

SKRIPSI

**STUDI PERBEDAAN ARUS GENERATOR DAN
TRANSFORMATOR PEMBANGKIT LISTRIK 1 PLTU TELLO
DI MAKASSAR**



OLEH :

**J U S M A N
10582121913**

**H A S R U L
10582117313**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
2019**

**STUDI PERBEDAAN ARUS GENERATOR DAN
TRANSFORMATOR PEMBANGKIT LISTRIK 1 PLTU TELLO
DI MAKASSAR**

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat
Untuk memperoleh gelar sarjana
Program Studi Teknik Elektro
Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik**

Disusun dan diajukan oleh

**J U S M A N
10582121913**

**H A S R U L
10582117313**

PADA

**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
MAKASSAR
2019**



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

GEDUNG MENARA IQRA LT. 3

Jl. Sultan Alauddin No. 259 Telp. (0411) 866 972 Fax (0411) 865 588 Makassar 90221

Website: www.unismuh.ac.id, e_mail: unismuh@gmail.com

Website: <http://teknik.unismuh.makassar.ac.id>

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

HALAMAN PENGESAHAN

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

Judul Skripsi : **STUDI PERBEDAN ARUS GENERATOR DAN TRANSFORMATOR
PEMBANGKIT 1 PLTU SEKTOR TELLO DI MAKASSAR**

Nama : 1. Jusman
2. Hasrul

Stambuk : 1. 10582 1219 13
2. 10582 1173 13

Makassar, 12 Februari 2019

Telah Diperiksa dan Disetujui
Oleh Dosen Pembimbing;

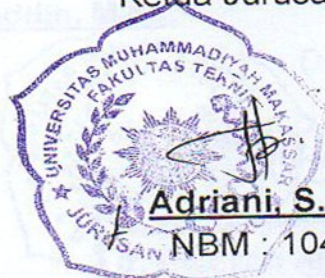
Pembimbing I

Pembimbing II


Dr. Ir. Zahir Zainuddin, M.Sc.


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

Mengetahui,
Ketua Jurusan Elektro



Adriani, S.T., M.T.

NBM : 1044 202



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

FAKULTAS TEKNIK

GEDUNG MENARA IQRA LT. 3

Jl. Sultan Alauddin No. 259 Telp. (0411) 866 972 Fax (0411) 865 588 Makassar 90221

Website: www.unismuh.ac.id, e_mail: unismuh@gmail.com

Website: <http://teknik.unismuh.makassar.ac.id>

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ
PENGESAHAN

Skripsi atas nama **Jusman** dengan nomor induk Mahasiswa 10582 1219 13 dan **Hasrui** dengan nomor induk Mahasiswa 10582 1173 13, dinyatakan diterima dan disahkan oleh Panitia Ujian Tugas Akhir/Skripsi sesuai dengan Surat Keputusan Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar Nomor : 0001/SK-Y/20201/091004/2019, sebagai salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar pada hari Sabtu tanggal 09 Februari 2019.

Panitia Ujian :

1. Pengawas Umum

a. Rektor Universitas Muhammadiyah Makassar
Prof. Dr. H. Abdul Rahman Rahim, SE., MM.

b. Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Dr. Ir. H. Muh. Arsyad Thaha, M.T

2. Penguji

a. Ketua : Rizal Ahdiyati Duyo, S.T., M.T

b. Sekretaris : Adriani, S.T., M.T

3. Anggota : 1. Dr. Umar Katu, S.T., M.T

2. Dr. Eng. Ir. H. Zulfajri Basri Hasanuddin, M.Eng

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

Mengetahui :

Pembimbing I

Pembimbing II

Dr. Ir. Zahir Zainuddin, M.Sc.

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

Dekan



Dr. Hamzah Al Imran, S.T., M.T.

NBM : 855 500

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 :
“STUDI PERBEDAAN ARUS GENERATOR DAN TRANSFORMATOR PEMBANGKIT LISTRIK 1 PLTU TELLO DI MAKASSAR”

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 segala ketulusan dan kerendahan hati, kami mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada :

1. Bapak Hamzah Al Imran, ST, MT. sebagai Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.

2. Ibu Adriani, ST, MT., sebagai Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
3. Bapak. DR. Ir. H. Zahir Zainuddin, M.Sc, 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 terutama dalam bentuk materi dalam menyelesaikan kuliah.
6. Saudara-saudaraku serta rekan-rekan mahasiswa fakultas teknik terkhusus angkatan 2013 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 bermanfaat bagi penulis, rekan-rekan, masyarakat serta bangsa dan Negara. Amin.

Wassalamualaikum Wr.Wb

Makassar, Februari 2019

Penulis

Jusman¹ , Hasrul²

¹Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Unismuh Makassar

Email : jusmanlane@gmail.com

²Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Unismuh Makassar

Email : accunhasrul013@gmail.com

ABSTRAK

Seiring dengan perkembangan industri di-Indonesia yang semakin berkembang dan kebutuhan akan energi listrik yang berkualitas di masyarakat maka sangat diperlukan pengembangan sumber energi listrik. Pada pusat-pusat pembangkitan, generator dan transformator merupakan salah satu komponen vital yang harus dijamin mutu dan keandalan sehingga kontinuitas penyaluran energi listrik dapat terjamin. Untuk mencapai hal tersebut maka diperlukan suatu usaha untuk melindungi generator dan transformator terhadap kerusakan dengan cara mendeteksi gangguan yang terjadi dan mengamankan secara cepat dan tepat. Untuk itu diperlukan sistem proteksi yang andal (relay). Relay differential yang digunakan pada PT PLN UNIT PEMBANGKITAN 1 PLTU Sektor Tello adalah jenis relay presentage differential, digunakannya relay jenis ini karena relay ini memiliki keandalan yang baik dalam mengatasi berbagai macam masalah pada generator dan Transformator daya. Hasil evaluasi setting arus pada relay differential adalah 5 Amper. Dan nilai ini sesuai dengan setting arus relay differential yang terpasang pada relay differential PLTU sektor Tello dan relay differential berfungsi untuk mendeteksi adanya ketidakseimbangan arus pada kedua sisi generator maupun trafo.

Kata kunci : Generator, Transformator, Proteksi dan Relay

Jusman¹ , Hasrul²

¹Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Unismuh Makassar

Email : jusmanlane@gmail.com

²Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Unismuh Makassar

Email : accunhasrul013@gmail.com

ABSTRACT

Along with the development of the industry in Indonesia which is increasingly developing and the need for quality electrical energy in the community, it is very necessary to develop electrical energy sources, at the centers of generation. At generation centers, generators and transformers are one of the vital components that must be guaranteed quality and reliability so that the continuity of distribution of electrical energy can be guaranteed. To achieve this, an effort is needed to protect generators and transformers from damage by detecting the disturbances that occur and securing quickly and precisely. For that we need a reliable protection system (relay). differential relay used at PT PLN DEVELOPMENT UNIT 1 Tello Power Plant is a type of presentage differential Relay, use of this type of relay because this relay has good reliability in overcoming various kinds of problems in power generators and transformers. the result of the evaluation of the current setting in the differential relay is 5 amperes. And this value is in accordance with the differential differential current setting installed in the differential relay Tello sector PLTU and differential relay functions to detect current imbalances on both the generator and transformer sides.

Keywords: Generator, Transformer, protection and relay

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	
HALAMAN PERSETUJUAN	
KATA PENGANTAR.....	ii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT.....	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	ix
BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan masalah	2
C. Tujuan Penulisan	2
D. Batasan Masalah	2
E. Metode Pengumpulan Data	3
F. Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
A. Generator.....	5
a. Prinsip Kerja Generator Sinkron	6
b. Jenis Generator AC	7
c. Susunan/Konstruksi	9

d. Eksitasi Generator AC.....	12
B. Transformator.....	14
1. Transformator Daya	14
2. Transformator Instrumen	16
C. Sistem Proteksi.....	19
1. Tujuan Proteksi	19
2. Perangkat Sistem Proteksi.....	20
a. Pengertian Relay Proteksi	20
b. Fungsi dan Peranan Relay Proteksi.....	22
c. Syarat-Syarat Relay Proteksi.....	23
3. Pemutus Tenaga/Pemutus Beban	25
4. Batere	27
5. Pengawatan	28

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat	33
B. Metode Penelitian	33
C. Gambar blok diagram	34

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Data-Data Generator, Transformator Pada Unit Pembangkitan I PLTU Sektor Tello.....	37
B. Relay Differential	39
C. Setting Relay	44

BAB IV PENUTUP

A. Kesimpulan 47

B. Saran-Saran 47

DAFTAR PUSTAKA 48

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Instalasi dua buah generator 66 MW yang digerakkan oleh turbin uap	6
Gambar 2.2 Gambar Konstruksi Generator Katub luar	8
Gambar 2.3 Gambar Konstruksi Generator Katub Dalam	9
Gambar 2.4 Rangkaian Belitan Jangkar di Stator	10
Gambar 2.5 Generator dengan Penguat Generator Shunt	13
Gambar 2.6 Skema Prinsip Transformator dengan Kumparan-Kumparan Primer dan Sekunder	16
Gambar 2.7 Trafo Tegangan	17
Gambar 2.8 Skema hubungan Transformator Arus	19
Gambar 2.9 Diagram Blok Relay Sistem Proteksi.....	19
Gambar 2.10 Contoh relay listrik	21
Gambar 2.11 Contoh Relay Pneumatic atau Hydrolic	21
Gambar 2.12 PMT Sedikit Menggunakan Minyak	26
Gambar 2.13 Pandangan Tampak Sebagian dari Sel Pelat Kantong Nikelcadium	27
Gambar 2.14 Skema Dasar Proteksi Differential.....	28
Gambar 2.15 Gangguan Internal dan Gangguan Eksternal.....	29
Gambar 2.16 Hubungan transformator arus pada sisi wye transformator Daya dan Hubungan transformator arus pada sisi delta	

Transformator daya	31
Gambar 2.17 Memperllihatkan keadaan kerja relay differential untuk gangguan ketanah diluar transformator, bila transformator arus dihubung Y	32
Gambar 3.1 Diagram blok system proteksi.....	34
Gambar 4.1 Perbandingan karakteristik CT yang menyebabkan tidak seimbangya arus	41
Gambar 4.2 Karakteristik Relay Differential Presentage	42

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Seiring dengan perkembangan industri di-Indonesia yang semakin berkembang dan kebutuhan akan energi listrik yang berkualitas di masyarakat maka sangat diperlukan pengembangan sumber energi listrik. Kondisi tersebut sudah menjadi kewajiban bagi PT PLN (Persero) sebagai salah satu BUMN yang dipercaya pemerintah dalam mengembangkan sektor penyediaan energi listrik.

