

SKRIPSI

**ANALISIS ARUS SETTING TERHADAP SISTEM PROTEKSI
RELAI *DIFFERENTIAL* PADA TRANSFORMATOR GARDU
INDUK SALUALLO KECAMATAN SANGGALA
KABUPATEN TANA TORAJA**



OLEH

**RIDWAN
10582114313**

**MUH. ARLIN. S
10582112813**

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

**ANALISIS ARUS SETTINGTERHADAP SISTEM PROTEKSI
RELAY DIFERENTIAL PADA TRASPORMATOR GARDU
INDUK SALUALLO KECAMATAN SANGGALA
KABUPATEN TANA TORAJA**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat

Untuk memperoleh gelar sarjana

Program Studi Teknik Elektro

Fakultas Teknik

Disusun dan di ajukan oleh

RIDWAN

10582114313

MUH. ARLIN S

10582112813

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 : **ANALISIS ARUS SETTING TERHADAP SISTEM PROTEKSI RELAI DEFERENSIAL PADA TRANSFORMATOR GARDU INDUK SALU ALLO KECAMATAN SANGGALA KABUPATEN TANA TORAJA**

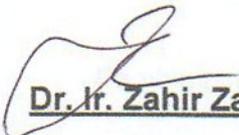
Nama : 1. Ridwan
2. Muh Arlin S
Stambuk : 1. 10582 1143 13
2. 10582 1128 13

Makassar, 12 Februari 2019

Telah Diperiksa dan Disetujui
Oleh Dosen Pembimbing;

Pembimbing I

Pembimbing II


Dr. Ir. Zahir Zainuddin, M.Sc.


Rizal Ahdiyati 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 **Ridwan** dengan nomor induk Mahasiswa 10582 1143 13 dan **Muh Arlin S** dengan nomor induk Mahasiswa 10582 1128 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 : Dr. Eng. Ir. H. Zulfajri Basri Hasanuddin, M.Eng

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

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

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

3. Rahmania, S.T.,M.T

Makassar, 07 Jumadil Akhir 1440 H
12 Februari 2019 M

Mengetahui :

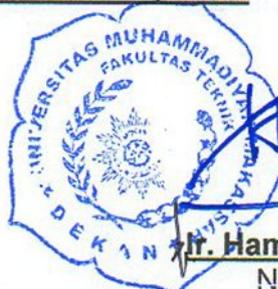
Pembimbing I

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 : “Analisis Arus Setting Terhadap Sistem Proteksi Relai Differential Pada Transpormator Gardu Induk Saluallo Kecamatan Sanggala Kabupaten Tana Toraja”

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

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

1. 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 terutam 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 bernabfaat bagi penulis, rekan-rekan, masyarakat serta bangsa dan Negara. Amin.

Makassar, Februari 2019

Ridwan¹, Muh.Arlin.S²

¹Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Unismuh Makassar

Email: Ridwanonder0@gmail.com

²Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Unismuh Makassar

Email : Muhammadarlin22@gmail.com

ABSTRAK

Tugas akhir ini merupakan pembahasan tentang Analisis Arus Setting Terhadap Sistem Proteksi Relai Differential Pada Transformator Gardu Induk Saluallo Kecamatan Sanggala Kabupaten Tana Toraja, transformator adalah suatu peralatan listrik yang berfungsi untuk memindahkan saluran energi dari satu rangkaian listrik ke rangkaian berikutnya tanpa mengubah frekuensi, Relay proteksi adalah suatu alat listrik yang bekerja secara elektromagnetik untuk mengatur/memasukkan suatu rangkaian listrik akibat adanya perubahan pada rangkaian lain, untuk melindungi transformator dari suatu kerusakan, maka dalam Tcr. Pengoperasiannya dibutuhkan suatu alat proteksi dalam hal relay proteksi differential percentage yang berfungsi untuk menjaga keseimbangan arus pada sisi primer dan sekunder dari transformator, Jika relay yang digunakan telah disetting dapat bekerja dengan baik, maka transformator dapat diselamatkan dari suatu kerusakan yang fatal, untuk mengamankan transformator yang ada pada Gardu Induk Saluallo dari suatu kerusakan, maka relai yang digunakan adalah relai proteksi differensial percentage type SEP AM D02, besarnya arus setting yang diperoleh dari hasil perhitungan adalah 4,29 ampere pada tap tegangan 150 kV sedangkan dari data yang ada di lapangan nilai arus setting yang digunakan adalah 5 ampere, besarnya kecuraman/slope dari hasil perhitungan adalah 16,1°, sedangkan dari data yang ada di lapangan adalah 16,6°.

Kata kunci : *Proteksi, Relay, Transformator dan Gardu Induk*

Ridwan¹, Muh.Arlin.S²

¹Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, University of
Makassar

Email: Ridwanonder0@gmail.com

² Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, University of
Makassar

Email : Muhammadarlin22@gmail.com

ABSTRAK CT

This Final Project is a discussion of "Analysis of Regulatory Flow Against Differential Relay Protection System in Saluallo Substation Substation Transponder Sanggala District, Tana Toraja Regency". transformer is electrical equipment that serves to drain the sound of energy from one electrical circuit to the next without changing the frequency, protection relay is an electrical device that works on electromagnetic to make electrical connections, to protect the transformer from damage, then in Tcr. The operation requires a protection device in the case of a percentage differential protection relay which serves to improve the balance on the primary and secondary sides of the transformer. If the relay used has been set, it can be used properly, the transformer can be saved from fatal damage, for transformer transformations in Saluallo Substation of damage, the relay used is protection relay SEP AM D02 percentage difference, the current arrangement obtained from the search results is 4.29 amperes at a 150 kV tap voltage whereas from the data in the field the setting current value is used is 5 amperes, increasing the steepness / slope of the magnification yield is 16.1 ° while the data in the field is 16.6 °.

Keywords: Protection, Relay, Transformer and Substation

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERSETUJUAN.....	
HALAMAN PENGESAHAN	
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	vi
ABSTRAK CT.....	vii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I Pendahuluan	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	2
C. Tujuan Penulisan	3
D. Batasan Masalah	3
E. Manfaat Penelitian	3
F. Metode Pengumpulan Data	4
G. Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
A. Transformator Daya	6
1. Prinsip Kerja Transformator	7
2. Kerugian dan Efisiensi Transformator	8
3. Pendinginan Transformator	10

4. Impedansi Transformator	12
5. Hubungan Delta	12
6. Hubungan Bintang	13
7. Hubungan Zig-Zag	15
8. Kelompok Hubungan	15
9. Transformator Dalam Rangkaian Tiga Fasa	17
B. Sistem Proteksi	20
1. Perangkat Sistem Relay Proteksi	22
2. Fungsi dan Peranan Relai Proteksi.....	36
3. Klasifikasi Relai Proteksi	38
4. Gangguan Pada Transformator Daya	39
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	43
A. Waktu dan Empat	43
B. Metode Penelitian	43
C. Gambar Blok Diagram	45
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	
A. Sistem Proteksi Transformator.....	46
B. Relai Differential	46
C. Data Teknis	52
1. Transformator	52
2. Relay Differential Untuk Transformator	53
D. Sistem Proteksi Diffrensial Relay Pada Transformator Daya	53
E. Setting Relay	57

