

**STUDI SISTEM PROTEKSI GENERATOR
PADA PLTA BILI-BILI**



M. NAWIR NURA

IMRAN

105 82 092 07

105 82 095 07

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

2014

**STUDI SISTEM PROTEKSI GENERATOR
PADA PLTA BILI-BILI**

Skripsi

Diajukan sebagai salah satu syarat

Untuk memperoleh gelar sarjana

Program studi Teknik Listrik Jurusan Teknik Elektro

Fakultas Teknik



Disusun dan diajukan oleh

M. NAWIR NURA

105 82 092 07

IMRAN

105 82 095 07

PADA

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

MAKASSAR

2014



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
FAKULTAS TEKNIK

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

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

HALAMAN PERSETUJUAN

Tugas Akhir ini diajukan untuk memenuhi syarat - syarat ujian guna memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T) Perogram Studi Teknik Elektro Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik pada Universitas Muhammadiyah Makassar.

Judul Skripsi : Studi Sistem Proteksi Generator Pada PLTA Bili-Bili

Nama : 1. M. NAWIR NURA

2. IMRAN

NIM : 1. 10582 092 07

2. 10582 095 07

Makassar, Maret 2014

Telah Diperiksa dan Disetujui Oleh:

Dosen Pembimbing

Pembimbing I

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

Pembimbing II

Ir. Abdul Hafid, MT

Mengetahui :

Ketua Jurusan Teknik Elektro

Umar Katu, ST., MT

NIP. 990 410



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

FAKULTAS TEKNIK

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

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

PENGESAHAN

Skripsi atas nama M. Nawir Nura dengan nomor induk Mahasiswa 105 82 092 07 dan Imran dengan nomor induk Mahasiswa 105 82 095 07, saudara diterima dan disahkan oleh Panitia Ujian Tugas Akhir/Skripsi sesuai dengan Surat Keputusan Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar Nomor : 758/05/A.5-II/III/35/2014, 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 08 Maret 2014

Makassar, 03 Jumadil Akhir 1435 H
03 April 2014 M

Panitia Ujian :

1. Pengawas Umum

a. Rektor Universitas Muhammadiyah Makassar

Dr. Irwan Akib, M.Pd.

b. Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Dr. -Ing. Ir. Wahyu H. Piarah, MSME.

2. Penguji

a. Ketua : Dr. Ir. Zahir Zainuddin, M.Sc.

b. Sekertaris : A. Abd. Halik Lateko, ST., MT.

3. Anggota

1. Rizal A Duyo, ST., MT.

2. Suryani, ST., MT.

3. Umar Katu, ST., MT.

Mengetahui :

Pembimbing I

Pembimbing II

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

Ir. Abd. Hafid, MT.

Ketua Program Studi
Teknik Elektro

Umar Katu, ST., MT.
NBM : 990 410

ABSTRAK

M. Nawir Nura; Imran; 2014. Studi Sistem Proteksi Generator Pada PLTA Bili-Bili (di bimbing oleh Abdul Hafid, Zahir Zainuddin). Skripsi S1. Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.

Dalam meningkatkan penyediaan listrik kita harus tahu bagaimana cara menanggulangi gangguan pada suatu bagian sistem tenaga listrik termasuk gangguan-gangguan pada suatu pusat pembangkit dalam hal ini dibutuhkan sistem proteksi yang handal sehingga gangguan dapat di isolir dari sistem kelistrikan.

Dengan mengadakan sistem perlindungan yang biasa disebut sistem proteksi. Sistem proteksi merupakan sistem perlindungan atau pengamanan yang bertujuan untuk mencegah kerusakan pada peralatan sistem tenaga listrik. Akibat adanya gangguan pada suatu sistem tenaga listrik. Sistem proteksi ini sangat perlu agar pelayanan dari pusat pembangkit hingga konsumen dapat bekerja dengan semestinya.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb

Puji syukur kami panjatkan kepada Allah SWT yang telah memberikan Rahmat dan karunia Nya serta kelapangan waktu kepada penulis, sehingga penyusunan skripsi dengan judul “ Studi Sistem Proteksi Generator Pada PLTA Bili – Bili” dapat terselesaikan dengan baik sebagai persyaratan untuk menyelesaikan studi pada jurusan Elektro, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar, serta tak lupa salam dan shalawat kepada Nabiullah Muhammad SAW, sebagai tokoh revolusioner sejati serta kepada para sahabat, keluarga dan ummatnya yang tetap konsisten terhadap nilai- nilai kebenaran di atas muka bumi.

Penulis sangat menyadari bahwa semua kendala yang kami temui dalam melakukan Penyusuna **Tugas Akhir** dapat teratasi dengan adanya bantuan berupa tenaga, pemikiran maupun moril serta bimbingan dari berbagai pihak. Maka dari itu, dalam kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Hamzah Al Imraan, ST selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
2. Bapak Umar katu, S.T.,M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro
3. Adriani, S.T. M.T (Sekertaris Jurusan Elektro)
4. Dr. Ir. H. Zulfajri Basri Hasanuddin, M.Eng. Selaku Dosen Pembimbing I
5. Bapak Abd Hafid, S.T.,M.T., Selaku Dosen pembimbing II

6. Bapak dan Ibu Dosen Fakultas Teknik Unismuh Makassar yang telah membekali pengetahuan dan memberikan pengarahan kepada penulis dalam penyelesaian studi.
7. Kepada Kedua Orang Tua kami yang tiada henti-hentinya memberikan dorongan, nasehat, motivasi dan materi kepada kami.
8. Serta teman-teman yang tak bias kami sebutkan satu persatu.

Akhirnya, semoga Allah, Tuhan tempat bergantung seluruh Mahluk senantiasa memberi berkah kepada pihak yang telah membantu kami dalam penyelesaian Tugas akhir ini dan mudah-mudahan ada manfaatnya bagi pembaca utamanya bagi penulis sendiri.

Billahifisabilhaq fastabikulhaerat.

Wasalamualaikum Wr. Wb.

Makassar, Februari 2014

Penyusun



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
ABSTRAK	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	
DAFTAR TABEL	
DAFTAR SINGKATAN	
DAFTAR ISTILAH	
BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah.....	3
C. Tujuan.....	3
D. Manfaat.....	3
E. Batasan Masalah.....	3
F. Sistematika Penulisan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
A. Generator	5
B. Prinsip Kerja Generator.....	6
C. Proteksi Generator	8
1. Jenis Gangguan yang Terjadi pada Generator	9
2. Komponen Utama Sistem Proteksi	13
3. Karakteristik Umum Rele Proteksi.....	16
4. Karakteristik Fungsional Rele Proteksi.....	16

5. Prinsip Kerja Rele Proteksi	17
6. Rele Proteksi yang digunakan pada Generator	21
D. Proteksi Stator dan Rotor	30
1. Proteksi Stator	30
2. Proteksi Rotor	38

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat	45
B. Fokus Penelitian	45
C. Metode Penelitian	45
1. Wawancara	45
2. Observasi	45
3. Dokumentasi	46
D. Analisis Data	46

BAB IV HASIL PENELITIAN

A. Tinjauan Sistem Proteksi Generator Pada PLTA BILI – BILI	48
B. Perhitungan Arus Hubung Singkat Pada Generator	51
1. Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa	51
2. Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa Ke Tanah	52
3. Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa Ke Tanah	53
4. Hubungan Singkat Dua Fasa	56
C. Analisa Setting Rele Proteksi Generator PLTA BILI – BILI	57
1. Percentage Differential Relay	57
2. Over Current Relay	59
a. Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa	60
b. Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa	60
c. Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa Ke Tanah	61
d. Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa Ke Tanah	61

BAB V PENUTUP

A. Kesimpulan.....	63
B. Saran.....	64

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Konstruksi sederhana sebuah generator

Gambar 2.2. Konstruksi generator arus bolak balik

Gambar 2.3. Elemen pokok sistem tenaga

Gambar 2.4. Diagram satu garis yang menunjukkan dua saluran transmisi dan komponen proteksi untuk saluran transmisi (1-2)

Gambar 2.5. Prinsip overlap di sekitar pemutus daya

Gambar 2.6. Contoh pembagian daerah proteksi pada sistem tenaga

Gambar 2.7. Rele jenis plunger

Gambar 2.8. Rele jenis induksi

Gambar 2.9. Prinsip kerja rela differensial logitudinal

Gambar 2.10. Prinsip kerja rele differensial persentase

Gambar 2.11. Karakteristik operasi rele differensial persentase

Gambar 2.12. Penyajian grafis dari daerah pick-up dan blocking relay arus lebih waktu pada bidang kompleks. Penggambaran fasor arus dan operating coil rele pada diagram ini akan menunjukkan keadaan pick-up atau blocking. Waktu T_2 lebih awal dari T_1 .

Gambar 2.13. Kurfa karakteristik rele arus lebih berdasarkan waktu kerja

Gambar 2.14. Kurfa karakteristik rele arus lebih “waktu tunda”

Gambar 2.15. Pengaman diferensial untuk generator hubungan wye

Gambar 2.16. Pengaman diferensial untuk generator hubungan delta

Gambar 2.17. Pengaman pendukung rele dengan rele arus lebih

Gambar 2.18. Urutan kerja pengaman pendukung rele arus lebih untuk generator

Gambar 2.19. Pengaman sensitif gangguan ke tanah untuk belitan stator

Gambar 2.20. Proteksi terhadap hubung singkat antara lilitan stator

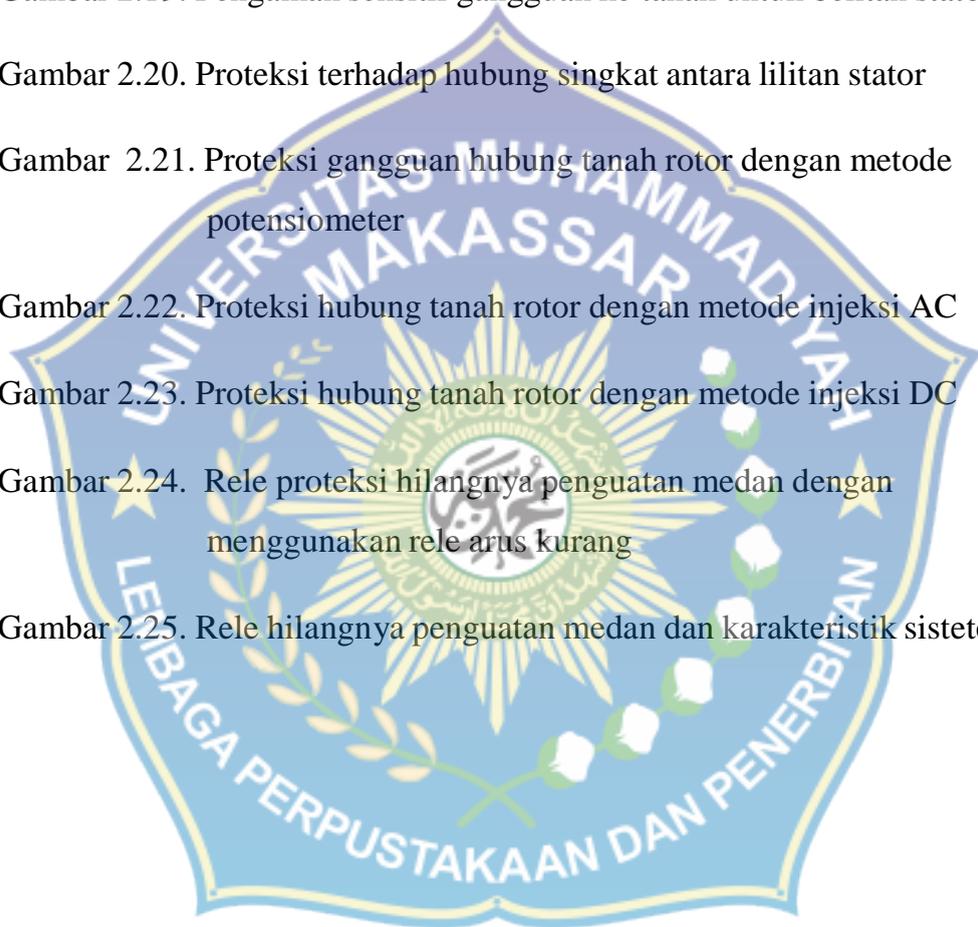
Gambar 2.21. Proteksi gangguan hubung tanah rotor dengan metode potensiometer

Gambar 2.22. Proteksi hubung tanah rotor dengan metode injeksi AC

Gambar 2.23. Proteksi hubung tanah rotor dengan metode injeksi DC

Gambar 2.24. Rele proteksi hilangnya penguatan medan dengan menggunakan rele arus kurang

Gambar 2.25. Rele hilangnya penguatan medan dan karakteristik sistem



DAFTAR TABEL

1. Data-data Generator PLTA Bili-Bili
2. Data-data Transformator Arus
3. Data-data Rele Proteksi pada PLTA Bili-Bili



DAFTAR SINGKATAN



S	Sensor / Detektor
R	Rele proteksi
CB	Circuit Breaker / Pemutus daya
CT	Transformator arus
G	Generator
P	Pemutus daya
T	Transformator
ST	Saluran transmisi
K	Konstanta
S	Kopel lawan mekanis
N_r	Jumlah lilitan restraining coil
N_o	Jumlah lilitan operating coil
I_1 dan I_2	Arus primer CT ₁ dan CT ₂
i_1 dan i_2	Arus sekunder CT ₁ dan CT ₂
ϕ	Fungsi yang menyatakan ketergantungan waktu pada tingkat arus gangguan.
t	Waktu
N	Jumlah lilitan
I_f	Arus gangguan
I_p	Nilai setelan

OC Operating Coil

RC Restaining Coil

GGL Gaya gerak listrik

Mmf Magnetomotif Force

AVR Pengatur tegangan otomatis



DAFTAR ISTILAH

Setting = Penyetelan

Slot = Alur

Cakram = Piringan

Motoring Of Generator = Generator bekerja sebagai motor

Double Frekuensi Current = Frekuensi ganda

Instantaneous = Tanpa perlambatan waktu

Energized = Di aktifkan

Overcurrent Relay = Rele arus lebih

Differential Relay = Rele diferensial

Distance Relay = Rele jarak

Voltage Relay = Rele tegangan

Directional Relay = Rele arah

Time Overcurrent Relay Directional = Rele arus lebih waktu

Instantaneous Overcurrent Relay = Rele arus lebih tanpa penundaan waktu

Time Delay Overcurrent Relay = Rele arus lebih dan penundaan waktu

Definite Time Delay Relay = Rele tunda waktu

Inverse Time Relay = rele waktu kebalikan

Reverse Power Relay = Rele daya balik

Over Speed Relay = Rele putar lebih

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Alam beserta isinya adalah nikmat yang sangat besar dan berharga oleh Tuhan kepada manusia dan juga sudah menjadi fitrah manusia untuk memakmurkan dan memanfaatkannya dengan sebaik-baiknya untuk memenuhi segala kebutuhan di muka bumi ini.