Dalam meningkatkan penyediaan energi listrik tersebut maka dibangun pusat-pusat pembangkitan tenaga listrik yang menggunakan air, uap, diesel, gas atau nuklir sebagai tenaga penggerak. Pada PT PLN (Persero) WIL VIII Unit Pembangkitan I Tello terdapat pembangkitan tenaga listrik tenaga uap, gas, dan diesel untuk menyuplai energi listrik di daerah Makassar.

Pada pusat-pusat pembangkitan, generator dan transformator merupakan salah satu komponen vital yang harus dijamin mutu dan keandalan sehingga kontinuitas penyaluran energi listrik dapat terjamin. Untuk mencapai hal tersebut maka diperlukan suatu usaha untuk melindungi generator dan transformator terhadap kerusakan dengan cara mendeteksi gangguan yang terjadi dan mengamankan secara cepat dan tepat. Untuk itu diperlukan sistem proteksi yang andal.

B. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada tugas akhir ini adalah :

1. Untuk mengatasi kondisi-kondisi abnormal yang terjadi pada sistem tenaga listrik, misalnya pada generator dan transformator maka disetiap sistem dilengkapi dengan beberapa peralatan proteksi yang mempunyai fungsi yang berbeda.
2. Sistem proteksi ini bertujuan untuk mengetahui adanya gangguan, mengamankan dan berusaha membatasi daerah yang terkena gangguan seminimal mungkin.

C. Tujuan Penulisan

Penulisan tugas akhir ini disajikan dengan tujuan untuk :

1. Menjelaskan prinsip kerja dari sistem proteksi relay differential
2. Mengetahui setting arus pada relay differential
3. Dapat mengevaluasi fungsi dari relay differential yang terdapat pada generator dan transformator di Unit Pembangkitan I Sektor Tello PT PLN (Persero).

D. Batasan Masalah

Membahas sistem proteksi relay differential mempunyai ruang lingkup yang luas. Penulis merasa perlu mengemukakan batasan masalah yaitu :

1. Prinsip Kerja sistem proteksi relay differential
2. Cara menentukan setting relay differential

3. Evaluasi Fungsi relay differential yang terdapat pada generator dan transformator di PLTU Unit Pembangkitan I Sektor Tello PT PLN (Persero).

E. Metode Pengumpulan Data

Dalam penulisan tugas akhir ini penulis menggunakan metode dalam pengumpulan data sebagai berikut:

- a. Observasi

Yaitu mengadakan studi lapangan khususnya di PLTU Unit Pembangkitan I Sektor Tello PT PLN (Persero)

- b. Literatur

Yaitu pengumpulan data melalui pencarian dengan menggunakan berbagai referensi yang berkaitan dengan bahasan dalam penulisan tugas akhir ini.

- c. Diskusi

Yaitu pengumpulan data dengan cara wawancara langsung dengan beberapa narasumber yang lebih banyak mengetahui hal yang berhubungan dengan pembahasan dalam tugas akhir ini.

F. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang dituangkan dalam tugas akhir ini terbagi dalam :

Bab I Pendahuluan yang terdiri dari latar belakang, alasan memilih judul, tujuan penulisan, batasan masalah, metode pengumpulan data dan sistematika penulisan.

- Bab II Tinjauan Pustaka yang terdiri teori mengenai komponen proteksi, peralatan yang diproteksi, komponen penunjang dan prinsip kerja differential relay.
- Bab III Metodologi penelitian membahas tentang waktu dan tempat serta metode yang dipakai dalam penelitian ini
- Bab IV Hasil penelitian dan pembahasan, membahas tentang prinsip kerja pada relay differential dan cara mensetting relay differential pada perbedaan arus generator dan transpormator yang terdapat pada PLTU Unit pembangkitan I Sektor Tello PT PLN (persero)
- Bab IV Penutup yang terdiri dari kesimpulan dan saran

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Generator

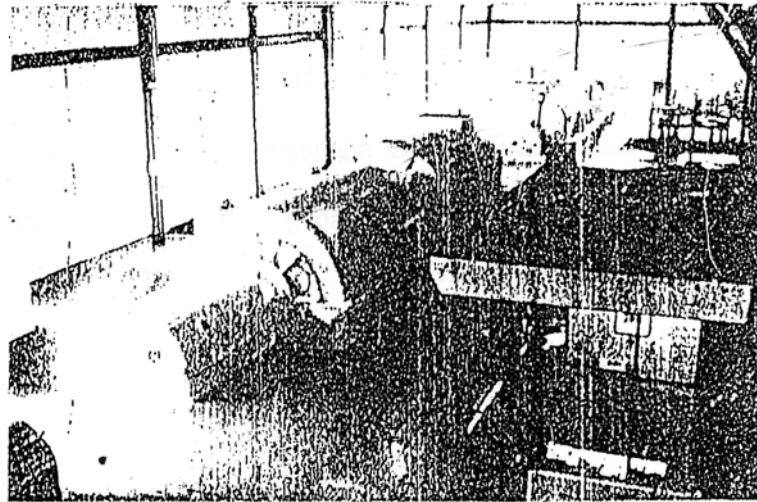
Generator sering juga disebut sebagai pembangkit atau suatu sarana yang berfungsi untuk membangkitkan arus listrik. Jenis generator ada 2 macam yaitu generator arus searah dan generator arus bolak balik. Pada prinsipnya antara generator arus searah dengan generator arus bolak-balik tidak jauh berbeda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

Jika dibandingkan dengan generator DC, generator AC lebih cocok untuk pembangkitan tenaga listrik yang berkapasitas besar. Umumnya generator arus bolak- balik, yang kadang-kadang disebut generator sinkron atau alternator, memberikan hubungan penting dalam proses yang lama dari perubahan energi dalam batu bara, minyak, gas, atau uranium ke dalam bentuk yang bermanfaat untuk digunakan dalam industri dan rumah tangga. Hal ini didasarkan atas pertimbangan-pertimbangan antara lain;

- Timbulnya masalah komutasi pada generator DC
- Timbulnya persoalan dalam menaikkan dan menurunkan tegangan pada listrik

DC. Hal ini menimbulkan persoalan untuk hantaran dalam pengiriman tenaga listrik (transmisi/distribusi).

Listrik AC mudah untuk diubah menjadi listrik DC. Masalah efisiensi mesin dan pertimbangan lainnya.



Gambar 2.1. Instalasi dua buah generator 66 MW yang digerakkan oleh turbin uap

a. Prinsip Kerja Generator Sinkron

Prinsip kerja generator sinkron berdasarkan induksi elektromagnetik. Setelah 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 GGL atau tegangan induksi. Frekuensi tegangan induksi tersebut mengikuti persamaan :

dengan:

p = banyaknya kutub

n_s = kecepatan sinkron (rpm)

Karena frekuensi dari tegangan induksi 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 persamaan :

$$p = \sqrt{3} \cdot v \cdot i \cdot \cos \theta$$

Dengan:

P = Daya (watt)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (ampere)

Cos θ = Faktor daya

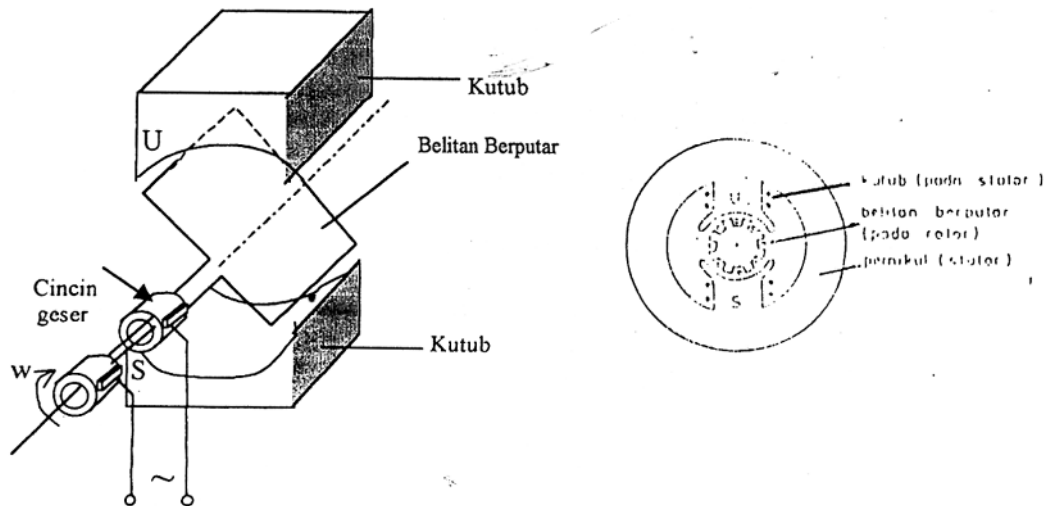
b. Jenis Generator AC

Ada dua jenis generator dilihat dari letak konstruksi kumparannya, yaitu;

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

Pada generator kutub luar, belitan jangkar diletakkan pada rotornya yang berputar, sedangkan belitan medan diletakkan pada statornya. Tegangan dan arus keluaran generator dihasilkan dari kumparan jangkar dengan menggunakan cincin keluaran 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 besar tidak dapat digunakan.