BAB IV PENUTUP	61
A. Kesimpulan	61
B. Saran-saran	61
DAFTAR PUSTAKA	62

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Konstruksi Transformator	7
Gambar 2.2 Prinsip Kerja Transformator	8
Gambar 2.3 Transformator Celup Minyak Tiga Fasa dengan Pendingin Tambahan	11
Gambar2.4 a. Rangkaian Delta	13
b. Vektor Diagram	13
Gambar2.5 a. Rangkaian Bintang	14
b. Vektor Diagram	14
Gambar 2.6 a. Belitan Zig-zag	15
b. Vektor Diagram	15
Gambar 2.7 a. Diagram Kelompok	16
b. Hubungan Dy	16
Gambar 2.8 Hubungan Transformator Tiga Fasa Yang Biasa,	18
Kumparan-Kumparan Transformator Dinyatakan Oleh Garis Tebal	
Gambar 2.9 Transformator 200 MVA 3 Tangki 50 Hz 3 Lilitan 210/80/10,2 KV Yang Dipindahkan Dari Tangkinya	19
Gambar 2.10 Sistem Distribusi dan Bagian-bagiannya	21
Gambar 2.11 a. Rangkaian Alarm/Trip dengan rangkaian Arus	22
b. Rangkaian Alarm/Trip dengan rangkaian Hidrolik	23
Gambar2.12 Kontak-Kontak Pemutus Tenaga Vakum	25
Gambar 2.13 Ruang Pemutus Busur Api Minyak	26

Gambar 2.14 Trafo Tegangan	27
Gambar 2.15 Trafo Tegangan Tipe CVT	28
Gambar 2.16 Skema Hubungan Trafo Arus	31
Gambar 2.17 Lengkung Kemagnetan (Kurva Magnetisasi) BS 3938	34
Gambar 2.18 Kurva Kejenuhan (Saturation Curve), ANSI	35
Gambar 3.1 Diagram blok Sistem proteksi	45
Gambar 4.1 Skema Dasar Proteksi Differential	47
Gambar 4.2 a. Gangguan Internal	48
b. Gangguan Eksternal	48
Gambar 4.3 a. Hubungan Transformator Arus Pada Sisi Wye Transformator Daya	
b. Hubungan Transformator Arus Pada Sisi Delta Transformator	
Daya	49
Gambar 4.4 a. Keadaan Kerja Relay Differential Untuk Gangguan	
Ke Tanah Di luar Trafo, Bila Trafo Dihubung Y	51
b. Kestabilan Relay Terhadap Gangguan Ke Tanah Di luar Trafo	
Dimana Trafo Arus Dihubung Delta	54
Gambar 4.5 Perbandingan Karakteristik CT Yang Menyebabkan	
Timbulnya Ketidakseimbangan Arus	55
Gambar 4.6 Karakteristik Relay Diffrential Percentage	56

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Kelompok Hubungan Transformator Menurut VDE 0532	17
Tabel 2.2 Batas Kesalahan dan Pergeseran Sudut	29
Tabel 2.3 Batas Kesalahan Tegangan dan Pergeseran Sudut Untuk Proteksi	30
Tabel 2.4 Batas Kesalahan CT Untuk Meter	33
Tabel 2.5 Kesalahan Arus Untuk Proteksi	33
Tabel 2.6 Klasifikasi Relai Proteksi Berdasarkan Azas Kerja, Penggunaan dan Tipe Konstruksinya	38
Tabel 4.1 Tapping Characteristik.....	53
Tabel 4.2 Tegangan Transpormator	58

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Sejalan dengan meningkatnya pertumbuhan jumlah penduduk, kebutuhan ekonomi serta peningkatan peradaban manusia maka kebutuhan akan sumber energi semakin meningkat pula, terutama kebutuhan akan sumber energi listrik baik untuk penerangan maupun untuk kegiatan-kegiatan industri.

PLN sebagai badan usaha milik negara yang dipercayakan untuk mengelola serta menyalurkan sumber energi listrik ke masyarakat, diharapkan mampu memenuhi kebutuhan masyarakat akan kebutuhan sumber energi listrik. Untuk dapat melayani kebutuhan masyarakat akan kebutuhan sumber energi listrik, maka pihak PLN membutuhkan suatu modal investasi yang cukup tinggi. Modal yang tertanam dalam suatu Sistem penyediaan tenaga listrik berupa fasilitas-fasilitas pembangkitan, transmisi, dan distribusi yang demikian besarnya sehingga harus diatur agar semua sistem tidak hanya mengoperasikan dengan efisiensi semaksimal mungkin tetapi harus diamankan dan dilindungi terhadap kerusakan.

Gardu induk pada dasarnya merupakan pusat penyaluran dan pengaturan beban yang menyediakan kebutuhan listrik suatu daerah. Didalam sebuah gardu induk pada dasarnya terdiri atas beberapa peralatan listrik yang sangat besar nilai investasinya sehingga is! am pengoperasiannya sistem dan peralatan yang ada tidak hanya dioperasikan dengan efisiensi yang semaksimal mungkin, akan tetapi juga harus diamankan dan dilindungi dari kerusakan.

Dengan dasar inilah maka diperlukan suatu sistem proteksi yang bertujuan untuk mendeteksi adanya gangguan, kemudian mengamankan peralatan serta membatasi daerah yang terganggu secepat mungkin sehingga peralatan tidak menjadi rusak dan penyaluran tenaga listrik ke masyarakat dapat berlangsung kontinyu dengan mutu yang tetap.

B. Rumusan Masalah

Gardu induk yang terdiri dari beberapa peralatan utama salah satunya adalah transformator daya yang memiliki nilai investasi yang cukup besar sehingga pengoperasiannya tidak hanya dengan efisiensi semaksimal mungkin, akan tetapi transformator juga harus diamankan dan dilindungi terhadap kerusakan.

Untuk mengamankan transformator yang ada pada gardu induk dari suatu kerusakan maka diperlukan beberapa pertimbangan antara lain :

1. Bagaimana mengamankan transformator dari suatu kerusakan
2. Jenis pengaman apa yang sebaiknya digunakan untuk mengamankan transformator dari suatu kerusakan
3. Berapa nilai arus setting yang dipakai agar sistem proteksi dapat bekerja dengan baik
4. Bagaimana menentukan slope/kecuraman karakteristik dari relai differensial yang digunakan.

C. Tujuan penulisan

Adapun tujuan penulisan ini adalah sebagai berikut :

1. Menentukan jenis relai proteksi yang digunakan pada Gardu Induk Saluallo Kecamatan Sangalla Kabupaten Tana Toraja.
2. Menentukan arus setting yang digunakan pada Gardu Induk Saluallo Kecamatan Sangalla Kabupaten Tana Toraja
3. Menentukan karakteristik dari relai proteksi yang digunakan yang pada Gardu Induk Saluallo Kecamatan Sangalla Kabupaten Tana Toraja

D. Batasan Masalah

Luasnya cakupan masalah mengenai sistem proteksi terhadap peralatan listrik yang terdapat dalam sebuah gardu induk khususnya pada transformator mendorong penulis untuk membatasi permasalahan yaitu :

1. Sistem relai proteksi yang digunakan pada Gardu Induk Saluallo Kecamatan Sangalla Kabupaten Tana Toraja.
2. Besarnya arus setting yang. digunakan pada Gardu Induk Saluallo Kecamatan Sangalla Kabupaten Tana Toraja
3. Besarnya kecuraman/slope. yang. digunakan pada Gardu Induk Saluallo Kecamatan Sangalla Kabupaten Tana Toraja

E. Manfaat Penelitian

Gardu Induk merupakan bagian yang besar peranannya dalam sistem penyaluran energi listrik dengan investasi yang sangat besar. Oleh sebab itu manfaat dari tugas akhir ini adalah :

1. Memberikan perlindungan pada sistem proteksi

2. Membatasi atau mencegah kerusakan peralatan akibat adanya gangguan pada sistem.
3. Menentukan nilai arus setting yang digunakan pada Gardu Induk Saluallo Kecamatan Sangalla Kabupaten Tana Toraja

F. Metode Pengumpulan Data

1. Observasi yaitu pengumpulan data yang dilakukan dengan mengadakan studi lapangan di kabupaten Tana Toraja serta pengambilan data pada Gardu Induk Saluallo di Kecamatan Sangalla Kabupaten Tana Toraja.
2. Literate yaitu pengambilan data yang dilakukan dengan menggunakan berbagai referensi yang berkaitan dengan pembahasan dalam penulisan tugas akhir ini.
3. Diskusi yaitu pengambilan data dengan melakukan wawancara dengan berbagai pihak yang lebih mengetahui permasalahan yang berhubungan dengan pembahasan tugas akhir ini.

G. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tugas akhir ini, terdiri antara lain ;

BAB I PENDAHULUAN

Pada dasarnya bab ini merupakan pengantar terhadap bab-bab dan sub-sub bab berikutnya. Dalam bab ini dikemukakan beberapa hal yang antara lain: Latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan dan manfaat penulisan, batasan masalah, metode pengumpulan data, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini merupakan pembahasan dari dasar-dasar teori yang bersangkutan dengan sistem proteksi transformator Gardu Induk Saluallo Kecamatan Sangalla Kabupaten Tana Toraja.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini membahas tentang waktu dan tempat penelitian serta metode penelitian

BAB IV Hasil Penelitian Dan Pembahasan

Bab ini merupakan pembahasan terhadap analisis arus setting terhadap sistem proteksi relai differential pada transformator gardu induk Saluallo Kecamatan Sanggala Kabupaten Tana Toraja

BAB IV PENUTUP

Merupakan bab penutup yang terdiri atas kesimpulan dan saran-saran.

BAB II

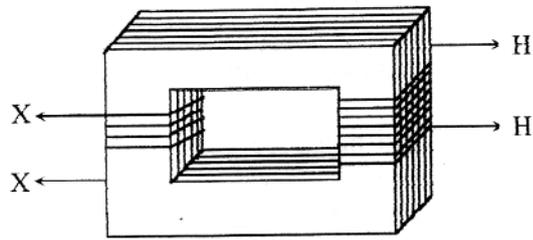
TINJAUAN PUSTAKA

A. Transformator Daya

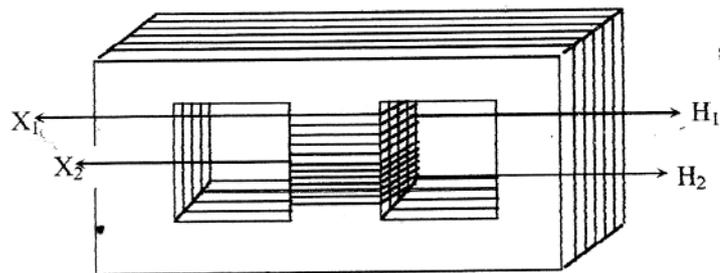
Transformator (trafo) pada umumnya banyak dipergunakan untuk sistem tenaga listrik maupun untuk rangkaian elektronik. Dalam sistem tenaga listrik, trafo digunakan untuk memindahkan energi dari satu rangkaian listrik ke rangkaian berikutnya tanpa mengubah frekuensi. Pemakaian trafo pada sistem tenaga listrik dapat dibagi;

1. Trafo penaik tegangan (*step up*) atau trafo daya yaitu untuk menaikkan tegangan pembangkitan menjadi tegangan transmisi.
2. Trafo penurun tegangan (*step down*) atau trafo distribusi yaitu untuk menurunkan tegangan transmisi menjadi tegangan distribusi.
3. Trafo instrumen, yaitu untuk pengukuran yang terdiri dari trafo tegangan dan trafo arus yang dipakai untuk menurunkan tegangan dan arus agar dapat masuk ke meter-meter pengukuran.

Pada umumnya transformator terdiri atas sebuah inti yang terbuat dari besi berlapis dan dua buah kumparan yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder. Biasanya kumparan terbuat dari kawat tembaga yang dibelit pada kaki inti trafo. Menurut konstruksinya trafo dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu tipe inti dan tipe cangkang. Pada tipe inti terdapat dua kaki yang masing-masing kaki dibelit oleh satu kumparan, sedangkan tipe cangkang ada tiga buah kaki dan hanya kaki tengah yang dibelit oleh kedua kumparan. Kedua kumparan baik pada jenis inti maupun jenis cangkang saling berhubungan secara magnetik melalui inti.



Trafo jenis inti



Trafo jenis cangkang

Gambar 2.1 Konstruksi Transformator

1. Prinsip Kerja Transformator

Pada dasarnya prinsip kerja transformator berdasarkan induksi elektromagnetik yang digunakan untuk memindahkan energi listrik dari satu rangkaian listrik ke rangkaian berikutnya dengan mengubah tegangan tanpa mengubah frekuensi. Dalam bentuknya yang paling sederhana trafo terdiri dan 2 kumparan dan satu induktansi mutual, dimana sisi primer merupakan komponen yang menerima daya dan sisi sekunder terhubung ke beban. Kedua kumparan dibelit pada suatu inti yang terdiri atas material magnetik berdasarkan fisik transformator adalah induktansi mutual (timbang balik) antara kedua rangkaian yang dihubungkan oleh suatu fluks magnetic bersama yang melewati jalur dengan reluktansi rendah, kedua kumparan memiliki induktansi mutual yang tinggi. Jika suatu kumparan di sambung pada suatu sumber

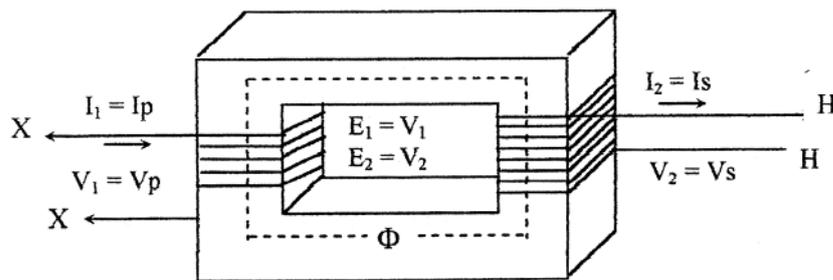
tegangan bolak-balik, suatu fluks bolak-balik terjadi didalam inti berlaminasi, yang sebagian besar akan mengait pada kumparan lainnya dan didalamnya akan terinduksi suatu gaya gerak listrik (ggl) yang sesuai dengan hukum - hukum induksi elektromagnetik Faraday, yaitu

$$e = N d \Phi / dt \dots\dots\dots (1)$$

Dimana :

e = Gaya gerak listrik yang diinduksikan

N = Jumlah belitan kumparan; $d \Phi / dt$ = Perubahan fluks sesaat (Weber)



Gambar 2.2 Prinsip Kerja Transformator

2. Kerugian dan Efisiensi Transformator

Efisiensi transformator adalah perbandingan antara keluaran daya yang berguna dan masukan daya total. Karena masukan ke transformator sama dengan keluaran daya yang berguna ditambah kerugiannya, maka persamaan efisiensi dapat ditulis dalam bentuk sebagai berikut;

$$\% \text{ efisiensi} = \text{—————} \times 100 \% \dots\dots\dots (2)$$

$$\% \text{ efisiensi} = \text{—————} = \text{x}100\% \dots\dots\dots (3)$$

Dari persamaan diatas jelaslah bahwa efisiensi transformator dapat ditentukan untuk setiap beban dengan pengukuran langsung daya masukannya

dan daya keluarannya serta efisiensinya dihitung dengan menggunakan persamaan (2). Terkadang sukar melakukan pengukuran beban masukan-keluaran tidak memungkinkan. Kerugian transformator dapat diukur atau dihitung dan efisiensinya ditentukan dengan menggunakan persamaan (3).