Seiring dengan perkembangan dan peningkatan taraf hidup masyarakat, maka kebutuhan tenaga listrik dengan sendirinya makin meningkat pula, dimana telah diketahui bersama bahwa pada tahun-tahun terakhir ini merupakan era industrialisasi. Kebutuhan tenaga listrik menjadi penting sehingga tidak dapat dipisahkan dari gerak pembangunan itu sendiri.

Kebutuhan dengan perkembangan dan peningkatan pemakaian tenaga listrik maka PLN selaku pemasok listrik nasional mengusahakan suatu Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) untuk memenuhi kebutuhan konsumen listrik yang semakin bertambah. Hal yang perlu diperhatikan selain meningkatkan penyediaan tenaga listrik adalah bagaimana menanggulangi gangguan pada suatu bagian sistem tenaga listrik termasuk gangguan pada pusat pembangkit, dalam hal ini dibutuhkan sistem proteksi yang handal sehingga gangguan dapat diisolir dari sistem kelistrikan.

Sistem proteksi yang dimaksud adalah sistem perlindungan atau pengamanan yang bertujuan untuk mencegah kerusakan pada peralatan sistem tenaga listrik akibat adanya gangguan pada PLTA BILI-BILI.

Generator adalah suatu mesin listrik yang mengubah energi mekanis menjadi energi listrik melalui medan magnet. Dalam pergerakan generator memerlukan penggerak mula berupa turbin dan eksitasi. Pembangkit yang digerakkan oleh air disebut Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA). Untuk operasi PLTA memerlukan alat proteksi untuk menjaga kontinuitas pembangkitan daya dan pelayanan ke pusat-pusat beban. Pada penelitian ini dipilih judul : **“STUDI SISTEM PROTEKSI GENERATOR PADA PLTA BILI-BILI”**.

Mengingat pentingnya fungsi dari generator, maka disini dicoba untuk membahas sistem proteksi generator pembangkit listrik tenaga air pada PLTA BILI-BILI. Untuk mengatasi keadaan abnormal yang terjadi diperlukan suatu sistem proteksi yang dapat mengamankan generator dari kerusakan akibat kondisi abnormal tersebut. Keadaan abnormal akibat gangguan pada salah satu bagian dari generator sedapat mungkin diperbaiki tanpa melepaskan generator dari sistem (jaringan) tetapi untuk keadaan tertentu yang secara cepat dapat menimbulkan kerusakan pada generator, maka generator tersebut harus dilepaskan dari sistem.

Pusat Listrik Tenaga Air pada PLTA BILI-BILI, merupakan bagian catu daya yang sangat penting bagi kelangsungan produksi listrik nasional khususnya Sulawesi Selatan maka proteksi perlu diadakan.

B. Rumusan Masalah

Melihat latar belakang dan batasan masalah yang dikemukakan, maka rumusan masalah yang diangkat dalam penulisan ini adalah “ Apakah sistem proteksi yang ada di PLTABILI-BILI dapat mengamankan generator dari gangguan hubung singkat “.

C. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini untuk memaksimalkan kerja sistem proteksi yang ada pada PLTA BILI-BILI dalam mengamankan Generator dari gangguan hubung singkat sehingga tidak menimbulkan kerusakan pada generator.

D. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dalam penelitian ini adalah untuk memahami tentang sistem proteksi pada generaor dan memberikan penjelasan tentang dampak yang terjadi jika generator tanpa di lengkapi dengan sistem proteksi.

E. Batasan Masalah

Untuk lebih memfokuskan pembahasan tugas akhir ini maka di batasi pada penyetelan / setting arus dan waktu rele serta koordinasi dari proteksi generator di PLTABILI-BILI.

F. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam penyusunan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

Bab I PENDAHULUAN

Membahas tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, metode penelitian dan sistematika penulisan.

Bab II TINJAUAN PUSTAKA

Merupakan bagian yang berisi materi-materi menyangkut pembahasan tugas akhir yang nantinya dapat menjadi landasan dalam penghitungan dan pembahasan masalah..

Bab III METODELOGI PENELITIAN

Merupakan bagian yang berisi tentang waktu dan tempat, focus penelitian, metode penelitian, analisis data.

Bab IV HASIL PENELITIAN

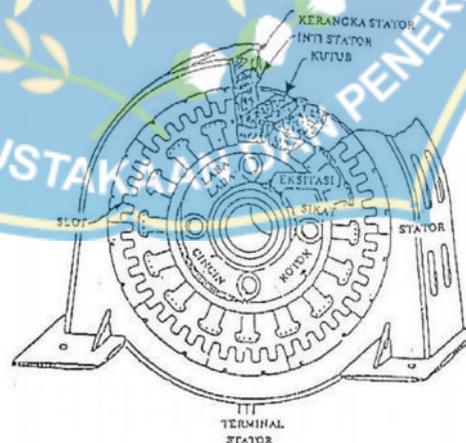


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Generator

Generator arus bolak balik yang juga disebut generator sinkron atau alternator, memberikan hubungan penting dalam proses yang lama dari perubahan energi dari batu bara, minyak, gas, serta uranium kedalam bentuk yang bermanfaat untuk digunakan dalam industri maupun rumah tangga. Generator adalah salah satu komponen tenaga listrik yang berfungsi sebagai alat yang mengubah tenaga mekanik menjadi tenaga listrik. Generator sebagai komponen yang penting dari sistem tenaga listrik perlu mendapat perlindungan dan pemeliharaan dalam pengoperasiannya, karena apabila generator mengalami gangguan sehingga tidak dapat berfungsi dengan baik maka kebutuhan tenaga listrik tidak akan terpenuhi dengan baik pula.



Gambar 2.1. Konstruksi sederhana sebuah generator

Dalam bentuknya yang sederhana sebuah generator listrik terdiri atas

magnet dan kumparan. Bilamana terdapat suatu gerakan relatif antara kedua komponen diatas, garis-garis gaya magnet memotong belitan-belitan kumparan dan suatu gaya gerak listrik (ggl) akan dibangkitkan. Sebuah generator listrik atau alternator modern terdiri atas sejumlah kumparan dari konduktor berisolasi yang diletakkan dalam alur / slot inti besi berlaminasi.

Menurut Kadir (1996) Secara umum terdapat dua tipe konstruksi, pada salah satu tipe sistem magnet berada dalam keadaan stasioner yaitu tidak bergerak sedangkan armature kumparan yang berputar di dalam medan magnet. Pada tipe kedua armatur kumparan yang tidak bergerak sedangkan magnet terpasang pada suatu roda yang bergerak mengelilingi kumparan. Kedua tipe mesin menghasilkan listrik arus searah dengan mempergunakan kontak-kontak berputar dan sikat, berupa komutator yang terpasang pada poros generator listrik.

B. Prinsip Kerja Generator

Generator sinkron adalah suatu mesin ac yang dapat mengubah energi mekanis menjadi energi listrik. Prinsip kerjanya berdasarkan hukum faraday tentang induksi elektromagnetik, yaitu bila suatu konduktor digerakkan dalam suatu medan magnet maka akan dibangkitkan gaya gerak listrik.

Konstruksi generator sinkron merupakan susunan ferromagnetic yang terdiri dari dua bagian utama yaitu:

1. Bagian diam disebut stator atau jangkar

Yakni bagian diam yang mengeluarkan tegangan bolak balik. Stator terdiri dari badan generator yang terbuat dari baja yang berfungsi melindungi bagian dalam generator, kotak terminal dan *name plate* pada generator. Inti stator yang terbuat dari bahan ferromagnetik yang berlapis-lapis dan terdapat alur-alur tempat meletakkan lilitan stator. Lilitan stator tempat untuk menghasilkan tegangan, mempunyai alur-alur yang memanjang dan didalamnya terdapat lilitan kumparan stator. Bagian-bagian dari stator antara lain : *rumah stator, inti stator, lilitan stator, alur stator, kontak hubung dan sikat.*

2. Bagian berputar disebut rotor

Yakni bagian bergerak yang menghasilkan medan magnet yang menginduksikan ke stator. Rotor berbentuk kutub sepatu (*salient*) atau kutub dengan celah udara sama rata (*rotor silender*) yaitu tempat melilitnya lilitan medan yang dicatu dengan arus dc. Bagian-bagian rotor antara lain : *kutub magnet, lilitan penguat magnet, cincin seret (slip ring), dan poros.*

Mmf (*magnetomotif force*) yang sangat tinggi dihasilkan oleh arus dalam lilitan medan yang menyatu dengan mmf (*magnetomotif force*) yang dihasilkan oleh arus dalam lilitan stator, sehingga fluks resultan pada celah udara antara stator dan rotor membangkitkan tegangan dalam kumparan stator dan menyebabkan terjadinya perubahan magnetik antara medan stator dan rotor.

$$e = N \frac{d\phi}{dt} \dots\dots\dots(2-1)$$

dimana :

e = tegangan induksi

N = jumlah lilitan

ϕ = harga fluks yang berubah-ubah terhadap waktu

t = waktu

Lilitan stator mengalirkan arus dari generator ke beban listrik atau sistem. Suatu generator sebagai sumber tegangan yang menyatu daya ke beban, besar frekuensinya ditentukan oleh kecepatan penggerak mulanya (primer mover) dan banyaknya kutub.



Gambar: 2.2. Konstruksi generator arus bolak-balik

C. Proteksi Generator

Suatu sistem tenaga listrik pada prinsipnya terdiri dari tiga bagian utama yaitu :pusat pembangkit tenaga listrik, saluran transmisi dan system distribusi.

Pada pusat pembangkit energi primer misalnya : minyak bumi, gas alam dan air dikonfersi ke energi listrik oleh generator. Tegangan energi listrik ini dinaikkan oleh transformator penaik tegangan untuk disalurkan melalui transmisi ke pusat beban. Di pusat beban, diturunkan kembali oleh transformator penurun tegangan kemudian disalurkan ke beban. Gambar sederhana sebuah sistem tenaga listrik diperlihatkan pada gambar (2.3).



Gambar : 2.3 Elemen Pokok Sistem Tenaga

Dalam pengoperasiannya sistem tenaga listrik, disamping kondisi operasi normal, terdapat kondisi lain yang tidak mungkin bisa ditiadakan sama sekali, yaitu kondisi operasi abnormal. Kondisi abnormal ini biasanya disebut gangguan.

Pada sistem tegangan listrik, proses menghilangkan gangguan hubungan singkat dari sistem dilakukan secara otomatis dengan cara tanpa campur tangan, yaitu melakukan elemen sistem tenaga terhadap gangguan yang terjadi dalam sistem agar tidak sampai mengalami kerusakan dan melokalisir gangguan agar tidak meluas didalam sistem.

1. Jenis Gangguan Yang Umum Terjadi Pada Generator

Generator merupakan komponen sistem tenaga listrik yang terpenting. Gangguan yang terjadi pada generator tidak sering terjadi pada saluran transmisi, tetapi kerusakan yang disebabkan oleh gangguan yang terjadi memerlukan waktu

yang lama dan memerlukan biaya yang lebih mahal untuk perbaikan kerusakan akibat gangguan pada saluran transmisi.