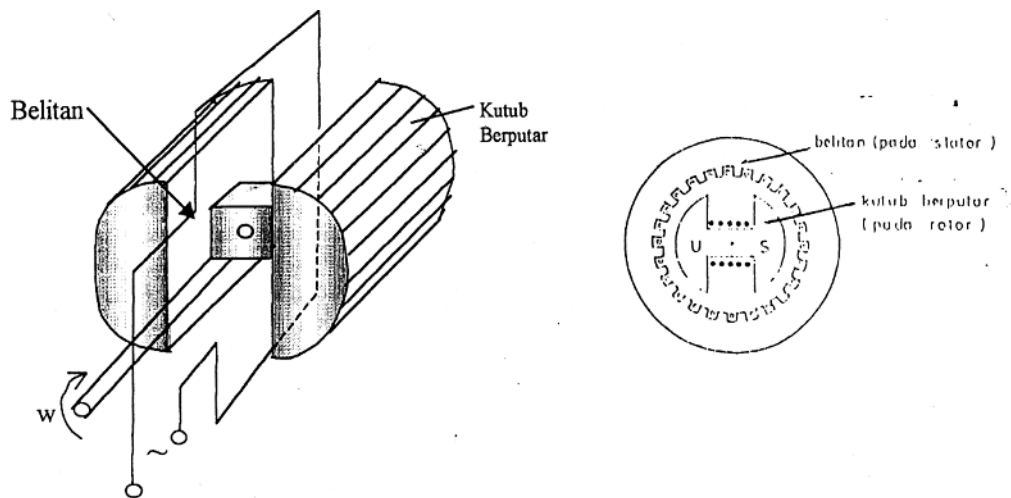
Gambar 2.2. Gambar Konstruksi Generator Kutub Luar Add :

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 :

- Belitan jangkar lebih kompleks daripada belitan medan, sehingga lebih mudah dan lebih terjamin ditempatkan pada struktur yang diam serta tegar yakni stator.
- Lebih mudah mengisolasi dan melindungi belitan jangkar terhadap tegangan yang tinggi.
- Pendinginan belitan jangkar mudah karena inti stator yang dibuat cukup besar sehingga dapat didinginkan dengan udara paksa.
- Belitan medan mempunyai tegangan rendah sehingga 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. Benar bahwa tetap digunakan cincin geser dan sikat untuk menyalurkan arus searah ke belitan medan yang menghasilkan medan elektromagnet dengan polaritas tetap yang memutar rotor, tetapi daya ini relatif kecil.



Gambar 2.3. Gambar konstruksi generator kutub dalam

c. Susunan/Konstruksi

Susunan dalam konstruksi generator AC lebih sederhana bila dibandingkan dengan generator DC. Adapun bagian-bagian dari generator adalah :

a. Rangka stator

Dibuat dari besi tuang. Rangka ini merupakan rumah dari 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

Pada stator mempunyai alur-alur sebagai tempat belitan stator. Belitan stator ini berfungsi sebagai tempat terjadinya GGL induksi. Belitan stator ini dirangkai untuk hubungan tiga fasa yang terdiri atas :

1) Belitan satu lapis (*single layer winding*)

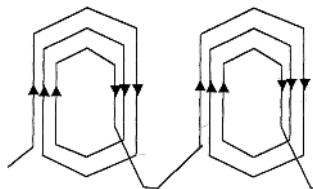
Belitan satu lapis ini bentuk dua macam :

- a) Mata rantai
- b) Gelombang

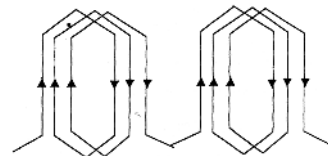
2) Belitan dua lapis (*double layer -winding*)

Belitan dua lapis ini bentuknya dua macam :

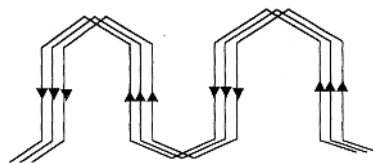
- a) Jenis gelombang
- b) Jenis gelung Jenis belitan ini dapat dilihat pada gambar di bawah.



a. Konsentris atau spiral



b. Gelung



c. Gelombang

Gambar 2.4 Rangkaian Belitan jangkar distator

Ujung-ujung dari belitan ini kemudian dipasang pada terminal box. Hubungan pada terminal ini bisa hubungan segitiga atau bintang. Hubungan bintang adalah hubungan 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

Rotor merupakan bagian yang berputar. Pada rotor terdapat kutub-kutub magnet dengan lilitannya yang dialiri arus searah, melewati cincin geser dan sikat-sikat. 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) Jenis kutub silinder untuk generator dengan kecepatan tinggi dengan jumlah kutub yang sedikit terdiri dari alur-alur yang dipasangi kumparan medan dan gigi. Alur dan gigi terbagi atas pasangan-pasangan kutub.

Kumparan kutub dari kedua macam kutub tersebut dihubungkan dengan cincin geser untuk memberikan arus searah sebagai penguat medan. Arus searah ini dari sumbernya disahirkan 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 ini berputar bersama-sama dengan poros dan rotor. Jumlah slip ring dapat menggeser sikat mengalirkan arus penguat magnet ke lilitan magnet pada rotor.

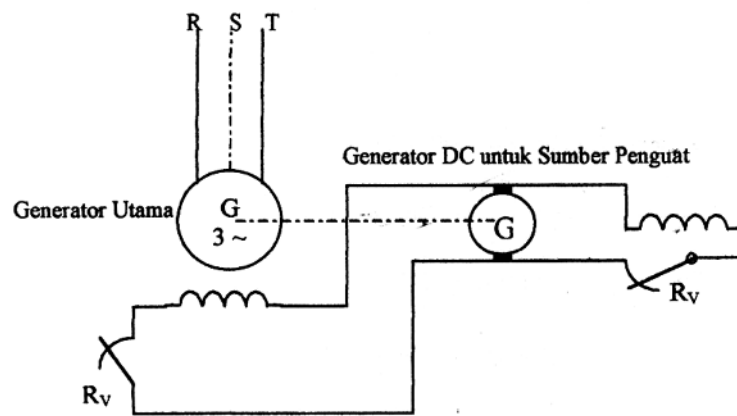
e. Generator Penguat

Generator penguat adalah suatu generator searah yang biasa 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 statomya, ditransformasikan dan kemudian disalurkan dengan dioda sebagai sumber penguat magnetnya.

d. Eksitasi Generator AC

Seperti telah diterangkan di muka bahwa untuk terjadinya GGL generator sinkron membutuhkan listrik arus searah untuk memberikan arus pada lilitan magnetnya.

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 biasanya generator DC yang digerakkan oleh motor atau generator dc yang digerakkan oleh penggerak mula yang sama yang diberi daya oleh generator AC.



Gambar 2.5. Generator dengan penguat generator shunt

Sistem pembangkitan lain yang masih digunakan baik dengan generator sinkron tipe kutub sepatu maupun tipe rotor silinder sepatu adalah sistem tanpa sikat-sikat; yang mana generator utama yang digunakan sebagai pengeksitasi. Pengeksitasi AC mempunyai jangkar yang berputar, keluarannya kemudian disearahkan oleh penyearah dioda silikon yang juga dipasang pada poros utama. Keluaran yang telah disearahkan dari pengeksitasi AC adalah diberikan langsung dengan hubungan yang diisolasi sepanjang poros ke medan generator sinkron yang berputar. Medan dari pengeksitasi AC adalah stasioner dan dicatu dari sumber DC terpisah. Keluaran dari pengeksitasi AC dan berarti tegangan yang dibangkitkan oleh generator sinkron, dapat dikendalikan dengan mengubah kekuatan medan pengeksitasi AC. Jadi sistem eksitasi tanpa sikat-sikat tidak mempunyai komutator, cincin slip, atau sikat-sikat yang sangat memperbaiki keandalan dan menyederhanakan pemeliharaan mesin.

B. Transformator

Transformator memberikan cara yang sederhana untuk mengubah tegangan bolak-balik dari satu harga ke harga yang lain. Jika transformator menerima energi pada tegangan rendah dan mengubahnya menjadi tegangan yang lebih tinggi disebut transformator penaik (*step-up*), sedangkan jika diberi energi pada tegangan tertentu dan mengubahnya jadi tegangan yang lebih rendah disebut transformator penurun (*step-down*).

Setiap transformator dapat dioperasikan baik sebagai transformator penaik maupun penurun tegangan. Transformator yang memang dirancang untuk suatu nilai tegangan tertentu, harus digunakan untuk tegangan tersebut. Untuk mentransmisikan sejumlah energi tertentu diperlukan arus yang lebih kecil pada tegangan tinggi dibandingkan pada tegangan rendah. Hal ini berarti bahwa energi dapat ditransmisikan dengan kerugian saluran yang lebih kecil bila digunakan tegangan transmisi yang lebih tinggi.

Untuk mendapatkan tegangan transmisi tinggi seperti 345.000 Volt atau 765.000 volt digunakan transformator penaik pada stasiun pembangkit. Sehingga dengan transformator memungkinkan pengiriman energi listrik jarak jauh secara ekonomis.

1. Transformator Daya

Merupakan suatu alat listrik statis yang dipergunakan untuk memindahkan daya dari suatu rangkaian ke rangkaian lain, dengan mengubah tegangan tanpa mengubah frekuensi. Dalam bentuknya yang paling sederhana transformator terdiri atas dua kumparan dan satu induktansi mutual.

Kumparan primer adalah yang menerima daya, dan kumparan sekunder tersambung pada beban. Kedua kumparan dibelit pada suatu inti yang terdiri atas material magnetik berlaminasi.

Landasan fisik transformator adalah induktansi mutual (timbang balik) antara kedua rangkaian yang dihubungkan oleh suatu fluks magnetik bersama yang melewati suatu jalur dengan reluktansi rendah (Gambar 2.6).