Rugi beban atau I^2R ada karena digunakannya daya selama arus mengalir melalui lilitan tahanan. Arus beban yang mengalir melalui lilitan transformator menghasilkan kerugian daya atau I^2R yang besarnya bergantung pada beban yang sedang dicatu oleh transformator. Rugi beban dapat dihitung untuk setiap beban tertentu jika tahanan kedua lilitan diketahui atau dapat diukur. Jika R_p dan R_s adalah tahanan lilitan tegangan tinggi dan rendah, maka rugi bebannya adalah :

$$\text{Rugi Beban} = I_p^2 R_p + I_s^2 R_s \dots\dots\dots (4)$$

Dimana :

I_p = Arus primer

I_s = Arus sekunder

R_p = Tahanan primer

R_s = Tahanan sekunder

Kerugian tanpa beban atau rugi inti diakibatkan oleh efek histerisis dan arus pusar dalam inti besi transformator. Rugi inti dalam transformator dapat dihindarkan dengan memberikan energi pada satu lilitan transformator dengan lilitan lainnya terbuka. Rugi inti transformator pada dasarnya Tetap untuk semua beban jika transformator dikenai frekuensi dan tegangan yang sudah ditentukan.

3. Pendingin Transformator

Jika transformator dibebani, maka timbul panas baik dalam lilitan maupun inti sehingga ada kerugian sebagaimana yang dijelaskan dalam pasal 2.1.2.

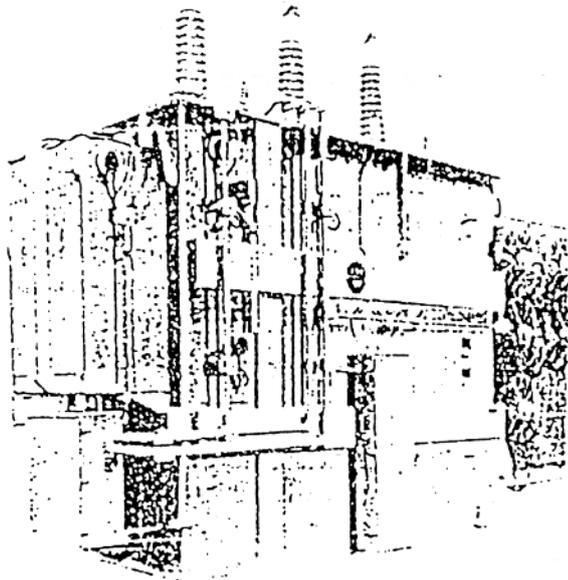
Transformator dapat dikelompokkan ke dalam dua klasifikasi umum yang bergantung pada media pendinginan yang digunakan. Transformator dapat merupakan tipe celup-cairan dan tipe kering. Cairan yang biasanya digunakan dalam transformator celup-cairan adalah minyak kecuali jika penggunaan minyak dapat menyebabkan bahaya api. Dalam hal ini cairan-cairan yang digunakan adalah tipe yang tak dapat terbakar. Transformator tipe kering menggunakan udara atau gas murni sebagai media pendingin. Transformator tipe celup-cairan dan kering keduanya tersedia dengan berbagai variasi cara pendinginan dasar yang berbeda. Tipe yang paling sederhana dari transformator celup minyak adalah tipe pendinginan sendiri. Panas yang dihasilkan dalam inti dan rakitan kumparan disalurkan secara konveksi melalui minyak yang mengelilinginya ke tangki, kemudian dikeluarkan ke atmosfer sekelilingnya. Dalam ukuran yang lebih besar, diberikan sirip atau radiator agar luas permukaan tangki menjadi lebih besar.

Untuk memperoleh kapasitas KVA yang lebih besar dari rakitan inti dan kumparan, pada transformator daya yang lebih besar digunakan pendinginan tambahan, Transformator pendinginan udara paksa tersedia dengan kipas pendingin yang bekerja dengan termostat, sebagai tambahan sistem pendinginan alami. Kipas menggerakkan udara sekitar sirip atau

radiator dimana minyak pendingin mengalir. Kipas hanya bekerja bila temperatur minyak melampaui harga tertentu.

Pendingin yang lebih besar juga dapat diperoleh pada transformator daya besar dengan menggunakan pompa untuk mensirkulasi minyak melalui radiator.

Transformator daya celup minyak tiga fasa lengkap dengan pendinginan tambahan ditunjukkan dalam gambar 2.3 kipas pendingin dapat dilihat terpasang pada radiator pada bagian belakang transformator. Transformator kering yang lebih kecil adalah tipe pendingin sendiri berventilasi yang didinginkan oleh sirkulasi alami udara sekitar inti dan kumparan. Gas pengisolasi dalam transformator pendingin sendiri -ini bisa udara, nitrogen atau gas mulia lainnya.



Gambar 2.3 transformator celup minyak tiga fasa dengan pendingin tambahan

4. Impedansi Transformator

Karakteristik transformator yang merupakan keperluan data untuk perhitungan kerugian transformator, pengaturan transformator dan arus hubung singkat si stem disebut persen impedansi dari transformator.

Persen impedansi transformator ditentukan oleh pengujian yang biasanya dilakukan pada transformator segera setelah dibuat. Lilitan sekunder dihubungkan singkatkan dan tegangan yang sudah dikurangi dikenakan pada lilitan primer. Tegangan primer kemudian dinaikkan sampai arus temilai sekunder mengalir. Tegangan yang diperlukan untuk menghasilkan arus sekunder tertentu yang diizinkan disebut tegangan impedansi. Tegangan ini bila dinyatakan sebagai persentase dari tegangan primer yang ditentukan disebut persen impedansi dari transformator. Persen impedansi dari transformator daya bernilai khas dari 5 sampai 10 persen bergantung pada nilai tegangan transformator.

5. Hubungan Delta

Tegangan transformator tiga fasa dengan kumparan yang dihubungkan secara delta, yaitu v_{ab} , v_{bc} , v_{ca} , masing-masing berbeda fasa 120° .

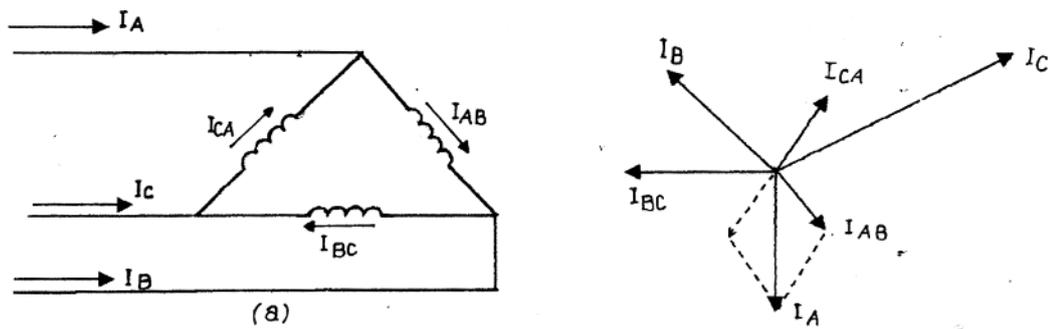
$$V_{AB} + v_{bc} + V_{CA} = 0 \dots\dots\dots (5).$$

Untuk beban yang seimbang :

$$I_A = I_{AB} - I_{CA} \dots\dots\dots (6)$$

$$I_B = I_{BC} - I_{AB} \dots\dots\dots (7)$$

$$I_C = I_{CA} - I_{BC} \dots\dots\dots (8)$$



Gambar 2.4 (a) Rangkaian Delta (b) Vektor Diagram

Dari vektor diagram pada gambar 2.4b diketahui bahwa arus U (arus jala-jala) adalah $\sqrt{3} \times I_{AB}$ (arus fasa). Tegangan jala-jala dalam hubungan delta sama dengan tegangan fasanya.