Gangguan-gangguan atau kondisi abnormal yang sering terjadi pada generator antara lain :

- a). Gangguan hubung singkat
- b). Hilangnya penguatan medan
- c). Terbebani lebih
- d). Kenaikan temperatur
- e). Putaran lebih
- f). Beroperasi dalam keadaan beban tidak seimbang.
- g). Arus lebih

Disamping gangguan-gangguan yang telah disebutkan di atas, generator juga dipengaruhi oleh kondisi hubungan singkat diluar generator. Beberapa kondisi di atas dapat diperbaiki dalam keadaan sistem beroperasi, oleh karena itu perlu ada tanda berupa alarm atau signal. Tetapi hubungan singkat pada umumnya harus segera dapat di bebaskan dari sistem.

a. Gangguan Hubungan Singkat

Arus hubungan singkat yang mengalir dalam belitan generator dapat menyebabkan perubahan tegangan. Menimbulkan pengaruh panas yang berlebihan dalam belitan generator, yang akan menyebabkan pemburukan dan penurunan kekuatan isolasi dan akhirnya sampai pada suatu keadaan yang dapat menyebabkan kegagalan isolasi antar lilitan sehingga dapat menyebabkan kerusakan yang lebih besar.

Beberapa kondisi hubungan singkat yang dapat terjadi pada generator yaitu :

- a. hubungan singkat antara fasa
- b. hubung singkat antar lilitan

- c. hubung singkat ke tanah pada belitan stator
- d. hubung singkat ke tanah pada belitan rotor
- e. hubung singkat antar lilitan rotor

b. Hilangnya Penguatan Medan

Hilangnya penguatan medan dapat disebabkan oleh pemutus rangkaian medan terbuka atau belitan rotor putus. Hal ini akan menyebabkan kopling magnetik antara stator dan rotor akan melemah, sehingga putaran rotor akan bertambah cepat yang dapat menyebabkan kehilangan keserempakan atau kehilangan sinkronisasi antara medan putar stator dengan rotor, ini menyebabkan generator akan bekerja sebagai generator induksi sehingga dapat terjadi :

1. Pengaliran daya reaktif dari sistem ke generator untuk keperluan penguatan yang dapat menimbulkan ketidak stabilan sistem.
2. Naiknya temperature rotor yang disebabkan karena pengaliran atau induksi yang besar, sehingga menyebabkan perubahan mekanis peralatan-peralatan pada rotor.
3. Penurunan tegangan terminal generator dengan cepat
4. Kenaikan temperature pada stator yang disebabkan kenaikan arus stator.

c. Pengaliran Daya Balik

Pengaliran daya balik pada generator dapat disebut sebagai kondisi “*motoring of generator*” (generator bekerja sebagai motor). Hal ini disebabkan oleh input penggerak mula berkurang sehingga rugi-rugi generator tidak tersuplai lagi, maka kekurangan tersebut diberikan oleh daya nyata yang diserap dari sistem (sistem juga mendapat suplai dari sistem lain), sehingga terjadilah pengaliran daya dari sistem ke generator, akibat adanya pengaliran daya balik pada generator, menimbulkan efek pada kecepatan putar dari penggerak mula (menjadi lambat).

d. Temperatur Lebih

Timbulnya panas yang lebih dalam stator pada umumnya disebabkan oleh beban lebih atau terjadinya hubungan singkat diluar atau di dalam generator, dapat pula di sebabkan oleh gangguan pada sistem pendingin.

e. Arus Lebih

Arus lebih dari belitan stator dapat menyebabkan kenaikan temperatur, dan kenaikan ini dapat menyebabkan berkurangnya kekuatan isolasi belitan stator. Arus lebih dalam belitan generator dapat di sebabkan oleh hubungan singkat yang berlangsung lama dalam sistem.

f. Terbebani Lebih

Bila generator di bebani lebih dari kapasitasnya maka akan menyebabkan arus bebannya bertambah.

g. Beroperasi Dalam Keadaan Beban Tidak Seimbang

Kondisi beban tidak seimbang dapat disebabkan karena adanya hubungan singkat dua fase ke tanah atau hilangnya salah satu fase ke tanah atau hilangnya salah satu fase. Kondisi-kondisi ini akan menimbulkan arus urutan negatif yang akan menginduksikan arus frekuensi ganda (*double frekuensi current*) pada rotor. Arus induksi ini bila berada cukup lama pada rotor akan menimbulkan kenaikan temperature pada bagian-bagian yang dilewatinya dan mengubah sifat mekanis dan sifat listrik.

h. Putaran Lebih

Bila suatu generator bekerja sendiri menanggung beban penuh tiba-tiba

melepas bebannya karena suatu gangguan atau bila generator yang sedang bekerja paralel terlepas dari sistem, maka akan terjadi putaran lebih yang dapat menyebabkan kenaikan frekuensi. Bila generator tidak dilengkapi dengan pengatur tegangan otomatis (AVR) maka putaran lebih dapat menaikkan tegangan generator. Kenaikan tegangan mendadak ini dapat menyebabkan isolasi belitan generator.

2. Komponen Utama Sistem Proteksi

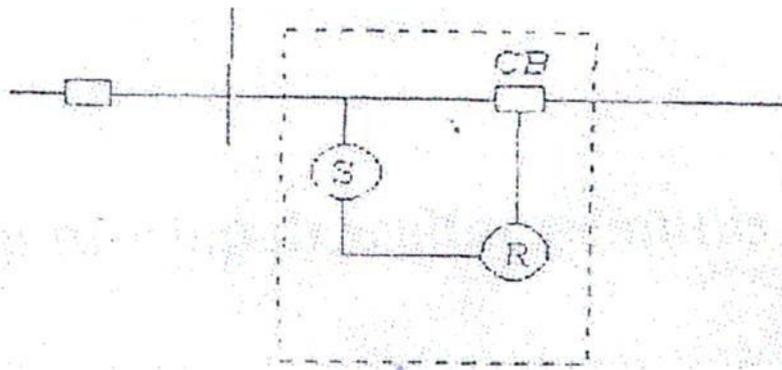
Pada prinsipnya suatu sistem proteksi terdiri atas tiga komponen sistem proteksi. Ketiga komponen system proteksi tersebut adalah :

- a) Detektor / Sensor
- b) Rele proteksi
- c) Pemutus daya

Dalam proses perlindungan sistem terhadap sebuah gangguan maka ketiga komponen tersebut harus bekerja dengan benar dan saling mendukung sesuai dengan fungsinya masing-masing. Untuk memperjelas kaitan antara ketiga komponen tersebut, hubungannya di berikan pada gambar (2.4).

Pada saluran transmisi di perhatikan sistem proteksi yang identik dikelilingi oleh garis putus-putus. Transformator arus / tegangan mentransformasikan besaran arus atau tegangan sistem menjadi besaran yang sesuai untuk rele. Rele proteksi mendeteksi besaran tersebut, apakah termasuk besaran gangguan atau normal. Selanjutnya, bila ternyata besaran tersebut merupakan besaran gangguan, maka rele akan mengirimkan informasi ke pemutus daya, untuk terbuka (trip).

Komponen-komponen di atas membentuk sistem proteksi untuk saluran transmisi.



Gambar 2.4. Diagram satu garis yang menunjukkan dua saluran transmisi dan komponen proteksi untuk saluran transmisi (1-2)

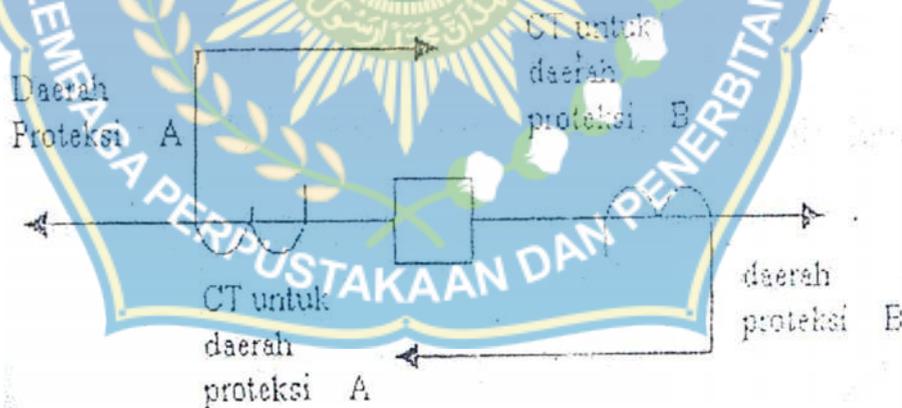
Keterangan :

S = Sensor / Detektor

R = Rele proteksi

CB = Pemutus daya

Daerah proteksi adalah bagian dari sistem tenaga yang di jaga oleh sistem proteksi , di mana pada umumnya daerah tersebut berisi satu atau maksimum dua elemen sistem tenaga.



Gambar 2.5. Prinsip overlap di sekitar pemutus daya

Prinsip penting dari pembagian daerah proteksi ini adalah keharusan adanya overlap (saling menutupi sebagian) antara dua daerah proteksi yang berdampingan. Overlap ini terjadi di sekitar pemutusan daya oleh masing-masing transformator oleh

arus pada daerah yang berdampingan tersebut. Hal ini dimaksudkan agar tidak sedikitpun bagian sistem yang di jaga oleh sistem proteksi. Agar lebih jelasnya bisa di lihat pada gambar (2.5) di atas.

Konsep daerah proteksi ini berhubungan erat dengan fungsi sistem proteksi seperti yang tersebut di bagian sebelumnya yakni meminimalisir gangguan sehingga tidak meluas dalam sistem. Dengan adanya pembagian daerah proteksi, maka setiap gangguan yang terjadi di dalam suatu daerah proteksi akan “ditangani” oleh sistem proteksi yang seharusnya “bertanggung jawab” (proteksi utama) pada daerah ini. Bilamana “penanganan” ini gagal maka di harapkan sistem proteksi pada daerah yang berdekatan (proteksi cadangan) akan menjadi penyanggah kegagalan ini. Satu contoh pembagian daerah proteksi pada sebuah bagian sistem tenaga di perlihatkan pada gambar (2.6).



Gambar 2.6. Contoh pembagian daerah proteksi pada sistem tenaga

Keterangan :

G = Generator

1 = Daerah proteksi generator

P	= Pemutus daya	2	= Daerah proteksi transformator
T	= Transformator	3	= Daerah proteksi sel
ST	= Saluran transmisi	4	= Daerah proteksi saluran transmisi

3. Karakteristik Umum Rele Proteksi

Rele proteksi adalah susunan peralatan yang di rencanakan untuk dapat merasakan atau mendeteksi adanya gangguan atau mulai merasakan adanya keadaan abnormal pada peralatan atau bagian sistem tenaga listrik dan segera secara otomatis membuka pemutus daya untuk memisahkan peralatan atau bagian dan memberi syarat berupa lampu dan alarm. Rele pengaman dapat merasakan atau melihat adanya gangguan pada peralatan yang di amankan dengan mengukur atau membandingkan besaran-besaran yang di terimanya, misalnya: *arus, tegangan, daya, sudut frasa, impedansi dan temperature* dengan besaran yang telah di tentukan, kemudian mengambil keputusan untuk seketika ataupun dengan perlambatan waktu membuka pemutus daya.

Pemutus daya umumnya di pasang di generator transformator daya, saluran transmisi, saluran distribusi supaya masing-masing bagian sistem dapat di pisahkan sedemikian rupa sehingga sistem lainnya tetap dapat beroperasi secara normal.

4. Karakteristik Fungsional Rele Proteksi

Agar dapat memenuhi fungsinya dengan baik, rele proteksi harus memenuhi kriteria-kriteria sebagai berikut :

1. Kecepatan (*speed*)

Sebuah rele proteksi harus mampu bereaksi secepat mungkin ketika “merasakan” adanya gangguan yang berada dalam daerah yang di jaganya.

2. Sensivitas (*sencitiviti*)

Sebuah rele harus peka sehingga dapat “merasakan” dan bereaksi untuk gangguan yang sekecil apapun selama diinginkan.

3. Selektivitas(*selectiviti*)

Sebuah rele proteksi harus selektif sehingga mampu “membedakan” kondisi dimana rele tersebut harus segera bereaksi, memperlambat reaksinya atau tidak bereaksi sama sekali.

4. Keandalan (*reabiliti*)

Sifat di mana pada saat rele proteksi di harapkan bereaksi dengan cepat, peka dan sensitive.

5. Prinsip Kerja Rele Proteksi

Rele proteksi pada dasarnya terdiri dari 3 (tiga) elemen yaitu :

- 1) Elemen penggerak
- 2) Elemen-elemen yang dapat di gerakkan
- 3) Seperangkat kontak-kontak

Rele proteksi juga dapat di klarifikasikan dalam 3 (tiga) jenis yaitu :

- 1) Menurut waktu kerja
- 2) Menurut cara kerja atau detail mekanis
- 3) Menurut aplikasinya (besaran perangkat)

1) Menurut Waktu Kerja

Waktu kerja di artikan sebagai lamanya waktu yang di butuhkan mulai dari saat elemen penggerak di aktifkan (*energized*) sampai pada saat kontak-kontak rele menutup. Waktu kerja dapat merupakan salah satu dari yang tersebut di bawah ini.

❖ Sesaat / segera (*Instantaneous*)

Dalam hal ini kontak-kontak rele tertutup dengan segera setelah besaran penggerakannya melebihi nilai yang di tentukan.

❖ Waktu *tunda* (*definite time delay*)

Dalam hal ini ada interval waktu tertentu antara saat besaran penggerak dalam kumparan penggerakannya melebihi nilai yang sudah di tentukan dan saat kontak-kontak rele bekerja. Waktu kerja tersebut tidak bergantung pada jumlah besaran penggerak, tetapi sama untuk semua nilai besaran penggerak yang lebih besar dari nilai yang telah di tentukan (*setting*).