Kedua kumparan memiliki induktansi mutual yang tinggi. Jika satu kumparan disambung pada suatu sumber tegangan bolak-balik, suatu fluks bolak-balik terjadi didalam inti berlaminasi, yang sebagian besar akan mengait pada kumparan lainnya, dan di dalamnya akan terinduksi suatu gaya-gerak-listrik (GGL) sesuai dengan hukum-hukum induktansi elektromagnetik Faraday, yaitu ;

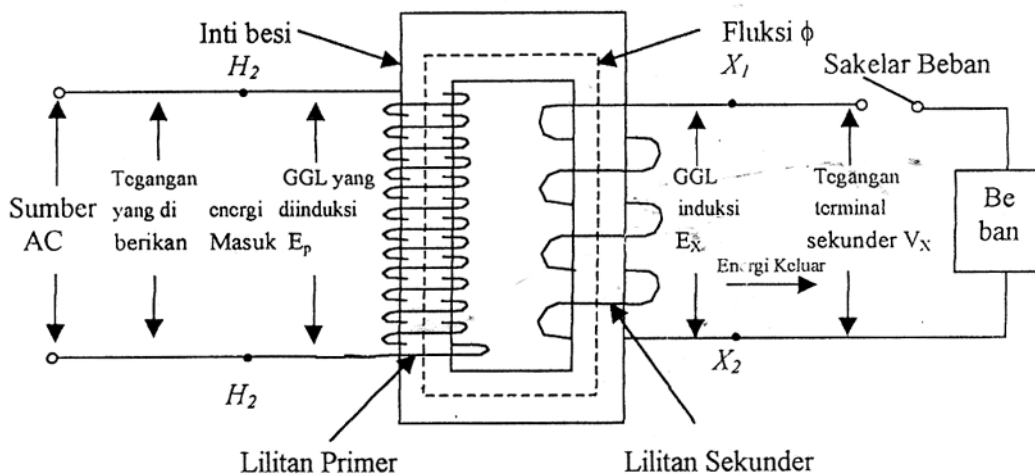
$$e = M \cdot di/dt$$

dengan:

e = gaya-gerak-listrik yang diinduksikan

M = induktansi mutual.

Bilamana rangkaian sekunder ditutup, suatu arus akan mengalir dan dengan jdemikian energi listrik dipindali (sepenuhnya secara magnetik) dan kumparan primer ke kumparan sekunder.



Gambar 2.6 Skema Prinsip Transformator dengan Kumputaran-Kumputaran Primer dan Sekunder

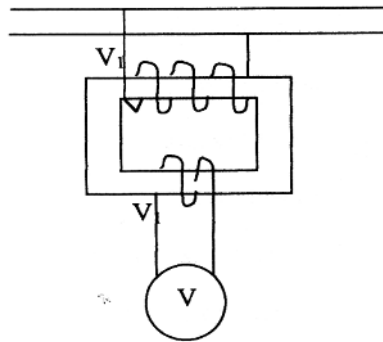
2. Transformator Instrumen

Besaran-besaran seperti tegangan dan arus listrik perlu diukur, juga yang terjadi di instalasi-instalasi listrik seperti pusat-pusat pembangkit dan gardu-gardu induk. Pada umumnya tegangan kerja pada instalasi-instalasi itu merupakan tegangan tinggi, sedangkan arus listrik yang mengalir merupakan arus besar pula. Alat-alat ukurannya akan menjadi sangat mahal bila besaran-besaran itu diukur secara langsung. Adalah lebih mudah membuat transformator khusus untuk menurunkan tegangan yang tinggi atau arus yang besar itu pada suatu rasio tertentu dari nilai mula yang tinggi itu. Transformator khusus itu dinamakan trafo instrumen. Dimana jenisnya ada 2 yaitu:

a. Transformator tegangan

Transformator tegangan memberikan tegangan ke alat ukur instrumen atau alat kendali yang mempunyai nilai perbandingan tertentu.

Transformator tegangan bekerja dengan prinsip yang sama dengan transformator daya cuma mempunyai perbandingan transformator yang sangat teliti.



Gambar 2.7 Trafo Tegangan

Seperti gambar 2.7 transformator tegangan digunakan dengan menghubungkan kumparan-kumparan primernya secara paralel dengan beban, dan kumparan sekundernya dihubungkan dengan sirkuit tegangan dari pengukuran volt atau Watt. Dengan cara demikian, maka kumparan primer dan sekunder terisolasi secara cukup dari yang satu dengan yang lainnya. Sehingga tegangan tinggi biasa ditransfomasikan ke tegangan rendah untuk keperluan pengukuran dengan aman.

Transformator tegangan ini umumnya dirancang untuk mempunyai tegangan tertentu 115 Volt atau 120 Volt pada terminal sekunder jika nilai tegangan tertentu dikenakan pada lilitan primer

b. Transformator Arus

Berdasarkan penggunaannya transformator arus dibagi atas :

1. Transformator arus untuk pengukuran

Dimana trafo ini linear pada nilai arus yang kecil

2. Transformator arus untuk proteksi

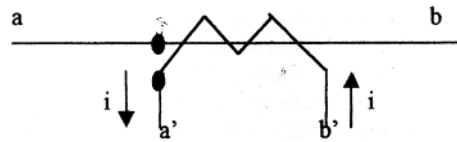
Untuk arus kecil karakteristiknya tidak linear, nanti pada saat arus besar baru karakteristiknya linear.

Fungsi transformator arus adalah menyediakan cara pengukuran arus saluran ke harga-harga yang dapat digunakan untuk mengoperasikan alat pengukur arus rendah dan alat kendali yang baku dan alat-alat ini benar-benar terisolasi dari rangkaian utama. Karena trafo arus ini digunakan berkaitan dengan alat pengukur arus, maka lilitan primernya dirancang untuk dihubungkan seri dengan saluran. Oleh sebab itu maka impedansi lilitan primer perlu dibuat serendah mungkin. Hal ini dilakukan dengan menggunakan beberapa lilitan kawat bertahanan rendah yang mampu membawa arus saluran yang nilainya tertentu.

Transformator arus biasanya digunakan untuk memperkecil arus, maka jumlah lilitan sekunder lebih banyak dari primer. Perbandingan arus primer dan sekunder adalah berbanding terbalik dengan perbandingan jumlah lilitan primer dan sekunder. Transformator arus biasanya dirancang sedemikian rupa sehingga jika pada primer mengalir arus tertentu, maka sekunder akan mengalir arus sebesar 5 Ampere.

Dalam bentuk skema trafo arus dapat dilihat pada gbr 2.8. Gulungan primer suatu transformator arus biasanya terdiri dari lilitan tunggal. Lilitan tunggal ini diperoleh dengan memasukkan penghantar primer itu melalui satu atau beberapa jenis teras baja Toroid (lilitan primer a dan b), sedangkan lilitan sekundernya yang ditandai dengan a' dan b'

merupakan gulungan berlilitan banyak yang digulungkan pada teras toroid tersebut.



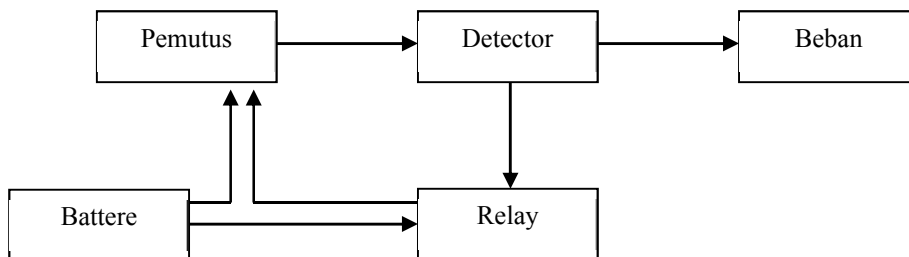
Gambar 2. 8 Skema hubungan Transformator Arus

C. Sistem Proteksi

1. Tujuan Proteksi

Pada saluran kelistrikan untuk mengisolir bagian yang terkena gangguan digunakan relay proteksi yang masing-masing mempunyai daerah pengamanan tersendiri. Sistem ini lebih dikenal sebagai sistem perlindungan.

Tujuan dari proteksi adalah mengamankan peralatan dari keadaan abnormal sedini mungkin sehingga gangguan tersebut tidak sempat mengakibatkan kerusakan pada peralatan yang semakin besar. Selain itu juga kita ketahui bahwa nilai investasi peralatan listrik sangat besar, sehingga diperlukan sistem proteksi yang menjamin peralatan listrik dalam keadaan aman dari gangguan dan kerusakan yang fatal. Dibawah ini adalah diagram blok diagram sistem proteksi pada gambar 2.9



Gambar 2.9 Diagram Blok Relay Sistem Proteksi

- Pemutus : Berfungsi memutus atau memisahkan rangkaian pada kondisi aktif
- Detektor : Berfungsi untuk mendeteksi perubahan parameter dan menginformasikan data tersebut ke relay deteksi
- Relay : Membandingkan besaran parameter yang dibaca oleh detektor dan mengevaluasi apakah akan melanjutkan kepada pemutus jika perlu atau membiarkan jika perlu
- Baterai : Memberikan energi listrik pada relay dan pemutus.

2. Perangkat Sistem Proteksi

Yang dimaksud perangkat sistem proteksi adalah meliputi:

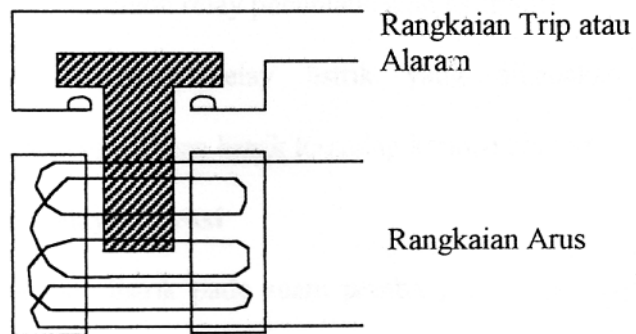
- a. Relay
- b. pemutus tenaga/pemutus beban
- c. Trafo pengukuran
- d. Batere
- e. pengawatan

a. Relay

1) Pengertian Relay Proteksi

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

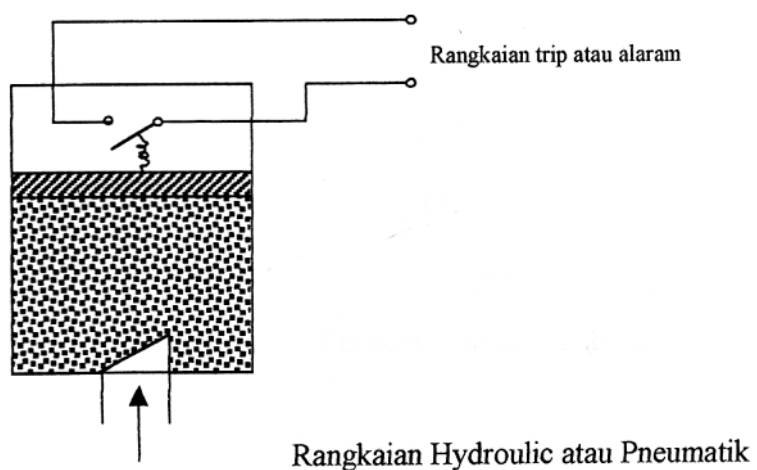
Contoh :



Gambar 2.10. Contoh relay listrik

Pada gambar di atas rangkaian trip atau alarm akan masuk apabila ada perubahan nilai tertentu dari nilai rangkaian listrik lainnya. Relay ini biasa disebut relay listrik.