$$V_A \text{ hubungan delta} = V_p I_p \dots\dots\dots (9)$$

$$= 3V_L \frac{I_L}{\sqrt{3}} \dots\dots\dots (10)$$

$$= \sqrt{3} V_L I_L \dots\dots\dots (11)$$

Dimana

V_p = tegangan fasa

V_L = tegangan line

I_p = arus fasa

I_L = arus line

6. Hubungan bintang

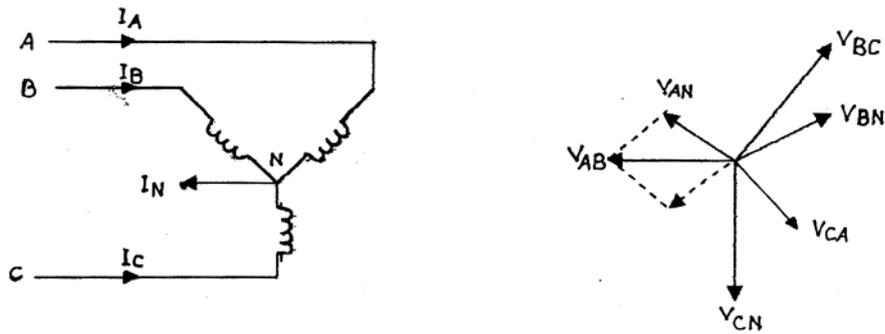
Arus transformator tiga fasa dengan kumparan yang dihubungkan secara bintang yaitu I_A, I_B, I_C untuk beban seimbang :

$$I_N = I_A + I_B + I_C \dots\dots\dots (12)$$

$$V_{AB} = V_{AN} + V_{BN} = V_{AN} - V_{BN} \dots\dots\dots (13)$$

$$V_{BC} = V_{BN} - V_{CN} \dots\dots\dots (14)$$

$$V_{CA} = V_{CN} - V_{AN} \dots\dots\dots (15)$$



Gambar 2.5 (a) Rangkaian Bintang
(b) Vektor Diagram

Dari gambar 2.5 (a) dan 2.5 (b) diketahui bahwa untuk hubungan bintang berlaku hubungan :

$$V_{AB} = \sqrt{3} V_{AN} \dots\dots\dots (16)$$

Atau

$$V_p = V_l / \sqrt{3} \dots\dots\dots (17)$$

$$I_p = I_L \dots\dots\dots (18)$$

Jadi

$$V_A \text{ hubungan bintang} = 3 V_p I_p \dots\dots\dots (19)$$

$$= 3 V_L I_p \dots\dots\dots (20)$$

$$= \sqrt{3} V_L I_L \dots\dots\dots (21)$$

Dimana

V_p = tegangan fasa

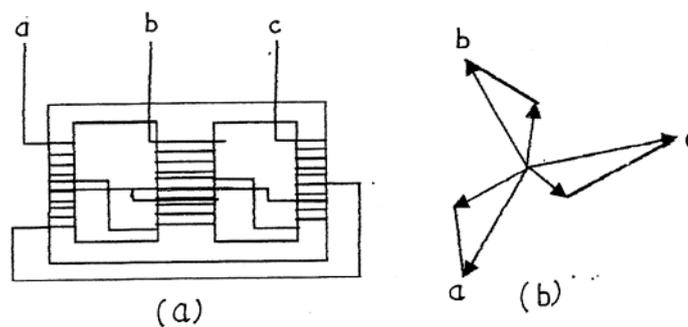
V_L = tegangan line

I_p = arus fasa

I_L = arus line

7. Hubungan Zig-Zag

Masing-masing lilitan tiga fasa pada sisi tegangan rendah dibagi menjadi dua bagian dan masing-masing dihubungkan pada kaki yang berlainan.- Perhatikan gambar 2.6. Hubungan silang atau zig-zag digunakan untuk keperluan khusus seperti pada transformator distribusi dan *transformator converter*.



Gambar 2.6 (a) Belitan Zig-Zag (b) Vektor Diagram

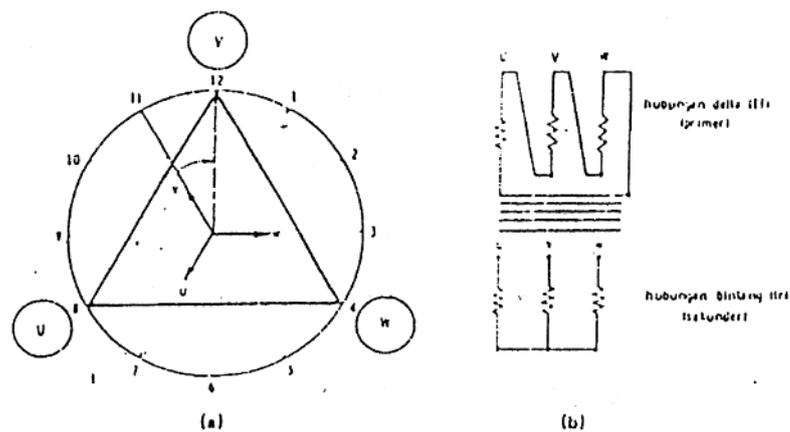
8. Kelompok Hubungan

Vektor tegangan primer dan sekunder suatu transformator dapat dibuat searah atau berlawanan dengan mengubah cara melilit kumparan. Untuk transformator tiga fasa, arah tegangan akan menimbulkan perbedaan fasa. Arah dan besar perbedaan fasa tersebut mengakibatkan adanya berbagai kelompok hubungan pada transformator.

Dalam menentukan kelompok hubungan diambil beberapa patokan sebagai berikut:

- Notasi untuk hubungan delta, bintang dan hubungan zig-zag, masing-masing adalah D, Y dan Z untuk sisi tegangan tinggi dan d, y dan z untuk sisi tegangan rendah.

- b. Untuk urutan fasa, dipakai notasi U, V, W untuk tegangan tinggi dan u, v dan w untuk tegangan rendah. Tegangan primer dianggap sebagai tegangan tinggi dan tegangan sekunder sebagai tegangan rendah.
- c. Angka jam menyatakan bagaimana letak sisi kumparan tegangan tinggi terhadap tegangan rendah. Jarum jam panjang dibuat selalu menunjuk angka 12 dan dibuat berimpit (dicocokkan) dengan vektor fasa VL tegangan line to line.
- d. Tergantung dari perbedaan fasanya, vektor fasa tegangan rendah (u, v, w) dapat dilukiskan; letak vektor fasa VI tegangan rendah line to line menunjukkan arah jarum -jam pendek.
- e. Sudut antara jarum jam panjang dan pendek adalah pergeseran antara fasa V dan v.
- f. Dengan melihat contoh gambar 2.7 dan memperhatikan patokan yang telah diberikan diatas, diketahui bahwa perbedaan fasa pada transformator mempunyai kelompok hubungan Dy11.



Gambar 2.7 (a) Diagram kelompok
(b) Hubungan Dy 11

Dalam Tabel 2.1 ditunjukkan beberapa kelompok hubungan transformator yang lazim digunakan, sesuai dengan normalisasi pabrik (VDE 0532).