❖ Waktu kebalikan (*Inverse time*)

Dalam hal ini penundaan waktu berbanding terbalik dengan besarnya besaran penggerak. Makin besar besaran penggerak maka penundaan waktu kerja makin kecil.

2) Detail Mekanik atau Prinsip Kerja

Jenis rele yang paling penting dapat di bagi berdasarkan detail mekanis atau prinsip kerjanya .

a. Jenis Plunger

Jenis ini mempunyai kumparan berbentuk silinder yang dilengkapi dengan rangkaian magnetis liar dan sebuah “plunger” di tengah kumparan silinder tersebut. Bila arus atau tegangan yang di kenakan pada kumparan melebihi suatu harga tertentu (*pick-up value*) maka plunger ditengahnya akan bergerak ke atas dan menghubungkan kedua kontak yang diam. Gaya F yang di butuhkan untuk menggerakkan plunger adalah sebanding dengan kuadrat arus yang mengalir melaluikumparam. Karakteristik kerja dari plunger sangat tergantung dari bentuk

plunger, inti kumparan, struktur magnetis, desain kumparan dan shunt-shunt magnetis yang di pakai. Plunger bekerja secara instantenous (tanpa perlambatan waktu). Waktu kerjanya berkisar 5 sampai 10 mili/detik, dimana waktu kerja yang lebih lama terjadi disekitar nilai ambang (*threshold value*) dari pick-up value. Unit rele yang di perlihatkan pada gambar (2.7) di gunakan sebagai unit overcurrent intantenous dengan harga dop-out (penutupan kembali kontak normally open).



Gambar 2.7. Rele Jenis Plunger

Bila kumparan energized plunger yang di lengkapi dengan suatu piringan perak akan bergerak keatas dan piringan ini akan menutup tiga buah kontak diam. Sebuah pegas ulir akan menyerap getaran ac dari plunger sehingga kontak dapat menutup dengan baik.

b. Jenis Induksi

Banyak jenis rele yang di rancang dengan prinsip motor induksi tiga fasa. Torsi yang menggerakkan rele jenis induksi ini di peroleh dari interaksi fluksi suatu elektromagnetik dengan fluksi dari arus yang terinduksi pada suatu cakram (piringan). Pada gambar (2.8) terlihat tiga buah kutub pada suatu sisi dari cakram dan sebuah magnet pada sisi lainnya yang bereaksi terhadap ketiga kutub tadi secara bersamaan, magnetik tersebut dinamakan “keeper”. Kumparan utama terdapat pada

kaki kutub yang di tengah. Arus I dalam kumparan utama menghasilkan fluksi (Φ), yang melewati celah udara dan piringan keeper. Fluksi Φ kembali sebagai fluksi Φ_1 melalui kaki sebelah kiri dan sebagian Φ_2 melalui kaki sebelah kanan, dimana $\Phi = \Phi_1 + \Phi_2$ sebuah kumparan pada kaki kiri yang di hubung singkat menyebabkan Φ_1 tertinggal. Dengan demikian timbullah efek motor split phase, yang prinsipnya sama dengan motor induksi satu fasa. Fluksi Φ mengikuti tegangan V_3 dan menyebabkan adanya arus I_3 yang sefasa mengalir dalam kumparan tadi. Fluksi Φ_1 adalah fluksi total yang dihasilkan oleh arus kumparan utama I. ketika fluksi melalui celah udara piringan dan menginduksikan arus kisar pada piringan. Arus- arus kisar menimbulkan fluksi-fluksi lawan dan interaksi dari kedua set fluksi tersebut menimbulkan torsi (tenaga berputar) yang memutar.



Gambar 2.8. Rele jenis Induksi

3) Menurut Aplikasi Rele

Aplikasi dari rele yang terpenting dapat di klasifikasikan sebagai berikut :

- a) rele arus lebih (*overcurrent relay*)
- b) rele diferensial (*differential relay*)
- c) rele jarak (*distance relay*)

- d) rele tegangan (*voltage relay*)
- e) rele arah (*directional relay*)

6. Rele Proteksi Yang Digunakan Pada Generator

Gangguan yang terjadi pada generator harus cepat di hindarkan sebelum menimbulkan kerusakan pada generator dan menyebabkan sistem menjadi tidak stabil. Untuk dapat memperbaiki kondisi gangguan, maka perlu diketahui jenis-jenis gangguan yang mungkin terjadi pada generator sehingga dapat ditemukan jenis rele proteksi yang digunakan untuk mengamankan generator tersebut.

Rele-rele proteksi yang di gunakan pada generator :

- a. *Rele Diferensial*
- b. *Rele daya balik*
- c. *Rele tegangan*
- d. *Rele arus lebih*
- e. *Rele suhu*

a) *Rele Deferensial (Differential Relay)*

Rele deferensial adalah rele yang bekerja bilamana dua atau lebih besaran listrik yang sejenis mempunyai selisih vector yang lebih besar dari nilai tertentu (setting). Beberapa hal yang perlu diperhatikan pada penggunaan rele deferensial adalah :

- ❖ Relimitransformator ($\neq 0$) harus sedemikian sehingga pada kondisi normal tidak ada arus ($I = 0$) yang mengalir pada operating coil.
- ❖ Perbandingan transformasi dari transformator arus.
- ❖ Penempatan rele dan pemilihan penghantar yang sesuai sehingga tidak akan terjadi kondisi dimana salah satu transformator arus menjadi jenuh untuk arus gangguan yang besar.

Relediferensial secara umum dikenal ada dua macam yaitu :

- 1) Relediferensial longitudinal (*longitudinal differential relay*)
- 2) Relediferensial persentase (*persentase differential relay*)

1. Longitudinal Differential Relay

Prinsip kerja dari diferensial longitudinal digambarkan pada (2.9) dengan mengasumsi bahwa CT_1 dan CT_2 merupakan dua transformator dengan perbandingan yang sesuai, maka untuk kondisi-kondisi berikut :

1) *Kondisi Normal*

I_1 dan I_2 di transformasikan oleh CT_1 dan CT_2 menjadi i_1 dan i_2 dengan harga yang secara teoritis sama, sehingga berdasarkan gambar (2.9) diperoleh persamaan $I = i_1 - i_2 = 0$. Hal ini berarti lebih kecil dari harga I_1 sehingga rele menahan (blocking) atau tidak bekerja.

2) *Kondisi gangguan F1*

Seperti pada kondisi normal, I_1 dan I_2 ditransformasikan menjadi i_1 dan i_2 yang juga secara teoritis sama. Dari gambar (2.11) diperoleh

$$I = i_1 - i_2 = 0 \dots\dots\dots(2-2) \text{ dan}$$

Karena I sama dengan nol, maka rele tetap menahan (blocking).

3) *Kondisi gangguan F2*

Arus gangguan I_1 ditransformasikan menjadi i_1 yang merupakan nilai sekunder arus gangguan. Sedangkan I_2 yang sama dengan nol (sumber sebelah kiri) akan menyebabkan i_2 juga menjadi nol. Selanjutnya dari gambar (2.9) diperoleh persamaan :

$$I = i_1 - i_2 = i_1 - 0 = i_1 \dots\dots\dots(2-3)$$

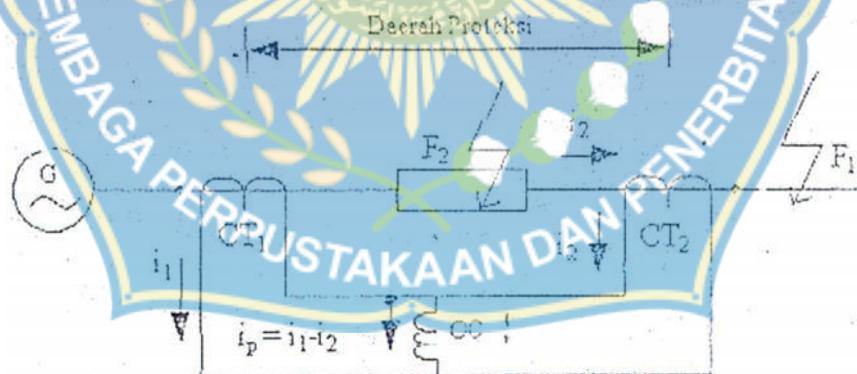
Dimana, i_1 merupakan nilai sekunder arus gangguan yang nilainya jauh lebih besar dari i_2 , sehingga rele akan pich-up.

Namun, beberapa masalah praktis yang sering mempengaruhi keandalan system proteksi ini yaitu :

- a) memperoleh Sulitnya transformator arus yang benar-benar identik.
- b) Pada umumnya peletakan transformator arus dan unit relediferensial sedemikian rupa sehingga biasanya beban (burden) dari transformator arus yang digunakan menjadi berbeda.

Masalah-masalah tersebut diatas mengharuskan kita memasang nilai setelan (i_2) untuk rele ini lebih besar dari hasil jumlah vector arus (i) pada kondisi normal. Termasuk kedalam hal ini, kondisi bilamana terjadi through fault curreernt (arus gangguan yang besar tetapi berlokasi diluar daerah proteksi).

Penentuan nilai setelan dengan cara seperti ini, pada akhirnya akan berarti mengurangi sensivitas rele, hal ini menjadi kelemahan dari rele diferensial longitudinal.



Gambar 2.9. Prinsip Kerja Rele Diferensial Longitudinal

Keterangan :

CT_1 dan CT_2 = Transformator arus 1 dan 2

I_1 dan I_2 = Arus primer CT_1 dan CT_2

i_1 dan i_2 = Arus sekunder CT_1 dan CT_2

2. Persentase Differential Relay

Prinsip kerja rele diferensial persentase diperlihatkan pada gambar (2.10)

persamaan kopel pada relediferensial persentase adalah :

- Kopel Operasi

$$T_o = K (i_1 - i_2) N_o \dots\dots\dots(2-4)$$

- Kopel Lawan

$$T_l = K \left(\frac{i_1 + i_2}{2} \right) N_r + S \dots\dots\dots(2-5)$$

Dimana :

- K = Konstanta
- S = Kopel lawan mekanis
- i_1, i_2 = Arus sekunder CT₁ dan CT₂
- N_r = Jumlah lilitan restraining coil
- N_o = Jumlah lilitan operatin coil

Persamaan kopel untuk rele diferensial persentase, dengan mengabaikan kopel lawan mekanis (S) dalam kondisi seimbang (tepat akan pick-up) adalah :



Gambar 2.10. Prinsip Kerja Rele Diferensial Persentase

Keterangan :

- CT₁ dan Ct₂= Transformator arus 1 dan 2
- I₁ dan I₂ = Arus primer CT₁ dan Ct₂

i_1 dan i_2 = Arus sekunder CT₁ dan CT₂

$$K (I_1 - I_2) N_o = K \left(\frac{i_1 + i_2}{2} \right) N_r \dots\dots\dots(2-6)$$

$$\frac{N_r}{N_o} = \frac{i_1 - i_2}{\frac{i_1 + i_2}{2}} \dots\dots\dots (2-7)$$

$$\frac{N_r}{N_o} = K_o \dots\dots\dots(2-8)$$

$$(i_1 - i_2) = K_o \left(\frac{i_1 + i_2}{2} \right) \dots\dots\dots(2-9)$$

Selanjutnya, dari persamaan (2-9) diperoleh karakteristik operasi seperti pada gambar (2.11).



Gambar 2.11. Karakteristik Operasi Rele Diferensial Persentase

Dengan mengasumsikan bahwa CT₁ dan CT₂ merupakan dua transformator arus dengan perbandingan transformasi dan kapasitas yang sesuai, maka untuk kondisi-kondisi berikut :

1) *Kondisi Normal*

Arus i_1 dan i_2 ditransformasikan oleh CT₁ dan CT₂ menjadi i_1 dan i_2 dengan harga yang secara teoritis sama. Akibatnya, kopel operasi berharga nol (persamaan 2-4), sedangkan kopel lawan (persamaan 2-5) berharga besar, sehingga rele menahan (Blocking).

2) Kondisi Gangguan F_1

Arus i_1 dan i_2 di transformasikan oleh CT_1 dan CT_2 menghasilkan arus i_1 dan i_2 yang juga secara teoritis sama akibatnya, kopel operasi (persamaan 2-4) yang dihasilkan sama dengan nol sedangkan kopel lawan (persamaan 2-5) berharga besar, sehingga rele tetap menahan (Blocking).

3) Kondisi Gangguan F_2

Arus i_1 (arus gangguan) sangat besar yang akan menghasilkan i_1 yang besar pula, sedangkan i_2 sama dengan nol (sumber berada dikiri) yang berarti i_2 juga sama dengan nol selanjutnya menurut persamaan (2-4 dan 2-5), kopel operasi akan lebih besar dari lawan sehingga rele akan pick-up.

Untuk mengatasi masalah magnetizing inrush current, digunakan metode harmonic current restraint percentage differential relay. Prinsip kerjanya adalah memanfaatkan munculnya komponen harmonis disamping harmonis dasar pada saat terjadi magnetizing inrush current, dimana pada kondisi hubung singkat hampir tidak ada (dapat diabaikan).

b) Rele Arus Lebih (Overcurrent Relay).