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



Gambar 2.11. Contoh relay pneumatic atau hydraulic

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

2) 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 dan kecelakaan atau kerusakan yang fatal Kerusakan yang fatal dapat menimbulkan :

- a) Kerugian biaya investasi
- b) Kerugian operasi (*long outages*)
- c) Terganggu pelayanan (*service*)

Untuk itu relay proteksi sangat diperlukan. pada peralatan pembangkit tidak dibiarkan beroperasi tanpa proteksi.

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

- a) Memberi 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.
- b) Melepas/mentrip peralatan yang berfungsi tidak normal untuk mencegah timbulnya kerusakan.

- c) Melepas/mentrip peralatan yang terganggu secara cepat dengan tujuan mengurangi kerusakan yang lebih berat.
- d) Melokalisir kemungkinan dampak akibat gangguan dengan memisahkan peralatan yang terganggu dari sistem. Peralatan yang terganggu dapat menyebabkan gangguan pada peralatan lain yang berada pada sistem.
- e) Melepas peralatan/bagian yang terganggu secara cepat dengan maksud menjaga stabilitas sistem, kontinuitas pelayanan dan untuk kerja sistem.

Secara umum fungsi dan peranan relay proteksi adalah :

- a) Mencegah kerusakan
- b) Membatasi kerusakan
- c) Mencegah meluasnya gangguan sistem

3) Syarat-Syarat Relay Proteksi

Untuk suatu relay proteksi ada syarat-syarat yang perlu dipenuhi. Syarat-syarat tersebut adalah:

- a) Andal (*Reliable*)
- b) Cepat (*Speed*)
- c) Peka (*Sensitive*)
- d) Selektif (*Selective*)

a. 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, maka dalam hal ini relay tidak boleh gagal bekerja karena pemadaman akan meluas. Disamping itu juga relay tidak boleh salah bekerja.

b. 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 cepat.

c. Peka (*Sensitive*)

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

d. Selektif (*Selektive*)

Suatu 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 dipisahkan.

Tugas relay adalah mendeteksi adanya gangguan yang terjadi pada daerah pengamannya dan memberi perintah untuk membuka PMT dan memisahkan bagian dari sistem yang terganggu. Dengan demikian

bagian sistem yang lain tidak terganggu dapat beroperasi dengan normal.

Dikatakan selektive bila relay proteksi bekerja hanyalah pada daerah yang terganggu saja.

3. 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 Volt sampai dengan 765.000 Volt dan nilai pemutus setinggi 63.000 tenaga minyak, juga dikembangkan pemutus udara magnetik, udara tekan hampa dan belerang heksa florida.

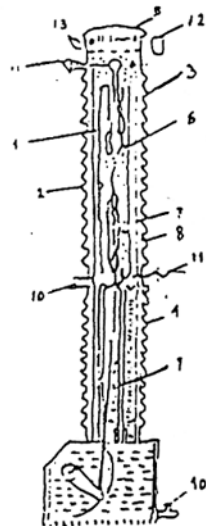
Pemutus rangkaian udara magnetik tersedia dalam nilai 750.000 kVA pada 13800 Volt. Pada pemutus ini arus diputuskan antara kontak yang dapat dipisahkan dalam udara dengan pertolongan kumparan peniup magnetik. Jika kontak pengalir arus utama berpisah selama pemutusan suatu gangguan, bunga api ditarik keluar dalam arah mendatar dan dipindahkan kekontak bunga api.

Pada saat bersamaan, kumparan tiup dihubungkan kedalam rangkaian untuk membangkitkan medan magnet untuk menarik bunga api. Bunga api melakukan percepatan keatas, dibantu oleh medan magnet dan pengaruh panas alami, kedalam selubung bunga api dimana ia direntang 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.

Pemutus udara tekan bergantung pada aliran udara tekan yang diarahkan kekontak pemutus untuk memutuskan bunga api yang terbentuk ketika aliran listrik diputuskan. Pemutus rangkaian minyak direndam dalam minyak sehingga pemutus arus terjadi dalam minyak yang dengan dipengaruhi pendinginannya membantu meredam bunga api. Pemutus Belerang Heksaflorida menggunakan gas belerang heksaflorida (SF_6) sebagai media isolasi dan pemadam bunga api.

Mekanisme kerja pemutus SF_6 dioperasikan secara pneumatik. Pegas akan tertekan yang menyediakan energi untuk pembukaan pemutus.



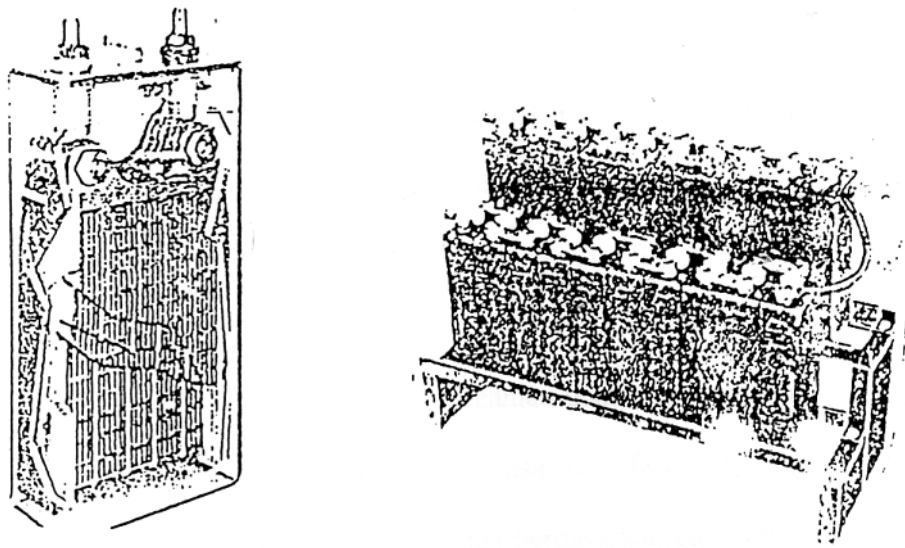
Keterangan:

1. Kontak tetap
2. Kontak bergerak
3. Ruang pemutus aliran
4. Ruang penyangga
5. Ruang atas (puncak)
6. Alat pemadam busur api
7. Kontak tetap
8. Penutup dari kertas bakelit
9. Batang penggerak
10. Katub pelalu
11. Terminal
12. Katub pembantu
13. Lubang gas

Gambar 2.12 PMT sedikit menggunakan minyak

4. Baterre

Alat yang mengubah energi kimia menjadi energi listrik disebut sel listrik. Bila beberapa sel dihubungkan secara listrik maka akan membentuk beterre. Pada dasarnya setiap sel adalah dua logam atau konduktor-konduktor yang tak sama yang dicelupkan di dalam cairan penghantar.



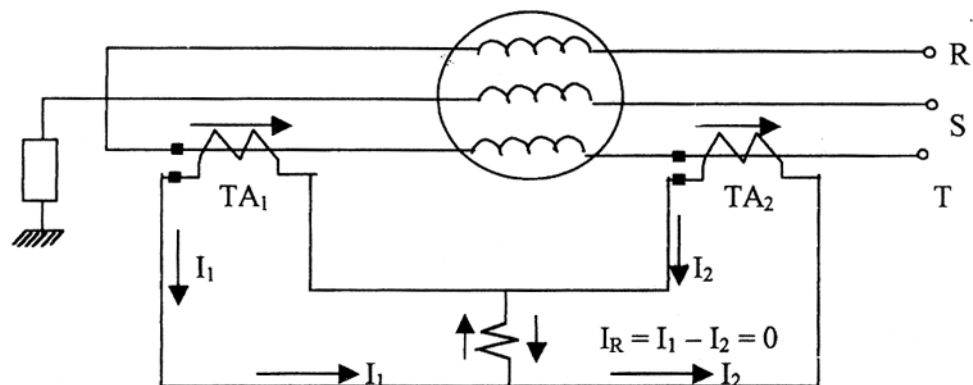
Gambar 2.13 Pandangan tampak sebagian dari sel pelat kantong nikel kadmium.

Pada sistem proteksi yang digunakan sel sekunder atau penyimpanan dimana sel yang keadaan fisik dan kondisi kimiawi dari elektroda dan elektrolimya dapat disimpan kembali dengan mengisinya. Pengisian sel yang demikian terdiri dari melakukan arus melalui sel dalam arah yang berlawanan dengan aliran arus pengosongan. Dalam pemakaian ada beberapa macam sel penyimpan dan yang paling umum yaitu asam timbal (lead acid) dan nikel cadiumalkaline. Tegangan terminal rata-rata dari sel asam. Timbal kira-kira 2 V sedangkan nikel cadiumalkaline kira-kira 1,2 V.

5. Pengawatan

Pengawatan disini berfungsi menyalurkan atau meneruskan besaran-besaran/signal listrik dari dan ke perangkat proteksi yang satu keperangkat proteksi lainnya. 2.4 Relay Differential

Relay differential merupakan pengaman utama pada generator maupun trafo untuk gangguan hubung singkat antara fasa dan fasa untuk generator dengan pentanahan langsung. Prinsip kerja proteksi berdasarkan pada prinsip keseimbangan yaitu membandingkan arus-arus sekunder dan primer yang terpasang pada terminal peralatan yang diproteksi.