Tabel 2.1 Kelompok hubungan transformator menurut VDE 0532

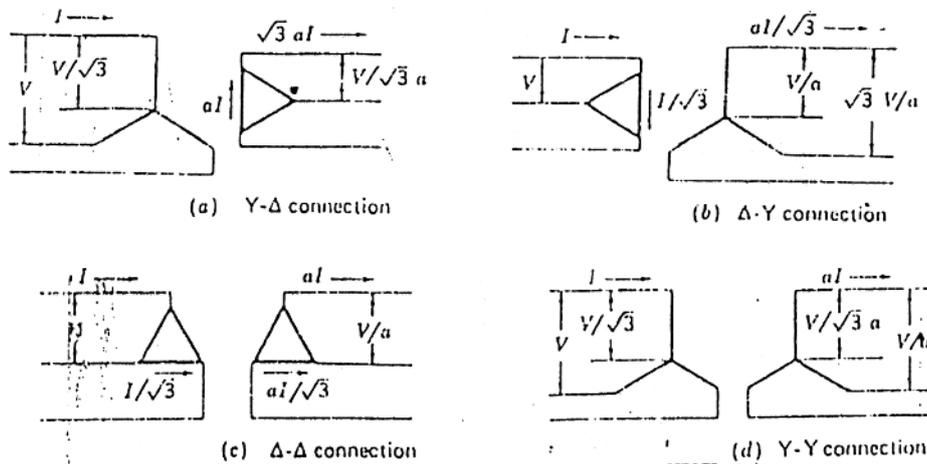
Kelompok hubungan menurut V D E 0532

Angka p.A.	Kategori hubungan	II Tegangan hinggi	II Tegangan rendah	Hubungan lilitan II	Hubungan lilitan I ₀	Perbandingan lilitan a
0	Du0					$\frac{N_1}{N_2}$
	Yy0					$\frac{N_1}{N_2}$
	Dz0					$\frac{2N_1}{3N_2}$
5	Dy5					$\frac{N_1}{\sqrt{3}N_2}$
	Yd5					$\frac{\sqrt{3}N_1}{N_2}$
	Yz5					$\frac{2N_1}{\sqrt{3}N_2}$
6	Du6					$\frac{N_1}{N_2}$
	Yy6					$\frac{N_1}{N_2}$
	Dz6					$\frac{2N_1}{3N_2}$
11	Yy11					$\frac{N_1}{\sqrt{3}N_2}$
	Yd11					$\frac{\sqrt{3}N_1}{N_2}$
	Yz11					$\frac{2N_1}{\sqrt{3}N_2}$

9. Transformator Dalam Rangkaian Tiga Fasa

Tiga transformator berfasa satu dapat dihubungkan untuk membentuk susunan tiga fasa dengan salah satu cara yang diperlihatkan pada gambar 2.8. Dari keempat bagian gambar ini kumpulan disebelah kin adalah yang sekunder. Setiap kumpulan primer dalam satu transformator dijodohkan dengan kumpulan sekunder yang digambarkan paralel dengannya. Juga diperlihatkan tegangan dan arus yang dihasilkan dari tegangan antara saluran primer V yang diberikan seimbang serta arus saluran I, bila perbandingan

lilitan primer dan sekunder NP/ MS adalah a , dan diasumsikan transformator ideal. Tegangan dan arus ukuran dari masing-masing transformator tergantung pada hubungannya.

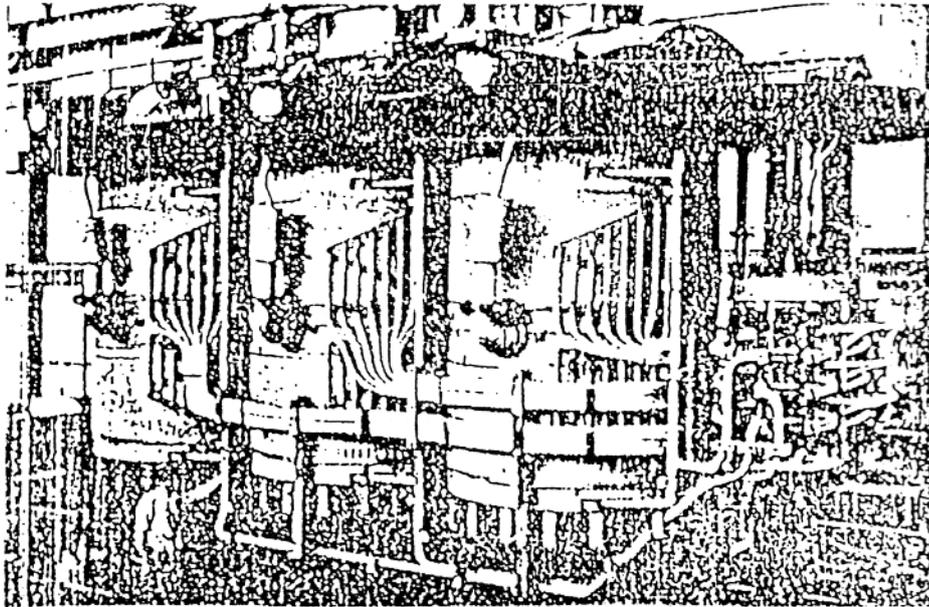


Gambar 2.8 Hubungan transformator tiga fasa yang biasa, kumparan-kumparan transformator dinyatakan oleh garis tebal

Hubungan Y - D biasa digunakan untuk menurunkan tegangan tinggi ke tegangan rendah atau menengah. Sebaliknya, hubungan D - Y biasa digunakan untuk menaikkan tegangan tinggi. Hubungan D-D mempunyai keuntungan bahwa satu transformator dapat dipindahkan untuk perbaikan atau perawatan, sementara dua yang tinggal terus berfungsi sebagai susunan tiga fasa dengan rating yang turun sampai 58% dan susunan yang asli. Hal ini dikenal sebagai hubungan delta terbuka, atau hubungan V. Hubungan Y - Y jarang digunakan karena kesukaran dan gejala arus penetralan.

Dari pada menggunakan tiga buah transformator bertasa tunggal, suatu susunan tiga fasa dapat terdiri dari satu transformator tiga fasa dengan keenam kumparannya pada inti pertama berkaki ganda dan berada didalam satu tangki.

Sebuah foto dalam sebuah transformator besar tiga fasa diperlihatkan pada gambar 2. 9.



Gambar 2.9 Transformator 200 MVA 3 Tangki 50 Hz 3 Lilitan 210/80/10,2KV Yang Dipindahkan Dari Tangkinya

Perhitungan rangkaian yang menyangkut susunan transformator tiga fasa dalam kondisi yang seimbang dapat dibuat dengan hanya memperlakukan satu dari transformator atau satu dari fasa dan mengenali bahwa untuk kedua fasa yang lain kondisinya sama kecuali untuk perpindahan fasa yang diasosiasikan dengan sistem tiga fasa. Untuk susunan Y - D atau D - Y semua besaran dapat dirujuk kesisi hubungan Y. Untuk susunan D-D dalam seri dengan kawat transmisi, lebih mudah mengganti impedansi transformator tersebut yang terhubung - Y yang ekuivalen. Suatu rangkaian terhubung -D yang seimbang dengan Z_D ohm/fasa ekuivalen dengan rangkaian terhubung Y yang seimbang dengan Z_Y ohm/fasa bila :

$$Z_Y = 1/3 Z_D \dots\dots\dots (21)$$

dimana :

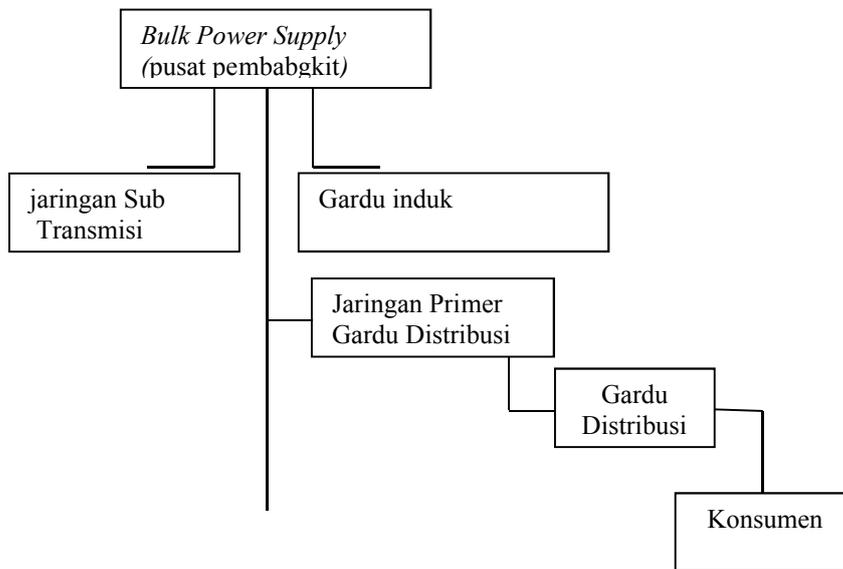
Z_y = Impedansi hubungan bintang

Z_d = Impedansi hubungan delta

B. Sistem Proteksi

Modal yang digunakan dalam suatu penyediaan tenaga listrik berupa fasilitas-fasilitas pembangkitan, transmisi dan distribusi demikian besarnya sehingga harus diatur agar seluruh sistem tidak hanya dioperasikan dengan efisiensi yang tinggi, tetapi seluruh peralatan juga harus dilindungi dan diamankan terhadap kerusakan.