Rele arus lebih merupakan rele yang paling awal dan sederhana. Rele ini dapat digunakan memproteksi saluran dari gangguan hubung singkat antar fasa dengan tanah, baik sebagai proteksi utama maupun sebagai proteksi cadangan.

1. Prinsip Kerja Rele Arus Lebih

Rele arus lebih adalah rele yang bereaksi terhadap besarnya arus masukan dan akan pick-up jika lebih besar nilai setelan. Secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut :

$$|I_f| > |I_p| \dots \dots \dots (2-10)$$

Dari persamaan (2-10), terlihat bahwa semua arus gangguan $|I_f|$ yang berada di dalam daerah proteksi rele akan lebih besar dari harga arus pick-up $|I_p|$ dan akan menyebabkan rele pick-up. Secara garis besar prinsip kerja dari rele arus lebih dapat di lihat pada diagram fasa (gambar 2.12). Besar arus $|I_p|$ di sebut sebagai nilai pick-up dari rele.

Fasor arus gangguan I_f di gambarkan dalam bidang kompleks (gambar 2-12) dengan fasor sembarang yang dianggap sebagai pedoman. Suatu lingkaran yang digambar dengan titik asal sebagai pusat dan besarnya nilai pick-up sebagai jari-jarinya akan membagi bidang fisor kompleks ke dalam dua daerah, yaitu daerah di mana rele akan pick-up, dan daerah di mana rele akan blocking. Setiap arus gangguan di dalam daerah proteksi rele akan di wakili oleh fasor yang terletak di luar lingkaran yang berjari-jari $|I_p|$ dan akan menyebabkan rele pick-up, demikian juga secara normal akan di wakili oleh fasor yang terletak didalam lingkaran tersebut, dan akan menyebabkan rele blocking.



Gambar 2.12. Penyajian grafis dari daerah pick-up dan blocking relay arus lebih

waktu pada bidang kompleks. Penggambaran fasor arus dan operating coil rele pada diagram ini akan menunjukkan keadaan pick-up atau blocking. Waktu T_2 lebih awal dari T_1 .

Gambaran di atas merupakan gambaran sederhana dari prinsip kerja rele arus lebih. Beberapa modifikasi selanjutnya pada rele arus lebih, antara lain dengan menambahkan parameter lain yang dapat berupa waktu dan arah.

Parameter-parameter waktu pada rele arus lebih akan menghasilkan rele arus lebih waktu (*time overcurrent relay*) dan penambahan parameter akan menghasilkan rele arus lebih terarah (*directional overcurrent relay*). Hal ini dilakukan sejalan dengan perkembangan sistem yang mengarah ke kondisi semakin meningkatnya besar daya pembangkitan dan perubahan konfigurasi sistem.

Ketertangungan waktu pada arus gangguan untuk rele arus lebih waktu, dapat dilihat pada gambar (2.12). Fungsi ketertangungan waktu dapat dituliskan persamaannya sebagai berikut :

$$T = (|I_f| - |I_p|) \Phi$$

dimana :

T = Waktu kerja

Φ = Fungsi yang menyatakan ketertangungan waktu pada tingkat arus gangguan

I_f = Arus gangguan

I_p = Nilai setelan

Ketertangungan waktu pada arus gangguan dilukiskan oleh lingkaran yang ditandai dengan T_1 dan T_2 pada diagram fasor tersebut. Panjang sebuah fasor arus gangguan yang jatuh pada garis waktu T_1 berarti akan menyebabkan rele pick-

up dengan waktu kerja T_1 . Demikian juga bila fasor arus gangguan jatuh pada garis waktu T_2 berarti pick-up adalah T_2 , di mana waktu T_2 lebih kecil dari T_1 .

2. Jenis dan karakteristik rele arus lebih

a. Instantaneous overcurrent Relay (*Rele arus lebih tanpa penundaan waktu*)

Rele arus lebih jenis ini bekerja tanpa waktu tunda, waktu operasinya sekitar 0,1 detik.

b. Time delay overcurrent Relay (*Rele arus lebih dengan penundaan waktu*).

Rele ini terdiri atas :

1. Definite time delay relay (*Rele tunda waktu tertentu*)

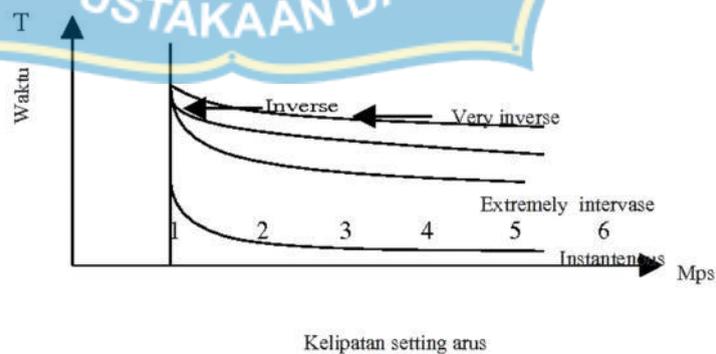
Rele ini mempunyai “ waktu tunda “ tertentu. Tanpa dipengaruhi oleh besarnya nilai dari besaran penggerak rele tersebut.

2. Inverse time Relay (*Rele waktu kebalikan*)

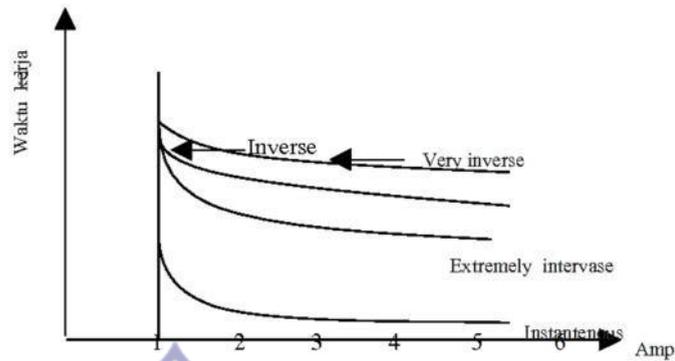
Pada rele ini, waktu operasi berbanding terbalik dengan nilai besaran penggerak.

Berdasarkan kecuraman karakteristiknya secara garis besar dibagi atas:

- ❖ Inverse Time ORC
- ❖ Very inverse Time ORC
- ❖ Extremely inverse ORC



Gambar 2.13. Kurva Karakteristik Rele Arus Lebih Berdasarkan Waktu Kerja



Kelipatan setting arus
Keterangan : (a) Define Time, (b) IDMT, (c) Very Invers, (d) Extremely

Gambar 2.14. Kurva karakteristik rele arus lebih “waktu tunda” (time relay overcurrent relay dan inverse time overcurrent relay).

D. Proteksi Stator dan Rotor

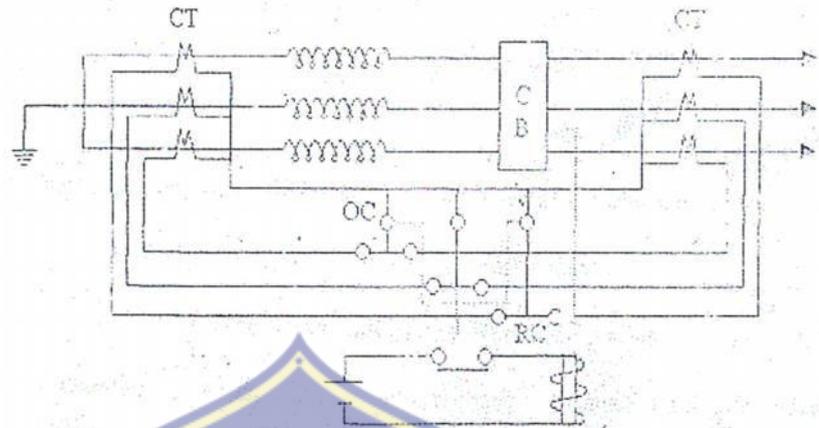
1. Proteksi Stator

A. Proteksi Belitan Satator dari Gangguan Antara Fasa dan Gangguan Fasa Ketanah.

Pengamanan diferensial adalah pengaman yang memberikan respon terhadap perbedaan vector antara dua atau lebih besaran listrik yang sejenis.

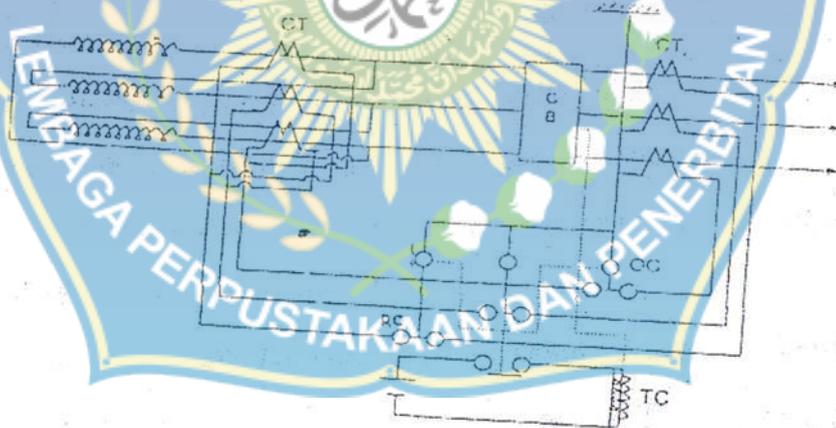
Dalam proteksi generator, transformator diberikan pada masing-masing ujung belitan jangkar generator. Bila tidak terjadi gangguan dalam belitan dan untuk gangguan luar, arus dalam kawat-kawat pilot yang disupply dari sekunder trafo arus adalah sama. Dengan kata lain

$$I_1 - I_2 = 0$$



Gambar 2.15. Pengamanan Diferensial Untuk Hubungan Generator Hubungan Wye

Pada waktu terjadi gangguan dalam belitan yang diproteksi keseimbangan arus akan terganggu dan perbedaan arus ($I_1 - I_2$) melalui kumparan rele bekerja, sehingga pemutus daya (CB) generator membuka (trip). Medannya diputuskan dan dibuang melalui impedansi yang cukup.



Gambar 2.16. Pengamanan Diferensial untuk Generator Hubungan

Delta

Keterangan :

CT = Trafo Arus ; CB = Circuit Braker

OC = Operating Coil ; RC = Restraining Coil

Gambar 2.15 dan 2.16 memperlihatkan pengaman diferensial yang digunakan untuk proteksi generator hubungan wye dengan delta. Rele diferensial memberikan pengamanan yang cepat terhadap belitan stator untuk gangguan antar fasa dan gangguan phasa ke tanah. Bila netral generator tidak ditanahkan atau ditanahkan melalui impedansi yang tinggi maka harus diberikan tambahan rele pengamanan gangguan tanah yang sensitif.

Hal-hal yang diinginkan dari suatu pengamanan diferensial adalah :

- ❖ Operasi kecepatan tinggi (15 ms) untuk rele statis
- ❖ Setting rendah
- ❖ Stabilisasi penuh terhadap gangguan luar

Pengaman diferensial yang hanya memproteksi generator diatur untuk membela CB. Bila titik netral generator ditanahkan melalui impedansi, tambahan pengamanan ke tanah yang terpisah diperlukan sebagai tambahan bagi pengamanan diferensial. Pengaman diferensial memberikan pengamanan terhadap gangguan ke tanah sekitar 85% belitan generator.

B. Proteksi Arus Lebih Dan Gangguan Ke Tanah Sebagai Proteksi Back Up Generator.

Untuk generator di atas 1 MW, dimana pengamatan utamanya diberikan oleh pengamanan diferensial, pengamanan arus lebih dan pengamanan gangguan ke tanah digunakan sebagai pengamanan pendukung. (*Back Up*) terhadap gangguan antara phasa ke phasa dan phasa tanah.

Invers Definite Minimum Relay tipe induksi dapat di gunakan untuk pengamanan pendukung generator terhadap gangguan luar. Karena gangguan dalam

belitan stator disuplai oleh belitan stator itu sendiri, pengaruh terhadap arus pada terminal keluaran generator tergantung pada level gangguan pada bus utama.

Karena rele arus lebih dan rele gangguan tanah tidak memberikan pengamanan yang memuaskan terhadap gangguan dalam. Tetapi rele arus lebih dan rele gangguan tanah memberikan pengamanan pendukung terhadap gangguan luar misalnya gangguan pada zona bus atau zona transmisi yang dekat.



Gambar 2.17. Pengaman pendukung rele dengan rele arus lebih

Gambar 2.18. Urutan kerja pengaman pendukung rele arus lebih untuk generator

Keterangan :

1. Pengaman saluran
2. Pengaman bus dan
3. Pengaman pendukung generator (arus lebih dan gangguan tengah)

Pemilihan setting sedemikian rupa sehingga pengamanan arus lebih dan gangguan tanah pada generator tidak bekerja untuk gangguan seperti dititik F. Bila gangguan di F berlangsung dalam waktu yang lama akibat kegagalan saluran (1),

maka gangguan akan disuplai oleh generator. Oleh karena itu pengamanan arus lebih dan gangguan ke tanah (3) dapat di set untuk bekerja dengan penundaan waktu untuk arus gangguan luar. Karena itu setting waktu yang tinggi di atas, waktu minimum tertentu, dari tipe induksi jenis inverse overcurrent dianjurkan sebagai pengamanan pendukung generator.