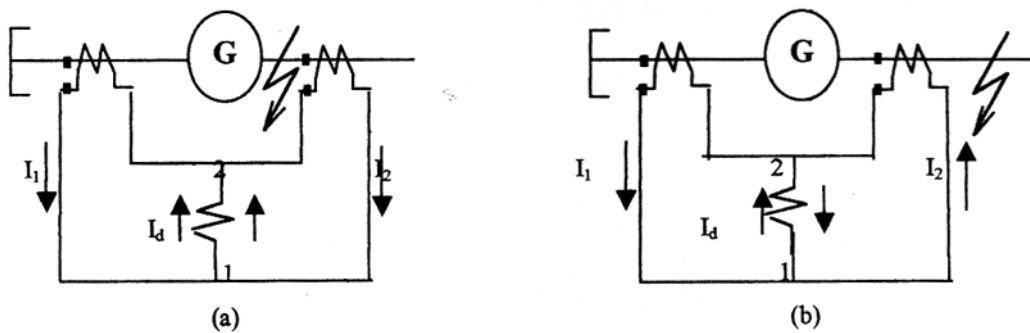
Gambar 2.14 Skema dasar proteksi differential

Jika relay proteksi differential dipasang antara 1 dan 2, maka dalam kondisi beban normal tidak ada arus yang mengalir melalui relay seperti pada gambar 2.14.

Bila terjadi gangguan diluar daerah pengamanannya maka arus yang mengalir akan bertambah besar,(gangguan External) akan tetapi sirkulasi arusnya tetap seimbang, sehingga relay tetap tidak bekerja.

Bila terjadi gangguan didaerah pengamannya (internal) maka arah sirkulasi arus disalah satu sisi akan terbalik dan menyebabkan keseimbangan pada kondisi normal terganggu, seperti terlihat pada gambar 2.13, akibat ini arus I_R akan mengalir melalui relay dari terminal 1 ke terminal 2. Bila arus tersebut (I_r) lebih besar dari settingnya, maka relay akan bekerja.

$$I_r = I_1 + I_2$$



Gambar 2.15 a. Gangguan Internal b. Gangguan external

Seperti kita ketahui bahwa relay differential ini memiliki setting arus yang ditentukan yang nantinya setting arus ini yang menentukan kapan relay akan bekerja. Untuk menentukan setting relay tersebut maka digunakan persamaan :

$$\text{Maka arus rate generator, } I_n = \frac{(\quad)}{\sqrt{(\quad)}}$$

Setelah mengetahui I_n tersebut maka untuk mengetahui arus yang akan masuk kedalam relay yaitu dengan menggunakan persamaan:

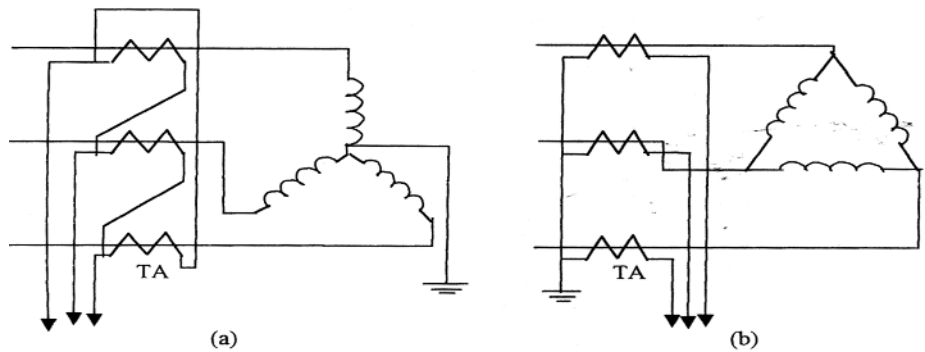
$$I_r = I_n \times CT$$

Dalam memproteksi transformator daya dan generator dengan relay differential, ada dua hal pokok yang merupakan syarat mutlak yang harus dipenuhi adalah:

- a. Relay differential tidak boleh bekerja pada keadaan beban normal
- b. Relay differential harus bekerja apabila terjadi gangguan dalam zone pengaman relay differential tersebut.

Pada pemakaian relay differential untuk memproteksi transformator daya dan generator, harus diperhatikan bahwa antara besaran sisi primer dan besaran sisi sekunder kadang-kadang terdapat pergeseran sudut fasa yang disebabkan oleh perbedaan hubung belitan primer dan belitan sekunder, misalnya untuk transformator wye-delta atau delta-wye. Begitu pula besarnya arus beban pada sisi primer dan sekunder transformator daya berbeda.

Kedua hal ini merupakan masalah yang timbul dalam proteksi transformator daya dengan relay differential. Untuk mengatasi masalah pergeseran sudut fasa tersebut maka dibuatkan suatu aturan, bagaimana caranya untuk dapat mengkompensasi pergeseran sudut fasa itu. Hal ini dapat dicapai dengan cara menghubungkan transformator arus secara wye pada sisi delta transformator daya dan menghubungkan secara delta transformator arus pada sisi wye transformator daya, seperti diperlihatkan pada gambar 2.16 berikut:



Gambar. 2.16

- a. Hubungan transformator arus pada sisi wye transformator daya
- b. Hubungan transformator arus pada sisi delta transformator daya

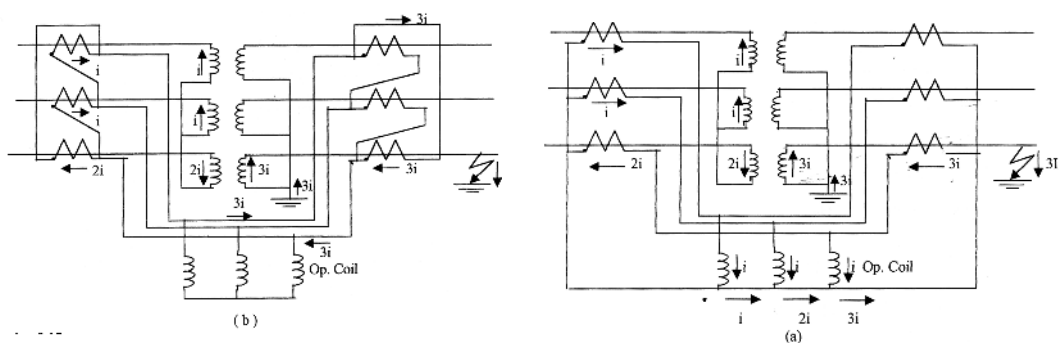
Dalam kedua keadaan ini, tiga transformator arus dibutuhkan pada tiap sisi transformator daya. Hubung sekunder transformator arus harus sedemikian, sehingga dalam keadaan normal dan gangguan luar tidak arus yang mengalir dalam belitan kerja relay differential.

Sistem hubungan transformator daya yang umum digunakan adalah hubungan wye-delta atau delta-wye. Pergeseran sudut fasa primer dan sekunder adalah 30 %. Pergeseran sudut fasa ini dapat dikompensasikan dengan cara yang telah disebutkan yaitu dengan cara menghubungkan secara delta transformator arus pada sisi wye transformator daya dan menghubungkan secara wye transformator arus di sisi delta transformator daya.

Bila transformator daya dihubungkan wye-wye, tidak ada pergeseran fasa antara primer dan sekunder, namun demikian, untuk mempertahankan stabilitas relay differential terhadap gangguan ke tanah yang terjadi diluar

transformator, maka transformator arus pada kedua sisi hubungan wye transformator daya harus dihubungkan delta.

Jelas bahwa kesesuaian fasa akan diperoleh bila kedua kelompok transformator arus pada kedua sisi wye dihubungkan secara wye, tetapi akan terlihat bahwa dalam keadaan ini relay differensial akan stabil terhadap gangguan yang lewat untuk gangguan antara fasa, tetapi tidak stabil terhadap gangguan fasa ke tanah. Keadaan ini diperlihatkan dalam gambar 2.17. Dengan memperlihatkan gambar 2.17a, arus sekunder yang masuk dan keluar kawat-kawat pilot tidak sama pada kedua ujung dan karena itu tidak berjumlah nol dalam belitan relay. Sedangkan pada gambar 2.17b sebaliknya benar dan tidak ada arus yang mengalir dalam belitan kerja relay.



Gambar 2.17

- a. Memperlihatkan keadaan kerja relay differensial untuk gangguan ke tanah di luar transformator, bila transformator arus dihubung Y
- b. Memperlihatkan kestabilan relay terhadap gangguan ke tanah diluar transformator dimana transformator arus dihubungkan delta

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat

Pembuatan tugas akhir ini dilaksanakan selama 6 bulan, mulai dari Agustus 2018 sampai dengan Januari 2019 sesuai dengan perencanaan waktu yang terdapat pada jadwal penelitian, sedangkan tempat Penelitian dilaksanakan di PLTU Unit Pembangkitan I Sektor Tello PT PLN (Persero).

B. Metode Penelitian

Metode penelitian ini berisikan langkah-langkah yang ditempuh penulis dalam menyusun tugas akhir ini. Metode penelitian ini disusun untuk memberikan arah dan cara yang jelas bagi penulis sehingga penyusunan tugas akhir ini dapat berjalan dengan lancar.