Pada saluran kelistrikan untuk mengisolir bagian yang terkena gangguan digunakan relay proteksi yang masing-masing mempunyai daerah pengaman tersendiri. Maksud dan kegunaan sistem proteksi adalah untuk mengamankan peralatan dari keadaan abnormal sedini mungkin sehingga gangguan tersebut tidak sempat mengakibatkan kerusakan yang semakin besar pada peralatan. Untuk menghindari kerusakan yang semakin besar, maka diperlukan sistem proteksi yang dapat menjamin peralatan listrik dalam keadaan yang aman i gangguan dan kerusakan yang fatal.



Gambar 2 .10 Sistem Distribusi dan Bagian-bagiannya

Bulk Power Supply (Pusat Pembangkit)

Bulk power supply ini dapat berupa gardu-gardu induk yang disuplay oleh pembangkit daya utama melalui saluran transmisi atau dapat pula berupa suatu pembangkit tenaga listrik;

Jaringan Transmisi

Dimulai dari sumber daya utama sampai ke berbagai gardu induk yang berada di daerah beban. Jaringan sub transmisi dapat berupa kabel tanah, udara terbuka atau kombinasi diantaranya.

Gardu Induk

Gardu Induk ini mendapat suplay daya dari saluran sub transmisi dan mengubah tegangannya menjadi tegangan distribusi primer.

Jaringan Primer (Distribusi Primer)

Jaringan Primer biasanya tiga fasa dan berlangsung dari rel menengah gardu induk sampai pada pusat bebannya dimana kemudian dilakukan percabangan pada sub feeder 3 fasa atau dapat pula langsung dihubungkan dengan gardu distribusi.

Gardu Distribusi

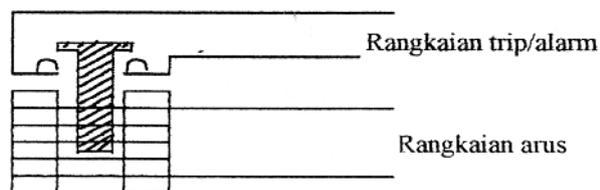
Gardu distribusi berguna untuk menurunkan tegangan dari tegangan primer menjadi tegangan rendah (*sekunder*). Biasanya pada gardu distribusi di tempatkan alat ukur seperti Voltmeter. Amperemeter. kWh-meter pengaman dan lain-lain.

1. Perangkat Sistem *Relay* Proteksi

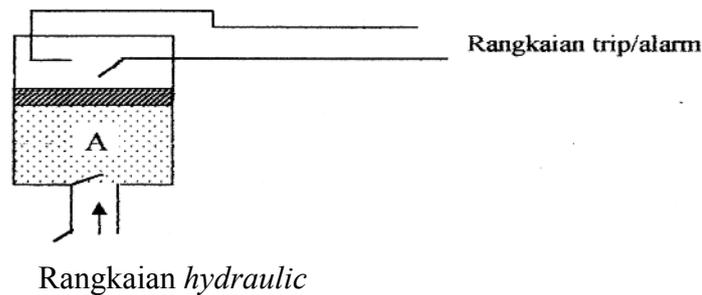
Yang dimaksud perangkat sistem proteksi adalah meliputi:

a. Relai

Relai adalah sebuah alat yang bekerja secara elektromagnetis mengatur dan memasukkan suatu rangkaian listrik (*rangkaian trip atau rangkaian alarm,*) akibat adanya perubahan rangkaian lain.



Gambar 2.11 (a) Rangkaian alarm/trip dengan rangkaian arus



Gambar 2.11 (b) Rangkaian trip/alarm dengan rangkaian hydraulic

Pada gambar 2.11 (a) rangkaian trip/alarm akan masuk apabila ada perubahan nilai tertentu dari rangkaian listrik lainnya, sedangkan pada gambar 2.11(b) rangkaian trip/alarm akan masuk apabila tekanan dalam ruang A mencapai nilai tertentu akibat adanya perubahan dari rangkaian hidraulik atau pneumatic.

Relay proteksi adalah suatu relai listrik yang digunakan untuk mengamankan peralatan-peralatan listrik terhadap kondisi abnormal. Relay proteksi pembangkit adalah suatu relai proteksi yang digunakan untuk mengamankan peralatan-peralatan listrik seperti generator, trafo utama, trafo bantu dan motor-motor listrik pemakaian sendiri suatu pembangkit.

b. PMT/PMB (*Pemutus tenaga/ Pemutus beban*)

Dari semua peralatan yang diklasifikasikan sebagai peralainan hubung, pemutus Tenaga dirancang untuk memutus arus gangguan tingkat paling tinggi didalam si stem. Disamping itu ia dapat juga memutus arus tingkat rendah seperti arus magnetisasi transformator, arus pengisian jaringan sebagaimana juga arus beban sepeera semua peralatan hubung, pemutus tenaga beroperasi untuk memisahkan konduktor listrik yaitu

(kontak-kontak). Misalkan arus masih mengalir, suatu busur api akan terbentuk antara kontak-kontak pada saat berpisah. Dalam pemutus tenaga, pemadaman busur api dapat dilakukan dengan cara :

- 1) mendinginkan busur api
- 2) menaikkan tahanan didalam busur api atau
- 3) kombinasi dari metoda- metoda diatas.

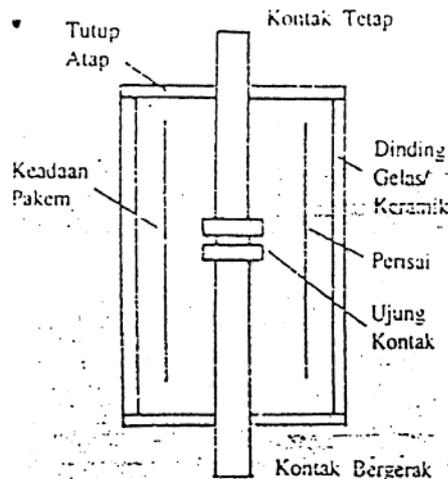
Bila tahanan listrik dalam busur api dapat dinaikkan ketempat yang tinggi. Arus akan berhenti mengalir. Pilihan lain bila temperatur busur dapat dikurangi ia akan berhenti mengionisasi media sekitarnya dan arus yang mengalir akan diputus. Suatu busur api dapat didinginkan dengan dua angka. Metode pertama dengan meniupkan angin ke arah busur, udara akan menyerap sebagian panas api dan, dengan tindakan pendinginan ini membantu pemadaman busur. Busur api dapat juga didinginkan kedalam zat lain, misalnya dalam pemutus tenaga minyak yang busur apinya terbentuk dalam isolasi minyak yang mempunyai kemampuan menyerap panas lebih tinggi dari udara.

Ada beberapa jenis pemutus tenaga antara lain pemutus tenaga hampa udara, pemutus tenaga sulphur *hexafluoride* (*SF6*) dan pemutus tenaga minyak ,

1) Pemutus tenaga hampa udara

Dalam pemutus tenaga magnetik udara, tahanan dalam busur api diperpanjang dengan cara memanjangkan busur api. Didalam pemutus sirkuit hampa, busur dihilangkan dengan membuka kontak-

kontak pemutus dalam ruangan hampa, yang mempunyai kekuatan dielektrik yang tinggi sekali. Pemutus vakum biasanya lebih ringan dan lebih kecil daripada pemutus magnetik udara. Pemutus vakum biasanya tidak digunakan untuk tegangan diatas 30 kV.