C. Pengamanan Sensitif Gangguan Stator ke Tanah

Bila netral generator di tanahkan melalui impedansi yang tinggi, pengamanan diferensial tidak dapat melindungi 100% belitan stator terhadap gangguan ketanah. Karena itu diperlukan pengamanan gangguan ke tanah yang sensitive secara terpisah. Cara pengamanan yang sensitive terhadap gangguan ke tanah tergantung pada hubungan netral generator.



Gambar 2.19. Pengamanan Sensitif gangguan ke tanah untuk belitan stator

Dua metode alternatif di gunakan untuk hubungan netral :

1. Netral dihubungkan melalui resistor untuk menurunkan arus gangguan ke tanah jauh lebih kecil dari arus beban penuh. Cara ini lebih di sukai untuk unit-unit yang besar (gambar 2.19a).

2. Netral di tanah melalui transformator tegangan. Arus ke tanah dibatasi setingkat arus magnetisasi dari transformator tegangan ditambah arus urutan nol dari generator (gambar 2.19b).

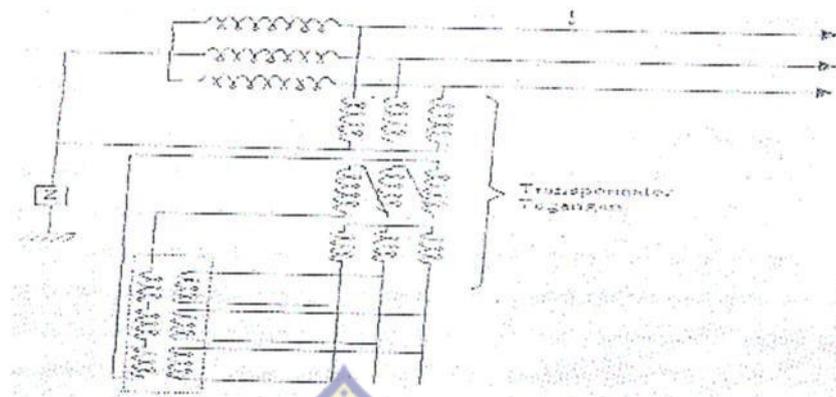
Dengan pertanahan melalui resistansi (gambar 2.19a) dua rele tanah dapat diberikan pada sekunder trafo arus. Rele EF_1 di set pada 10% dengan tipe instantaneous. Rele EF_2 dengan tipe IMDT di set 5% (rele ini pick-up apabila arus gangguan tanah sebesar 5% arus beban penuh generator). Berdasarkan sensitivitas, rele EF_1 akan memproteksi sekitar 90% belitan dan EF_2 sekitar 95%. Untuk setting sensitif yang demikian perlu untuk memberikan penundaan waktu.

Bila netral generator di tanahkan melalui transformator tegangan (gambar 2.19) tegangan nominal primer dari trafo tegangan umumnya sama dengan tegangan fasa ke netral dari generator. Rele gangguan tanah EF di hubungkan ke sekunder trafo tegangan dengan setting 10% tegangan nominal sekunder. Pada waktu tegangan antara netral dengan tanah mencapai 10% tegangan fasa ke netral dari generator, maka rele gangguan tanah ini akan bekerja.

D. Proteksi Terhadap Gangguan Antara Lilitan Stator

Terjadinya gangguan hubungan singkat antara lilitan dalam stator merupakan hal yang jarang terjadi. Salah satu metode dalam mendeteksi gangguan antara lilitan dalam stator adalah dengan menggunakan transformator tegangan. Gangguan antar lilitan di deteksi dengan mengukur tegangan residu pada terminal-terminal generator. Tegangan ini akan timbul pada belitan tersier yang di hubungkan ke belitan kerja dari rele terarah.

Dalam keadaan normal tegangan residu sama dengan nol atau :



Gambar 2.20. Proteksi terhadap hubung singkat antara lilitan stator

Keseimbangan ini akan terganggu selama gangguan antar lilitan stator dan tegangan residua tau di suplai ke kumparan. Untuk generator dengan belitan tunggal per phasa, metode pendeteksi tegangan residu di gunakan untuk pengamanan gangguan hubung singkat antar lilitan.

E. Proteksi Terhadap Pengaliran Daya Balik

Untuk proteksi pengaliran daya balik pada generator dapat di gunakan rele proteksi daya balik (reverse power relay). Pengaliran daya balik pada generator di sebabkan oleh input penggerak mula yang kurang. Bila input tidak bisa mengatasi rugi-rugi, kekurangannya akan di berikan oleh daya nyata yang di serap oleh system. Dengan demikian generator bertindak sebagai motor.

Reverse power relay (rele daya balik) adalah suatu jenis rele yang khusus mendeteksi gangguan yang lain dari gangguan hubung singkat. Rele ini jenis directional unit (unit terarah) atau dengan kata lain hanya mendeteksi aliran daya ke arah tertentu. Rele daya balik dapat di gunakan untuk system satu fasa ataupun tiga fasa, yang mana besaran penggerakannya adalah arus dan tegangan. Jika arus berlawanan dengan arah setting maka torsi yang di timbulkan adalah negatif, berarti rele tidak bekerja, dalam hal ini rele akan pick-up untuk pengaliran daya dalam satu

arah, akan rest untuk pengaliran daya yang berlawanan dengan arah setting.

F. Proteksi Tegangan Lebih

Proteksi tegangan lebih untuk menghindari kerusakan yang di sebabkan oleh tegangan lebih. Proteksi ini terutama di gunakan untuk memproteksi :

- ❖ Belitan dari mesin listrik dan sirkuit arus yang lainnya akibatnya bahaya tegangan tinggi
- ❖ Laminasi besi dari mesin listrik akibat pemanasan yang berlebihan yang di sebabkan oleh rugi-rugi besi yang tinggi.
- ❖ Konduktor stator yang terletak dekat celah udara pada mesin sinkron.

Dalam satu generator, tegangan lebih yang timbul dapat merusak isolasi kumparan generator. Kenaikan tegangan generator tidak boleh lebih dari 5% tegangan nominal rele yang di gunakan didapat dari jenis waktu terbalik (inverse time). Rele proteksi tegangan lebih merupakan proteksi cadangan (back-up protection) untuk pengatur tegangan otomatis (automatic voltage regulator).

G. Proteksi Temperatur Lebih

Proteksi temperatur lebih terjadi dikarenakan timbulnya panas yang berlebihan dalam belitan stator, umumnya disebabkan oleh terjadinya beban lebih atau gangguan hubungan singkat diluar atau didalam generator yang tidak segera diputuskan. Hal ini dapat pula disebabkan oleh gangguan pada sistem pendinginnya.

Untuk memproteksi generator terhadap temperatur yang berlebihan dalam belitan stator, dapat dipakai detektor yang bekerja berdasarkan pada prinsip perubahan nilai tahanan terhadap temperatur (prinsip thermocoup). Detektor ditempatkan di beberapa tempat dalam belitan stator untuk mendapatkan hasil yang

merata. Kemudian dengan menggunakan sakelar dapat dilihat temperatur dari masing-masing tempat dimana detektor ditempatkan, detektor yang menunjukkan nilai yang paling tinggi sebagai pedoman. Pengaman ini dapat dilengkapi dengan tanda bahaya atau alarm yang berupa lampu atau suara dan juga alat pemutus untuk melepas generator dari sistem.

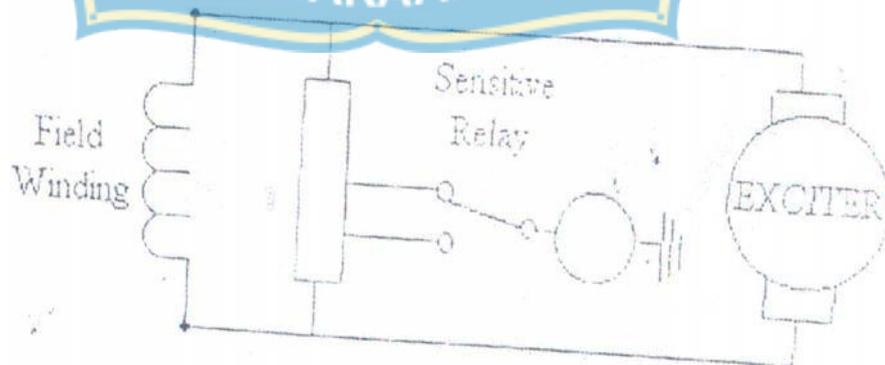
2. Proteksi Rotor

Cara yang dapat digunakan untuk mendeteksi gangguan hubung tanah pada rotor adalah :

- A. Metode potensiometer
- B. Metode injeksi AC
- C. Metode injeksi DC

A. Metode Potensiometer

Skemanya dapat dilihat pada gambar (2.21) yang terdiri dari suatu resistor yang dihubungkan paralel dengan belitan medan. Titik tengah resistor dihubungkan ketanah melalui suatu rele tegangan. Bila terjadi suatu hubung singkat ke tanah pada belitan medan akan menghasilkan tegangan pada rele, tegangan maksimum terjadi jika gangguan terjadi pada ujung belitan.



Gambar 2.21. Proteksi gangguan hubung tanah rotor dengan metode potensiometer

Cara ini tidak mungkin untuk mendeteksi keseluruhan belitan rotor, karena masih mempunyai daerah mati yaitu pada titik tengah pada belitan. Untuk menolong daerah yang tidak terdeteksi ini, titik tap dari potensiometer diubah dengan pertolongan sakelar atau push button. Cara ini sangat sederhana dan biasanya rele di setting pada 50 % tegangan eksitasi yang diperlukan.

B. Metode Injeksi AC

Metode ini skemanya dapat dilihat pada gambar (2.22), yang dari transformator buntu, yang sekundernya dihubungkan diantara tanah dan salah satu sisi dari sirkuit medan, melalui suatu kapasitor dan kumparan rele. Jika terdapat gangguan dimanapun akan menyebabkan kenaikan arus yang dapat dideteksi rele.



Gambar 2.22. Proteksi hubung tanah rotor dengan metode injeksi AC

Kapasitor gunanya untuk membatasi besarnya arus dan menahan tegangan medan yang normal, dan mencegah pelepasan (discharge) dari transformator. Cara

ini mempunyai kelebihan dibandingkan dengan carapenggunaan potensioner yaitu tidak mempunyai daerah mati. Kerugiannya arus tetap mengalir ke tanah melalui kapasitansi dari belitan medan. Arus bisa mengalir ke bantalan mesin yang menyebabkan timbulnya erosi pada permukaan bantalan.

C. Metode Injeksi DC

Metode injeksi DC skemanya dapat dilihat pada gambar (2.23). Daya output DC dari nilai unit transformator akan membuat bias dari sisi positif sirkuit medan ke suatu tegangan negative yang relatif dengan tanah.



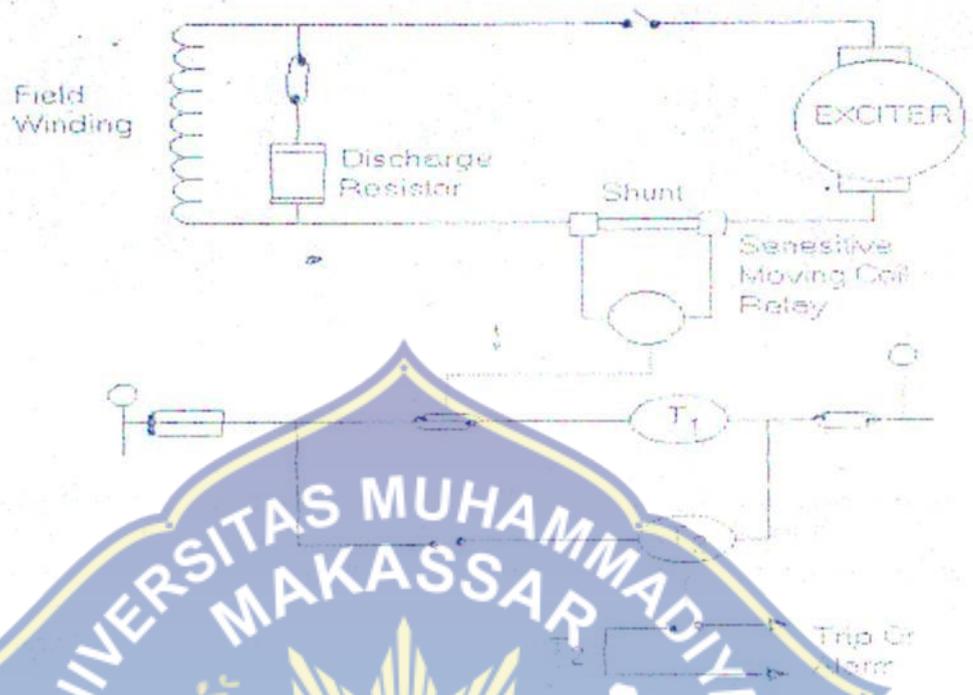
Gambar 2.23. Proteksi hubung tanah rotor dengan metode injeksi DC

Sisi negatif dari medan terdapat pada tegangan negatif yang lebih besar ketanah. Jadi suatu gangguan hubung singkat ke tanah pada setiap titik dalam belitanmedanakan menyebabkan arus negatif dari transformator penyearah. Arus ini yang melalui kumparan rele sehingga rele bekerja.