Dalam penulisan tugas akhir ini penulis menggunakan metode dalam pengumpulan data sebagai berikut:

a. Observasi

Yaitu mengadakan studi lapangan khususnya di PLTU Unit Pembangkitan I Sektor Tello PT PLN (Persero)

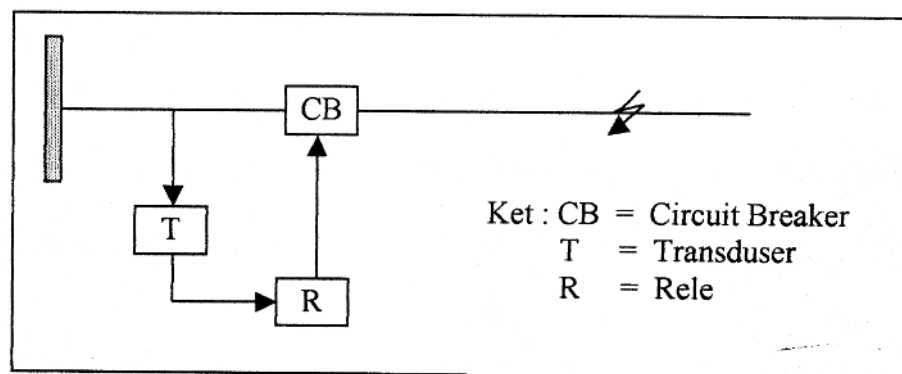
b. Literatur

Yaitu pengumpulan data melalui pencarian dengan menggunakan berbagai referensi yang berkaitan dengan bahasan dalam penulisan tugas akhir ini.

c. Diskusi

Yaitu pengumpulan data dengan cara wawancara langsung dengan beberapa narasumber yang lebih banyak mengetahui hal yang berhubungan dengan pembahasan dalam tugas akhir ini.

C. Gambar Blok Diagram



Gambar 3.1 Diagram blok sistem proteksi

Pada gambar diatas adalah sebuah diagram blok sederhana dari sebuah sistem proteksi. Titik T dimisalkan oleh transduser. Transduser ini akan memberikan sinyal pada rele, sehingga rele tersebut akan menggerakkan pemutus

Pada saluran kelistrikan, untuk mengisolir bagian yang terkena gangguan digunakan rele proteksi, yang masing-masing mempunyai daerah pengaman tersendiri. Sistem ini lebih dikenal sebagai sistem perlindungan (protection sistem.

Dalam sistem penyaluran daya listrik, jika terjadi gangguan maka sensor mengirim sinyal ke rele proteksi untuk memerintahkan pemutus daya (*circuit breaker*) membuka bilamana gangguan tersebut melampaui batas setting yang telah ditentukan pada rele proteksi. Pemutus daya ini ditempatkan sedemikian rupa sehingga sistem yang normal terpisah dari sistem yang mengalami gangguan.

1. Fungsi dan Peranan Relay Proteksi

Nilai investasi peralatan listrik pada suatu pembangkit listrik dan jaringan transmisi sangat besar sehingga perhatian yang khusus harus diutamakan agar setiap peralatan tidak hanya beroperasi dengan efisien yang optimal, tetapi juga teramankan dari gangguan dan kerusakan yang fatal. Untuk itu relay proteksi sangat diperlukan pada jaringan proteksi saluran transmisi. Fungsi dan peranan dari rele proteksi ini antara lain:

- a. Memberikan sinyal untuk melepaskan kontak pemutus tenaga (*circuit breaker*) dengan tujuan mengisolir gangguan atau kondisi yang tidak normal yakni hubung singkat.
- b. Melokalisir daerah yang terganggu untuk mencegah meluasnya pengaruh dan akibat yang timbul bagi peralatan lainnya.
- c. Memutuskan hubungan sistem (*tripping*) pada jaringan transmisi yang terganggu dengan cepat guna menjaga stabilitas, kontinuitas, dan pelayanan kerja dari system.

2. Syarat-Syarat Umum dari Rele Proteksi

Relay proteksi ditinjau dari jenis dan dalam penggunaannya harus memiliki syarat-syarat yang penting dalam pengoperasiannya sehingga dapat bekerja sesuai dengan fungsinya secara maksimal.

Syarat tersebut terdiri dari beberapa hal yakni:

- a. Kecepatan kerja

Tujuan terpenting dari relay proteksi adalah memisahkan bagian yang terkena gangguan, dari sistem jaringan yang normal dengan cepat (*speed*) agar

tidak menimbulkan kerugian yang lebih besar. Dan untuk dapat meningkatkan keandalan (*reliable*) operasi dari sistem digunakan proteksi dengan kecepatan kerja yang lebih tinggi dan dipadukan dengan pemutus jaringan kecepatan tinggi. Adakalanya rele proteksi dikehendaki dengan perlambatan waktu (*time delay*) yang digunakan pada koordinasi proteksi dari beberapa daerah proteksi yang berturut-turut bilamana kondisi sistem memungkinkan adanya perlambatan waktu kerja dari rele tersebut.

b. Kepekaan (*Sensitive*)

Rele proteksi yang digunakan harus mampu untuk memberikan respon terhadap gangguan yang timbul dalam sistem yakni dapat bekerja pada awal kejadian gangguan.

c. Selektifitas

Adalah kemampuan sistem proteksi untuk mengetahui letak terjadinya gangguan, dan memilih pemutus jaringan yang terdekat dari tempat gangguan untuk membuka.

Andal (*Reliable*)

Keandalan dari sistem proteksi adalah kemampuan suatu rele untuk dapat bekerja dengan baik dan benar pada berbagai kondisi sistem. Keandalan sistem proteksi ini dibagi atas dua unsur yakni:

- Kemampuan rele yang selalu bekerja dengan baik pada kondisi abnormal saat terjadi gangguan, dan
- Kemampuan rele untuk tidak bekerja pada kondisi normal.

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Data-Data yang Terdapat Generator, Transformator dan Relay Differential yang Digunakan Pada Unit Pembangkitan I PLTU Sektor Tello.

1. Generator

- Type : S.1445-2
- No : 12728
- Hubungan : Y
- Tegangan : 6300 V
- Arus : 1466 A
- Daya : 16000KVA
- Power Faktor : 0,8
- Putaran : 3000 / 3750 rpm
- Excitation : 115 V
- Arus excitation : 115 V
- Arus excitation : 48 A

2. Transformator

- Type : 4ST 141,5/86
- No. : 1.187533
- Frekuensi : 50 Hz
- Sambungan : Yd5
- 1. 16.000 KVA : 31,500 +/- 5% V 294 A

- 2. 16.000 KVA : 6,300 V 1470 A
- Series : 30 N/10N
- Cooling : 5
- Duty : DB
- Style : LT
- Insul : A
- Oil : 21.000 Kg
- Total : 36.000 Kg
- Buatan : CKD PRAHA CZECHOSLOVAKIA, 1968

3. Relay Differential untuk Transformator

- Type :RBAH 140
- Frekuensi : 50 HZ
- Arus : 5 A
- Setting Arus :5A
- N° :769585

4. Relay Differential untuk Generator

- Type :RBA 120-2
- Arus : 5 A
- Setting Arus : 5 A

B. Relay Differential

1. Relay Differential pada Generator

Berdasarkan data pada Unit Pembangkitan I PLTU sektor tello relay yang dipergunakan adalah Relay percentage differential type RBA 120-2. Relay ini untuk mendeteksi adanya ketidak seimbangan arus yang terdapat pada generator.

Karena adanya perbedaan arus pada kedua sisi generator dapat menyebabkan kerusakan pada generator sedangkan diketahui bahwa generator adalah salah satu komponen yang sangat penting pada pembangkitan.

Oleh sebab itu digunakan relay differential dalam mendeteksi dan mengamankan generator apabila terjadi perbedaan arus pada kedua sisi generator. Generator menggunakan CT (*Current Transformator*) yang sama pada kedua sisi generator sehingga hal ini tidak terlalu sulit dalam hal pemasangannya karena tidak terdapatnya perbedaan tegangan pada kedua sisi generator. Relay akan bekerja apabila arus gangguan yang melewati CT1 dan CT2 melebihi setting 10% dari rating 5 Ampere dari arus nominalnya. Relay differential generator yang terdapat pada generator Unit pembangkitan I PLTU Sektor Tello tidak pernah bekerja.

2. Relay Differential pada Transformator Daya

Berdasarkan data dari PT PLN (persero) Unit Pembangkitan IPLTU sektor Tello relay differential yang digunakan pada Transformator daya adalah Relay percentage differential type RBAH-140 . Relay ini

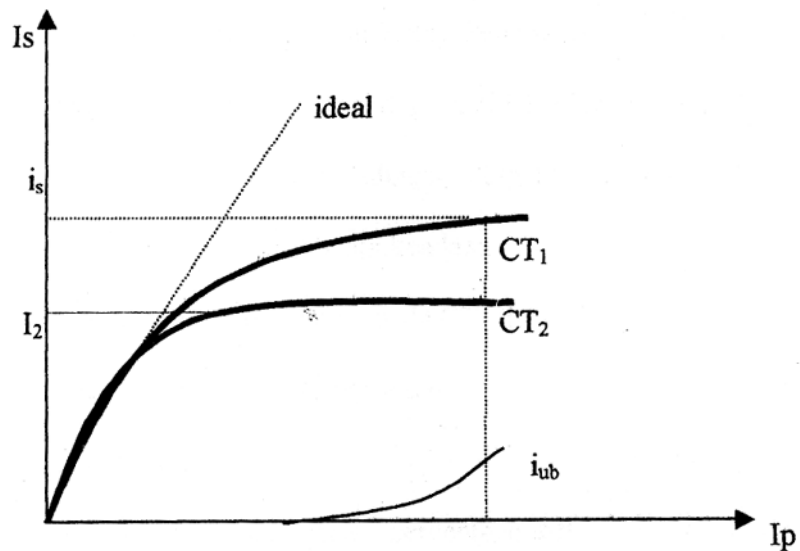
akan bekerja apabila arus gangguan yang melewati CT (*Current Transformer*) lebih besar dari setting 30 % dari rating 5 A

Presentase differential relay digunakan karena terdapatnya masalah-masalah yang disebabkan oleh :

- a. Ketidak-samaan karakteristik transformator arus.
- b. Perubahan perbandingan transformator karena perubahan tab pada transformator daya.
- c. Arus surja magnetisasi (*Magnetizing Current Inrush*)

Perbedaan karakteristik transformator arus karena adanya perbedaan tegangan pada kedua sisi transformator daya yang dapat menyebabkan perbedaan yang cukup besar dalam arus sekunder dari kedua kelompok transformator arus. Transformator mempunyai kejenuhan arus yang tidak sama atau ketidakseimbangan arus (I_{ub}). Hal-hal yang mempengaruhi i_b adalah karakteristik kelengkungan magnetik dari CT₁ dan CT₂ terutama pada arus hubung singkat yang besar akan menyebabkan arus sekunder tidak lagi linier terhadap arus primer karena kejenuhan CT dan burden CT₁ tidak sama dengan burden CT₂.

