com</a> Internet Source	<b>3%</b>
<b>2</b>	<a href="http://text-id.123dok.com">text-id.123dok.com</a> Internet Source	<b>3%</b>
<b>3</b>	Submitted to Universitas Muhammadiyah Makassar Student Paper	<b>1%</b>
<b>4</b>	<a href="http://repository.usd.ac.id">repository.usd.ac.id</a> Internet Source	<b>1%</b>
<b>5</b>	Submitted to Clarkston Community Schools Student Paper	<b>1%</b>
<b>6</b>	<a href="http://www.slideshare.net">www.slideshare.net</a> Internet Source	<b>1%</b>
<b>7</b>	Submitted to Universitas Islam Indonesia Student Paper	<b>1%</b>
<b>8</b>	<a href="http://fdocuments.net">fdocuments.net</a> Internet Source	<b>1%</b>
	<a href="http://affrins.blogspot.com">affrins.blogspot.com</a>	



9	Internet Source	1%
10	civitas.uns.ac.id Internet Source	<1%
11	eprints.polsri.ac.id Internet Source	<1%

Exclude quotes     Exclude bibliography     Exclude matches



TAUFIK HIDAYAT/ASWIN DWI  
PUTRA  
105821104117/105821100817

### BAB III

*by Tahap Tutup*

**Submission date:** 28-Aug-2023 08:38AM (UTC+0700)  
**Submission ID:** 2152369543  
**File name:** BAB\_III\_2023-08-28T093406.278.docx (292.49K)  
**Word count:** 764  
**Character count:** 4771

TAUFIK HIDAYAT/ASWIN DWI PUTRA  
105821104117/105821100817 BAB III

ORIGINALITY REPORT

4%

SIMILARITY INDEX

4%

INTERNET SOURCES

0%

PUBLICATIONS

0%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	<a href="http://digilibadmin.unismuh.ac.id">digilibadmin.unismuh.ac.id</a> Internet Source	3%
2	<a href="http://repository.its.ac.id">repository.its.ac.id</a> Internet Source	2%



turnitin

Exclude quotes  On

Exclude matches  Off

Exclude bibliography  On



TAUFIK HIDAYAT/ASWIN DWI PUTRA  
105821104117/105821100817 BAB IV

ORIGINALITY REPORT

5%

SIMILARITY INDEX

5%

INTERNET SOURCES

0%

PUBLICATIONS

0%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1

qdoc.tips

Internet Source

3%

2

digilibadmin.unismuh.ac.id

Internet Source

2%

Exclude quotes  On

Exclude bibliography  On

Exclude matches  < 2%



TAUFIK HIDAYAT/ASWIN DWI  
PUTRA  
105821104117/105821100817

## BAB IV

by Tahap Tutup

**Submission date:** 28-Aug-2023 08:43AM (UTC+0700)

**Submission ID:** 2152373009

**File name:** BAB\_IV\_-\_2023-08-28T093607.338.docx (270K)

**Word count:** 1263

**Character count:** 7328

TAUFIK HIDAYAT/ASWIN DWI PUTRA  
105821104117/105821100817 BAB V

ORIGINALITY REPORT

0%

SIMILARITY INDEX

0%

INTERNET SOURCES

0%

PUBLICATIONS

0%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

Exclude quotes  On

Exclude bibliography  On



TAUFIK HIDAYAT/ASWIN DWI  
PUTRA  
105821104117/105821100817

## BAB V

by Tahap Tutup

Submission date: 28-Aug-2023 08:43AM (UTC+0700)

Submission ID: 2152373448

File name: BAB\_V\_-\_2023-08-28T094226.831.docx (24.58K)

Word count: 331

Character count: 2021