1. Proteksi Hilangnya Penguatan Medan

Penguatan medan akan hilang pada suatu generator sinkron, jika terjadi gangguan pada rangkaian kumparan medannya misalnya terbuka atau terhubung singkat. Pada saat tegangan penguatan berubah menjadi nol, fluks magnet dalam generator perlahan-lahan turun dan daya reaktif yang dihasilkan turun. Bersamaan dengan itu putaran rotor naik, tegangan terminal perlahan-lahan turun. Setelah fluks magnetik hilang seluruhnya, daya reaktif masuk dari sistem jala-jala ke generator dan generator sinkron sekarang bekerja menjadi generator induksi, menghasilkan daya aktif, menyerap daya reaktif serta berputar di atas kecepatan sinkronnya. Bila sistem dapat memenuhi kebutuhan daya reaktif yang diperlukan, maka tegangan sistem tidak akan terganggu tetapi apabila tidak, maka tegangan akan turun dan kestabilan generator yang terhubung paralel akan terganggu.

Hilangnya penguatan medan dapat disebabkan oleh pembukaan sakelar medan atau pembukaan CB medan yang menyebabkan penurunan arus, tetapi karena arus penguatan minimum. Rele arus berkurang dengan penundaan waktu dapat dipakai untuk mendeteksi bila arus penguatan medan hilang. Rele arus berkurang (*undercurrent relay*) dengan penundaan sehingga tidak terjadi kesalahan operasi.

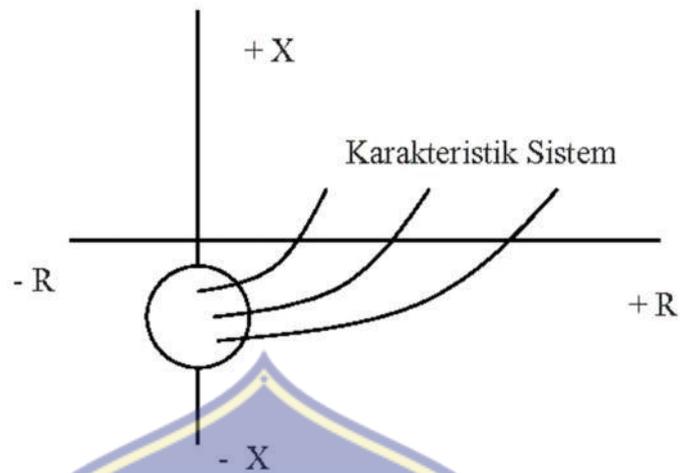


Gambar 2.24. Rele proteksi hilangnya penguatan medan dengan menggunakan rele arus kurang

Keterangan :

- T_1 = Instaneous pick – up
0,2 – 1 second delay on drop – off
- T_2 = 2 – 10 second delay on pick – up

Rele pengamanan lain yang dapat di gunakan untuk mengamankan gangguan hilangnya penguatan medan adalah rele impedansi, jenis rele mho yang mendeteksi perubahan reaktansi bila terjadi hilangnya penguatan medan. Rele mho diatur hanya jika hilangnya eksitasi yang menyebabkan penurunan tegangan terminal.



Gambar 2.25. Rele hilangnya penguatan medan dan karakteristik sistem

Gambar diatas memperlihatkan karakteristik hilangnya penguatan medan dan karakteristik operasi dari mho pada diagram R-X.

2. Proteksi Putaran Lebih

Meskipun putaran generator tergantung dari putaran penggerak mulanya dan penggerak putaran mula sudah diatur dengan governor pengatur kecepatan, namun dapat terjadi governor mengalami kerusakan.

Bila suatu generator bekerja sendiri menanggung beban lebih dan tiba-tiba melepas bebannya karena suatu gangguan atau bila generator sedang bekerja paralel terlepas dari sistemnya maka pada generator tersebut akan terjadi putaran lebih.

Untuk generator yang bekerja sendiri, kelebihan putaran akan menyebabkan naiknya frekuensi dan nilai generator itu tidak di lengkapi dengan pengatur tegangan otomatis (AVR) maka kelebihan putaran dapat menaikkan tegangan generator. Untuk mendeteksi kelebihan putaran pada generator di gunakan rele putaran lebih (*over speed relay*).

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu Dan tempat

Kegiatan penelitian guna menyusun tugas akhir ini di laksanakan di PLTA BILI-BILI. Kegiatan penelitian ini akan di laksanakan pada bulan September – Oktober 2013.

B. Fokus Penelitian

Penelitian ini di fokuskan pada sistem proteksi generator PLTABILI-BILI Berdasarkan perhitungan hubung singkat.

C. Metode Penelitian

Menurut SuharsimiArikunto, metode penelitian di artikan sebagai cara yang di gunakan oleh peneliti dalam mengumpulkan data penelitiannya. Adapun metode yang di gunakan antara lain :

1. Wawancara

Metode wawancara atau sering di sebut juga dengan interviu adalah sebuah dialog yang di lakukan oleh pewawancara untuk memperoleh informasi dari terwawancara. Dalam hal ini pembimbing penelitian yang sudah ahli tentang sistem proteksi generator pada PLTABILI-BILI.

2. Observasi

Dalam pengertian psikologik, observasi atau yang di sebut juga pengamatan adalah kegiatan pemusatan perhatian terhadap suatu objek dengan menggunakan seluruh alat indra. Termasuk dalam proses observasi ini adalah

dengan cara mengukur langsung objek yang di teliti dengan menggunakan alat ukur.

3. Dokumentasi

Metode literature atau dokumentasi adalah dengan menggunakan tulisan sebagai sumber penelitian untuk mencari dan mendapatkan data-data atau bahan dalam penelitian skripsi ini, misalnya yang di dapat dari buku-buku penunjang, dokumen, artikel-artikel, literature-literatur lain baik dari pembimbing penelitian maupun dosen pembimbing skripsi selain itu juga dengan mendownload dari internet.

D. Analisis Data

Penelitian yang di lakukan termasuk kedalam penelitian komparasi non hipotesis yaitu mengadakan komparasi status fenomena dengan standarnya. Adapun data yang diperoleh digunakan untuk mengetahui sistem kerja proteksi generator pada PLTA BILI-BILI. Berdasarkan pada rumusan masalah yang telah diajukan dalam proposal penelitian, maka pengolahan data yang diperoleh dari penelitian ini digambarkan sebagai berikut :

- 1). Melihat langsung alat proteksi pada generator PLTABILI-BILI.
- 2). Membandingkan alat yang ada dengan penjelasan teori alat proteksi generator tersebut.

BAB IV

HASIL PENELITIAN

Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Bili-bili terletak di desa Malino, Kecamatan Bonto Marannu, Kabupaten Gowa, Sulawesi selatan sekitar 30 KM sebelah Selatan Kota Makassar.

PLTA Bili-Bili merupakan pembangkit listrik tenaga air tipe run Of river yaitu dengan membendung aliran sungai jene berang. PLTA Bili-Bili mempunyai dua unit generator dengan kapasitas masing-masing 6.800 KVA dan 16.100 KVA dengan tegangan 11 KV yang disalurkan melalui jaringan transmisi 150 KV dengan demikian total daya pembangkitan sebesar 22.900 KVA yang dipergunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik wilayah Sulawesi Selatan.

Setiap generator memiliki jam operasinya dari setiap primer mover adalah 45.000 jam (sekitar 5 Tahun). Dan setelah melewati waktu tersebut maka penggerak mula harus di Overhaul. Yang disebut Overhaul adalah memeriksa keadaan generator dengan tujuan untuk menjaga agar tiap generator senantiasa dalam keadaan kondisi operasi yang stabil dan mantap sehingga pelayanan daya listrik ke pusat beban dapat terjaga dengan baik atau normal.

A. Tinjauan Sistem Proteksi Generator Pada PLTA BILI-BILI

1. Data-Data Generator PLTA BILI-BILI

- Type/jenis	= TAKL
- Jumlah Unit	= 2 Unit
- Kapasitas/unit	= 6.800 KVA dan 16.100 KVA
- Tegangan	= 11 KV
- Arus	= 3,674 A
- Frekuensi	= 50 HZ
- Power Factor	= 0,85 lagging
- Putaran	= 500 Rpm
- Konstanta Mesin	=
X''	= 0,168 Pu
X_2	= 0,177 Pu
X_0	= 0,109 Pu
- Tahanan Pentanahan	= 13,5 Ω

2. Data-Data transformator arus

- Type/jenis	= Out Door
- Kapasitas	= 70 mva
- Frekuensi	= 50 HZ
- Tegangan	= 11 kv / 150 kv

3. Data-Data Relé Proteksi pada PLTA BILI-BILI

1. Untuk gangguan hubungan singkat

- Relé Ratio Differential Relay
- Type M – 3425 A
- Range 3,2 – 8,7 Ampere
- Setting 10% Slope
- Frekuensi 50 HZ

2. Untuk gangguan Arus lebih

- Relé Over Current Relay
- Type K 10, cp
- Range 2 – 8 Ampere
- Setting 5 Ampere
- Frekuensi 50 HZ

3. Untuk Tegangan

- Relé Voltage Relay
- Type KIV – KP
- Range 70 – 110 V
- Setting 90 V
- Frekuensi 50 HZ

4. Untuk Ground Power

- Relé Ground Power Relay
- Type KEG, GFP
- Range -

- Setting 0,0590 A
- Frekuensi 50 HZ

5. Untuk Voltage Balance

- Rele Voltage Balance Relay
- Type CBV ID – MS 2X
- Range -
- Setting 73 V
- Frekuensi 50 HZ

6. Untuk Under Frequency

- Rele Under Frequency Relay
- Type IRF ID – DTG I
- Range 46 – 49,5 V
- Setting 46,50 A
- Frekuensi 50 HZ

7. Untuk Over Voltage

- Rele Over Voltage Relay
- Type KEG – GFP
- Range 80 – 165 V
- Setting 130 V
- Frekuensi 50 HZ

8. Untuk Temperatur

- Rele Temperatur Relay
- Type KEG GFP

- Range 70 - 140⁰ C
- Setting 73,46 Ohm (120⁰C)
- Frekuensi 50 HZ

9. Untuk Loss Of Field

- Rele Loss Of Field Relay
- Type KC2 -013Z
- Range 1 = Reach 10 – 100% (50 – 5 Ohm)
2 = Ofseff 0 – 100% (0 – 4 Ohm)
- Setting Reach = 36%
Ofseff = 55%
- Frekuensi 50 HZ

B. Perhitungan Arus Hubungan Singkat Pada Generator

1. Gangguan Hubungan Singkat Tiga Fasa

Gangguan hubungan 3 fasa dapat dihitung dari persamaan :

$$I'' = K \times I_{1S}$$

Dari Appendix arus gangguan hubungan singkat 3 fase simetris diperoleh:

$$I_{hs(po)} = \frac{V_{pm}}{X''_{1d}}$$

$$I_{hs(po)} = \frac{6.200.10^3}{\sqrt{3.11000,9}}$$

$$= \frac{6.300.000}{1.7147,30299}$$

$$= 367,4047169 \text{ A}$$

Jika $V_n = 1$

$X'' =$ reaktansi sub peralihan = 0,168 PU

Maka,

$$I_{hs(po)} = \frac{1}{j0,168 \text{ PU}}$$
$$= -j5,952 \text{ PU}$$

Jika,

$$I_{hs} = 5,952 \times 367,4047169 \text{ A}$$
$$= 2186,792875 \text{ AMP}$$
$$= 2,18679 \text{ KA}$$