Karena perbedaan tegangan pada kedua sisi transformator arus CT₁ lebih besar dari arus CT₂ maka arus differential sama dengan selisih CT₁ dan CT₁, selisih ini akan semakin besar apabila terjadi gangguan diluar kawasan pengamanan, sehingga akan menyebabkan relay bekerja. Padahal diharapkan relay ini tidak akan bekerja karena gangguan terjadi di luar zone proteksinya.



Gambar 4.1 Perbandingan karakteristik CT yang menyebabkan timbulnya ketidakseimbangan arus.

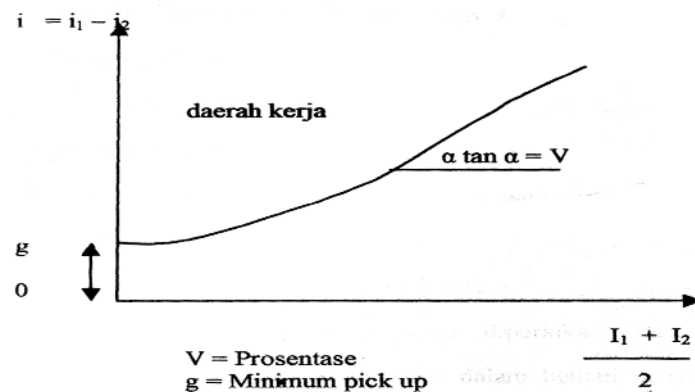
Perubahan tap transformator, menyebabkan perubahan perbandingan tegangan dan arus antara sisi primer dan sekunder. Sudah dikemukakan bahwa untuk mendapatkan stabilitas dalam keadaan normal dan gangguan luar, maka keluaran yang sama dari kedua kelompok transformator arus pada kedua sisi transformator daya merupakan hal yang penting dalam memproteksi transformator daya dengan relai Differential.

Jelas bahwa tidak mungkin transformator arus dapat mengimbangi semua kedudukan tap, jika transformator arus tidak dilengkapi dengan pengubah tap namun demikian tidak praktis untuk mengubah tap-tap pada transformator arus setiap kali perubahan tap dilakukan pada transformator daya.

Oleh sebab itu digunakan Relay Percentage Differential . Relay ini sangat menjamin stabilitas terhadap ketidakseimbangan karakteristik transformator daya dengan perbandingan yang berubah-ubah. Dimana relay ini dimaksudkan untuk menghadapi keadaan :

- Ketidakseimbangan antara arus pada CT₁ dan CT₂
- Perubahan tap pada transformator daya
- Arus magnetisasi.

Karakteristik differential dari Relay percentage differential dinyatakan pada gambar 4.2



Gambar 4.2 Karakteristik relay differential presentage

Pada Relay presentage differential setiap kutub relay dilengkapi dengan belitan penyanggah (*restraining Coil*) dan belitan kerja (*Operating Coil*).

Dalam keadaan gangguan luar, dimana relay tidak diharapkan bekerja, yang diinginkan bahwa tidak ada arus yang mengalir dalam belitan kerja. Namun demikian, karena ketidaksesuaian transformator arus, maka ada sedikit arus yang akan mengalir dalam belitan kerja relai.

Meskipun demikian, relay tetap tidak akan bekerja selama perbandingan antara arus kerja (operating current) terhadap arus penyanggah (*restraining current*), yang merupakan setting dari *percentage differential relay* tidak dilampaui.

Cara kerja relay differensial dengan belitan penyanggah dapat dijelaskan dengan meninjau dua keadaan yaitu :

- a. Keadaan gangguan yang lewat atau gangguan yang terjadi diluar zona proteksi.
- b. keadaan gangguan dalam zona proteksi.

Momen penyanggah yang diperlukan, naik secara otomatis sebanding dengan arus yang lewat dalam belitan penyanggah karena itu memungkinkan setting yang sensitif dengan tingkat stabilitas yang tinggi.

Sebagai contoh ketika terjadi gangguan tiga fasa terjadi pada sisi feeder diluar transformator daya, arus yang bersirkulasi dalam kawat-kawat pilot akan melalui belitan penyanggah secara keseluruhan. Suatu ketidakseimbangan arus ($I_1 - I_2$) yang terjadi disebabkan oleh perbedaan perbandingan transformator arus dan ketidakseimbangan arus akan mengalir dalam belitan kerja. Namun demikian dalam keadaan ini, momen penyanggah yang sebanding dengan $(I_1 + I_2)/2$, akan lebih dominan sehingga relai tidak bekerja.

C. Setting relay

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

- Generator Pada PLTU Untuk Unit 1 Dan Unit 11

$$\text{Daya Generator} = 16 \text{ MVA}$$

$$\text{Tegangan Generator} = 6,3 \text{ kV}$$

Maka arus rate generator,

$$I_n = \frac{(\quad)}{\sqrt{(\quad)}}$$

$$I_n = \frac{\cdot}{\sqrt{\quad}}$$

$$I_n = 1466,2 \text{ A}$$

Karena $I_n = 1466,2$ maka digunakan setelan CT = 1500/5 CT yang terpasang pada Unit Pembangkitan I PLTU Sektor Tello adalah CT = 1500/5.

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

$$I_r = I_n \times CT$$

$$I_r = 1466,2 \times \text{---}$$

$$= 4,88 \text{ A}$$

Tap Arus yang disetting pada Relay adalah 5 A

Arus ini adalah arus yang mengalir kedalam relay, karena toleransi pada relay differential adalah 10 % untuk generator maka ;

$$4,88 + (4,88 \times 10\%) = 5,368 \text{ A}$$

Dalam keadaan ini relay akan bekerja.

Jadi suatu setting relay sebesar 5 A adalah nilai yang cocok.

- Transformator Daya yang terdapat pada PLTU Sektor Tello Transformator daya ini mempunyai daya sebesar 16 MVA, tegangan Transformator 6,3/30 KV

$$\begin{aligned} I_n \text{ trafo pada sisi 6,3 KV} &= \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V} \\ &= 1466,2 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_n \text{ trafo pada sisi 30 KV} &= \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V} \\ &= 307,9 \text{ A} \end{aligned}$$

Dipilih ratio $CT_1 = 1500/5 \text{ A}$ dan $CT_2 = 400/5 \text{ A}$

CT_1 dan CT_2 yang terpasang pada Unit Pembangkitan I PLTU Sektor Tello adalah $CT_1 = 1500/5$ dan $CT_2 = 400/5$

$$\begin{aligned} \text{Arus } I_1 \text{ yang masuk ke relay} &= 1466,2 \cdot 5/1500 \\ &= 4,88 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Arus } I_2 \text{ yang masuk ke relay} &= 308 \cdot 5/400 \\ &= 3,85 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Selisih arus } I_1 \text{ dan } I_2 \text{ adalah} &= I_1 - I_2 \\ &= 4,88 - 3,85 \\ &= 1,03 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Arus rata-rata } I_1 \text{ dan } I_2 \text{ adalah} &= \frac{I_1 + I_2}{2} \\ &= \frac{4,88 + 3,85}{2} \\ &= 4,365 \text{ A} \end{aligned}$$

Toleransi pada relay differential untuk transformator daya pada Unit

Pembangkitan I PLTU Sektor Tello adalah 30%.Maka:

$4,365 + (4,365 \times 30 \%) = 5,650$ A Maka relay akan bekerja.

Jadi jika relay disetting pada 5 A adalah nilai yang cocok

BAB V

PENUTUP

Dari uraian-uraian diatas maka penulis dapat memberikan beberapa kesimpulan dan saran-saran:

A. Kesimpulan

1. Relay differential yang digunakan pada PT PLN UNIT PEMBANGKITAN 1 PLTU Sektor Tello adalah jenis Relay presentage differential, digunakannya relay jenis ini karena relay ini memiliki keandalan yang baik dalam mengatasi berbagai macam masalah pada generator dan Transformator daya.
2. Berdasarkan hasil evaluasi setting arus pada relay differential adalah 5A. Dan nilai ini sesuai dengan setting arus relay differential yang terpasang pada relay differential PLTU sektor Tello
3. Relay differential berfungsi untuk mendeteksi adanya ketidakseimbangan arus pada kedua sisi generator maupun trafo.

B. Saran-Saran

- a. Agar keandalan dari pada sistem proteksi dapat terpenuhi maka sistem proteksi pada PLTU Sektor Tello sebaiknya diperbaharui mengingat usia peralatan yang sudah cukup tua
- b. Perlunya ditingkatkan kualitas dari operator terutama dalam hal sistem proteksi.

DAFTAR PUSTAKA

- A. Rida Ismu W. dan Soepratman, 2017. "*instalasi Cahaya dan Tenaga I.*"
Departemen P & K Direktorat Pendidikan Menengah dan Kejuruan.
- Abdi bur 2016 "*Transmisi Tenaga Listrik*". Penerbit Universitas Indonesia
(UI_Pres), Jakarta.
- Eugene C. Lister.2016 "*Mesin dan Rangkaian Listrik*". Dialih bahasakan oleh
Ir.Drs. Hanapi Gunawan, Edisi Keenam, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Mason, C. Russel, 2015, "*The Art and Science Of Protective Relaying*", John
Wiley And Sons, inc., New York
- Sumanto, Drs: MA-,2016 "*Teori Transformator*" penerbit Andi Offset,
Yogyakarta.
- Ts. Mhd. Soeleman, 2013. "*Kumpulan Kuliah Mesin Serempak dan Tak
Serempak*". Elektronik ITB Bandung.
- William D. Stevenson Jr., 1990 "*Analisa Sistem Tenaga Listrik* " Dialih
bahasakan oleh Ir. Kamal Idris, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Warrington, A.R.C. Van, 1978, Vol. 2 and 3, "*Protective Relays*", Chapman and
Hall, London..
- Zuhal, 1988. "*Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*". Jakarta : PT.
Gramedia.