Jadi arus hubung singkat 3 ϕ dengan memperhitungkan komponen arus DC adalah:

$$I_f = k \times I_{hs}$$
$$= 1,6 \times 2,186$$
$$= 3.498 \text{ A}$$

2. Gangguan Hubungan Singkat I Fase ke tanah

Untuk menghitung gangguan hubung singkat 1 fase ke tanah di gunakan persamaan :

$$I_r = \frac{3E_a}{Z_1 + Z_2 + Z_3}$$

Dimana :

$$Z_1 = \text{Impedansi urutan positif} = 0,168 \text{ PU}$$

$$Z_2 = \text{Impedansi urutan negatif} = 0,177 \text{ PU}$$

$$Z_0 = \text{Impedansi urutan nol} = 0,109 \text{ PU}$$

$$Z_a = \text{Tahanan pertanahan generator}$$

$$Z_{go} = \text{Impedansi urutan nol}$$

Jika : $Z_n = 38,1 \Omega$

$$Z_{(po)} = \frac{z(\Omega)}{Z_d} \text{ dimana } Z_d = \frac{(KV)^2}{MVA}$$

$$Z_d = \frac{11000^2}{6300,10^3}$$

$$= 19,206 \text{ PU}$$

$$\text{Maka : } Z_{(po)} = \frac{(38,1)}{19,206} = 1,983 \text{ (PU)}$$

Diketahui : $Z_n = 3 \times 1,983 = 5,949 \text{ (PU)}$

Sehingga : $Z_0 = 5,949 + j0,27791 = 5,955 = 2,674^\circ$

$$Z_1 + Z_2 + Z_n = j0,168 \text{ PU} + j0,177 \text{ PU} + 5,949 \text{ PU} + j0,27791$$

$$= 5,949 \text{ PU} + j0,622$$

$$= 5,981 = 5,965^\circ$$

Maka diperoleh: $I = \frac{3 \times 1}{5,981 < 5,968^\circ} = 0,501 < 5,968^\circ$

$$= 0,501 \times 367,404 = 184,069 \text{ A}$$

3. Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa ke Tanah

Untuk menghitung gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah digunakan

persamaan : $I_f = I_n = I_b + I_c$

Dimana : $I_a = 0$

$$I_b = a^2 I_{a1} + a I_{a2} + I_{a0}$$

$$I_c = a I_{a1} + a^2 I_{a2} + I_{a0}$$

$$I_{a1} = \frac{1}{Z_1 + \frac{Z_2 \times Z_0}{Z_2 + Z_0}}$$

$$J0,168 \frac{1}{J0,177 \text{ PU } (5,949 + J0,27791)}$$

$$= \frac{J0,177 + 5,949 + J0,27791}{1}$$

$$= \frac{1}{J0,177 (5,949 + J0,27791)}$$

$$J0,168 +$$

$$J0,177 + 0,109 + J0,27791$$

$$= \frac{1}{J1,052 - 0,049}$$

$$J0,168 +$$

$$,949 + J0,424$$

$$= \frac{1}{J0,168 + (0,176 + 0,966)}$$

$$= \frac{1}{J0,168 + 0,021 + J0,174}$$

$$= \frac{1}{0,021 + J0,212}$$

$$= \frac{1}{0,342 \angle 86,48^\circ}$$

$$= 2,923 \angle 86,48$$

$$\begin{aligned}
&= 0,179 + J2,923 \\
&= 2,928 < 86,49 \\
&= 1 - (0,179 - J2,923) J0,4031 \\
&= 1 - (2,928 < - 86,49) 0,168 < 90 \\
&= 1 = (0,491 < 3,51) \\
&= 1 - (0,490 + J0,0300) \\
&= 0,51 + J0,0300 \\
&= 0,510 < 3,366^0 \\
&= \frac{J0,27791}{J0,168 + J0,27791} (0,179 + J2,923) \\
&= \frac{J0,27791}{J0,44591} (0,179 + J2,923) \\
&= J0,6232 (0,179 + J2,923) \\
&= 0,179 + J1,8216 \\
&= 1,8303 < 84,387^0 \\
&= \frac{J0,168}{J0,168 + J0,27791} (0,179 + J2,923) \\
&= \frac{J0,168}{J0,44591} (0,179 + J2,923) \\
&= 0,179 + J1,1010 \\
&= 1,115 < 80,76^0
\end{aligned}$$

Dengan demikian :

$$I_b = a^2 I_{a1} + a I_{a2} + I_{a0}$$

$$\begin{aligned}
&= 1 < 240 (2,928 < -86,49^0) + 1 < 120 (1,8303 < 84,387) + (1,115 < 80,76) \\
&= 2,928 < 153,51^0 + 1,8303 < -115 < 80,76 \\
&= -2,620 + J1,065 - 0,179 J1,100 \\
&= -1,312 + J3,471 \\
&= 3,710 < 69,29
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
I_c &= a I_{a1} + a^2 I_{a2} + I_{a0} \\
&= 1 < 120 (2,928 < -86,49) + 1 < 240 (1,8303 < 84,287) + (1,115 < 80,76) \\
&= 2,441 + J1,616 + 1,666 + J0,75 + 0,179 + J1,100 \\
&= 0,954 + J1,915 \\
&= 2,139 < 63,51^0
\end{aligned}$$

Sehingga arus gangguan

$$\begin{aligned}
I_f &= I_b + I_c \\
&= -1,312 + J3,471 + 0,954 + J1,915 \\
&= -0,358 + J5,386 \\
&= 5,397 \times 367,404 \\
&= 1982,87 \text{ A}
\end{aligned}$$

4. Hubungan Singkat 2 Fasa :

Untuk menghitung arus hubung singkat 2 fasa digunakan persamaan :

$$I_r = I_b = I_c$$

$$I_a = 0 ; I_{a0} = I_{a1} = -I_{a2}$$

$$\begin{aligned}
I_{a1} &= \frac{E}{Z_1 + Z_2} \\
&= \frac{1}{j0,168 + j0,177} = \frac{1}{j0,345 < 90}
\end{aligned}$$

$$= 2,898 \angle -90^\circ = 2,898$$

$$I_a^2 = 2,898 = 2,898 \angle -90^\circ$$

Sehingga besar arus hubung singkat 2 fasa adalah :

$$\begin{aligned} I_f &= I_b = a^2 I_{a1} + a I_{a1} + I_{a0} \\ &= 1 \angle 240^\circ (2,898 \angle -90^\circ) + 1 \angle 120^\circ (2,898 \angle -90^\circ) + 0 \\ &= 2,898 \angle 150^\circ + 2,898 \angle 210^\circ + 0 \\ &= -2,509 + j1,449 + (-2,509 - j1,449) \\ &= -5,018 = 5,018 \angle 180^\circ \text{ PU} \end{aligned}$$

$$I_f \text{ Sebenarnya} = 5,018 \times 367,404 = 1,843.633 \text{ A} = 1,843 \text{ KA}$$

C. Analisis Setting Rele Proteksi Generator PLTA BILI - BILI

Pada bagian ini akan dibahas mengenai setting rele proteksi yang terdapat pada PLTA BILI – BILI. Rele yang akan dibahas hanya rele yang mendeteksi gangguan hubung singkat dan gangguan arus lebih.

Adapun rele – rele proteksi yang dibahas pada penulisan ini adalah :

1. Percentage Differential Relay
2. Over Current Relay

Relay Percentage Differential Generator digunakan untuk mengamankan belitan generator terhadap hubung singkat yang mungkin terjadi. Relay proteksi ini menggunakan tipe M – 3425 A dan daerah setting rele ini pada operasi 0–5 A. Relay proteksi tersebut disetting pada 10%

Arus diperoleh dari persamaan :

$$I_p = \frac{|I_1 - I_2|}{\frac{I_1 + I_2}{2}} \times 100\%$$

Atau dalam besaran sudut dinyatakan dengan

$$\text{Tang } \alpha = \frac{I_1 - I_2}{\frac{I_1 + I_2}{2}}$$

Dimana :

I_1 adalah arus sekunder CT₁ dan

I_2 adalah arus sekunder CT₂

Pada keadaan normal I_1 mendekati I_2 karena $CT_1 = CT_2$

Maka di peroleh :

$$I_1 - I_2 = I$$

$$I_p = \frac{6300 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 11000}$$

$$= \frac{6300 \cdot 10^3}{19052,55}$$

$$= 330,664 \text{ A}$$

$$I_1 = \frac{5}{5000} \times 330,664 \text{ A}$$

$$= 0,330664 \text{ Ampere}$$

$$I_2 = 0,2975976 \text{ Ampere}$$

$$|I_1 - I_2| = 0,330664 - 0,2975976 = 0,0330664$$

$$= \frac{0,330664 + 0,2975976}{2}$$

$$= 0,4794028 \text{ Ampere}$$

$$\text{Setting arus \%} = \frac{i_1 - i_2}{\frac{i_1 + i_2}{2}} \times 100 \%$$

$$= \frac{00330664}{04794028} \times 100 \%$$

$$= 0,068 \times 100 \%$$

$$= 6,8 \%$$

2. Over Current Relay

Berdasarkan waktu operasi dari Over Current Relay atau relay arus lebih, maka relay jenis ini dapat dijadikan sebagai relay cadangan pada belitan generator. Sedangkan Persentase diferensial relay berfungsi sebagai relay utama. Relay proteksi ini menggunakan tipe K 10 CP. Daerah penyetelan detting relay ini 2 – 6 Amper dengan setting 5 Amper.

Analisis Setting Over Current Relay adalah :

$$I_n = \frac{6300 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 11000}$$

$$= 330,664245 \text{ Ampere}$$

CT yang dipakai = 5000/5

Arus dalam kumparan rele :

$$I_r = \frac{5}{5000} \times 330,664$$

$$= 0,507368 \text{ Ampere}$$

a. Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa

Karena relay ini digunakan sebagai relay bantu, maka untuk menghitung arus hubung singkat tiga fasa cukup digunakan reaktansi sub-peralihan tidak termasuk komponen searah. Arus hubung singkat tiga fasa tersebut adalah :

$$I_r = I_{hs} \times \frac{5}{5000}$$

$$= 2186,79 \times \frac{5}{5000}$$

$$= 2,18679 \text{ Ampere}$$

Untuk gangguan hubung singkat 3 fasa yang mengalir dalam kumparan sebesar 2,18679 Ampere, sedangkan setting over current relay sama dengan 5 Ampere maka relay tidak bekerja.

b. Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa

Besar gangguan hubung singkat dua fasa adalah sebesar 1843 Ampere, Sehingga arus setting yang mengalir dalam kumparan relay adalah :

$$I_r = I_f \times \frac{5}{5000}$$

$$= 1843 \times \frac{5}{5000}$$

$$= 1,843 \text{ Ampere}$$

Untuk gangguan hubung singkat dua fasa yang mengalir dalam kumparan rele sebesar 1,843 Ampere. Sedangkan Seting over current relay sama dengan 5 ampere jadi rele tidak bekerja.

c. Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa Ke tanah

CT yang digunakan untuk rele ini dengan perbandingan 5000/5 maka untuk hubung singkat satu fasa ke tanah arus yang mengalir dalam kumparan relay adalah :

$$\begin{aligned} I_r &= \frac{5}{5000} \times I_f 1\phi \\ &= \frac{5}{5000} \times 184,069 \\ &= 0,1840 \text{ Ampere} \end{aligned}$$

Berdasarkan arus gangguan satu fasa ketanah sebesar 0,184 Ampere maka arus yang mengalir dalam kumparan rele sebesar 0,184 Ampere sedangkan dalam setting rele sebesar 5 Ampere, maka rele tidak bekerja jadi hubung singkat ke tanah tidak terdeteksi.

d. Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa Ke Tanah

CT yang digunakan untuk rele ini dengan perbandingan 5000/5 maka hubung singkat dua fasa ketanah, arus yang mengalir dalam kumparan rele adalah :

$$\begin{aligned} I_r &= \frac{5}{5000} \times I_f 2\phi \\ &= \frac{5}{5000} \times 1982,87 \text{ A} \\ &= 1,982 \text{ Ampere} \end{aligned}$$

Berdasarkan arus gangguan dua fasa ketanah sebesar 1982,87 Ampere, maka arus yang mengalir dalam kumparan rele sebesar 1,9982 Ampere. Dalam setting rele sebesar 5 Ampere maka rele tidak bekerja, jadi hubung singkat dua fasa tidak terdeteksi.



BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

1. Rele diferensial yang di gunakan adalah 10% di mana hasil perhitungan 6,8% jadi rele tidak trip.
2. Over Current Relay yang terpasang 5 Ampere, sedangkan hasil perhitungan sebesar 3,30 Ampere, jadi relay tidak trip.
3. Untuk hubung singkat 3 fasa arus yang mengalir dalam kumparan rele sebesar 2,186 Ampere, sedangkan setting yang terpasang 5 Ampere, jadi rele tidak dapat trip.
4. Untuk hubung singkat 2 fasa arus yang mengalir dalam kumparan rele sebesar 18,43 Ampere, Sedangkan setting yang terpasang 5 Ampere, jadi rele dapat bekerja.
5. Untuk hubung singkat 2 fasa ke tanah arus yang mengalir dalam kumparan rele sebesar 1,982 Ampere, Sedangkan setting yang terpasang 5 Ampere, jadi rele tidak trip.
6. Hubung singkat fasa ke tanah arus yang mengalir dalam kumparan sebesar 0,184 Ampere, sedangkan setting yang terpasang 5 Ampere, jadi rele tidak dapat mendeteksi.

B. Saran – Saran

1. Untuk menghindari kerusakan pada peralatan sebaiknya penggunaan pengaman lebih di tingkatkan.
2. Untuk penyempurnaan penelitian ini sebaiknya di lakukan penelitian secara praktek percobaan / experiment, sehingga dapat di peroleh perbandingan analisis secara teori dengan secara praktek percobaan.
3. Agar penelitian ini bisa memberikan hasil yang lebih teliti dan akurat, maka di butuhkan ketersediaan peralatan yang lebih lengkap dan bagus.



DAFTAR PUSTAKA

- A. Arismunandar, M.A.Sc, Dr. Kuswuhara, Dr. *Teknik Tenaga Listrik*, Jilid I dan II, Penerbit PT. Paramita Jakarta, 1997.
- Fitzgerald, Charles Kingsley, Jr dan Stephen D-Ummas. *Mesin-mesin Listrik*. Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Gec. Alstom Measurements Limited, *Protective Relays Application Guide*, Third Edition, England, Jakarta, 1987.
- Hutahuruk, *Pengetahuan Netral Sistem Tenaga Dan Pengetahuan Peralatan*, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1991.
- S.L. Bahtia, *Electrical Engineering*, Khana Publishers, Dehlia 0110006, 1089.
- William D. Steveverson, Ir. *Analisis Sistem Tenaga Listrik*, Edisi Keempat, Penerbit Erlangga Jakarta, 1984.
- Zuhal, *Dasar Tenaga Listrik*, Penerbit Institut Teknologi Bandung (ITB) 1986.