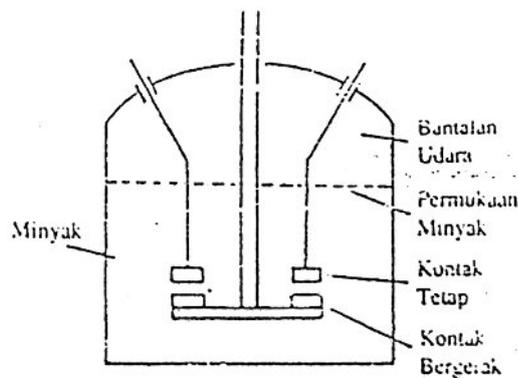
Gambar 2.12 Kontak- kontak pemutus tenaga vakum

2) Pemutus tenaga sulphur *hexafluoride* (SF6)

Seperti pemutus vakum, pemutus SF6 mempunyai kontak-kontak yang terdapat didalam suatu tabung pemutus yang tertutup rapat, tidak hampa tetapi mengandung gas SF6 dengan tekanan sedikit lebih dari tekanan udara. Tidak terbakar, mempunyai kekuatan elektrik yang tinggi (10 kali udarai dan mempunyai kemampuan menyerap panas yang tinggi sekali. Jadi pemutus SF6 memadamkan busur api baik dengan cara mendinginkan (melalui panas yang diserap) ataupun dengan menaikkan tahanan lintasannya. Karena sifat-sifatnya dieletrik dan penyerapan panas in, sebenarnya pemutus SF6 dapat memutus arus dengan seketika.

3) Pemutus tenaga minyak

Dalam pemutus tipe ini, kontak-kontak direndam dalam isolasi minyak. Minyak berfungsi untuk mendinginkan busur api dan juga berfungsi sebagai dielektrik (yaitu media isolasi) antara kontak-kontak. PMT minyak dapat dipasang berdiri bebas atau didalam kabinet atau selubung logam (metal clad).



Gambar 2.13 Ruang pemutus busur api minyak

c. Transformator *Instrument*

Besaran-besaran seperti tegangan dan arus listrik perlu diukur, juga yang terjadi diinstalasi-instalasi listrik seperti pusat-pusat pembangkit dan gardu-gardu induk.

Pada umumnya tegangan kerja pada instalasi-instalasi adalah tegangan tinggi sedangkan arus listrik yang mengalir merupakan arus yang besar pula. Bila besaran-besaran tersebut diukur secara langsung akan membutuhkan alat-alat ukur yang sangat mahal. Untuk itu dibutuhkan suatu transformator khusus untuk -menurunkan tegangan yang tinggi atau arus yang besar pada suatu rasio tertentu dari nilai mula yang tinggi.

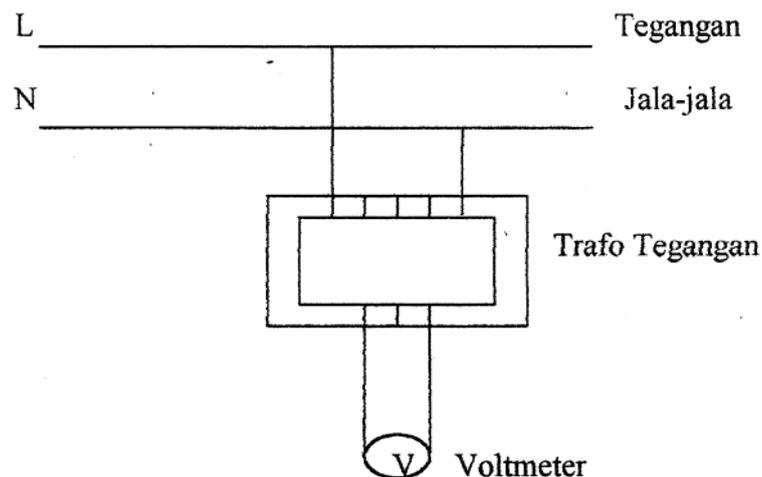
Transformator ini dinamakan transformator instrumen. Berdasarkan fungsinya trafo instrumen terbagi atas 2 jenis, yaitu :

1) Trafo Tegangan

Pada dasarnya trafo tegangan berfungsi untuk :

- a. Mentransformasikan dari tegangan tinggi ke tegangan rendah guna pengukuran dan proteksi.
- b. Sebagai isolasi antara sisi tegangan tinggi atau yang diukur/diproteksi dengan alat ~ ukurnya atau alat proteksinya.

Transformator tegangan bekerja dengan prinsip yang sama dengan transformator, daya banya saja mempunyai perbandingan transformator yang sangat teliti. Dalam penggunaannya transformator tegangan digunakan dengan menghubungkan kumparan-kumparan primernya secara parallel dengan beban dan kumparan sekundernya dihubungkan dengan sirkit tegangan dari pengukuran volt atau watt

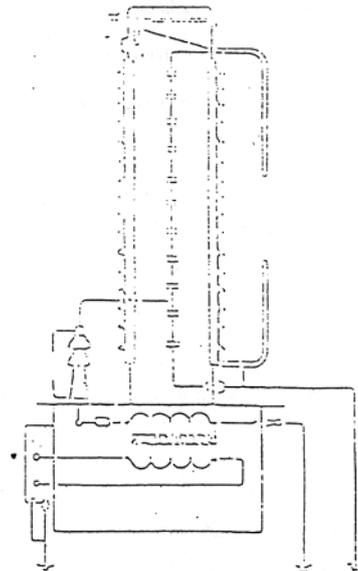


Gambar 2.14 Trafo Tegangan

Dengan cara demikian ,maka kumparan primer dan sekunder terisolasi secara cukup dari satu dengan yang lainnya, sehingga tegangan tinggi bisa ditransformasikan ke tegangan rendah untuk keperluan pengukuran dengan aman. Trafo tegangan biasanya dirancang sedemikian rupa sehingga jika pada tegangan primer memiliki tegangan tertentu maka pada tegangan sekunder mempunyai tegangan 150 volt atau 120 volt.

Ada beberapa jenis trafo tegangan antara lain :

- a. Trafo tegangan dengan inti besi seperti transformator biasa, umumnya untuk tegangan rendah sampai dengan tinggi.
- b. Trafo tegangan dengan kapasitor, disadap pada tegangan menengah kemudian diturunkan dengan transformator ke tegangan rendah, umumnya digunakan pada tegangan tinggi dan ekstra tinggi (*Capasitive Voltage Transformer = CVT*)



Gambar 2.15 Trafo tegangan tipe CVT

Pada transformator tegangan terdapat 2 kesalahan :

- a. Kesalahan perbandingan rasio

$$E = (K_n E_s - E_p) / E_P \times 100\% \dots\dots\dots(22)$$

K_n = Perbandingan transformasi nominal

- b. Kesalahan sudut.

Perbandingan sudut sisi tegangan sekunder kurang atau lebih dari 180° terhadap sisi tegangan primer

- c. Standar kelas ketelitian : 0,1 ; 0,2 ; 0,5 ; 1,0

Tabel. 2.2 Batas Kesalahan Dan Pergeseran Sudut

Klas	Kesalahan Rasio Tegangan (persen) +/-	Pergeseran Sudut (Menit) +/-
0,1	0,1	5
0,2	0,2	10
0,5	0,5	20
10	10	10

Untuk tegangan 80% sampai 120% dari tegangan pengenal dengan beban 25 sampai 100% beban pengenal pada p.f 0,8 tertinggal

Tabel 2.3 Batas Kesalahan Tegangan Dan Pergeseran Sudut Untuk Proteksi

Klas	Kesalahan Rasio Tegangan (persen) +/-	Pergeseran Sudut (Menit) +/-
3P	0,1	5

Burden dari trafo tegangan menunjukkan kemampuan beban yang disambung pada trafo tegangan termasuk impedansi kawat-kawat penghubung serta burden meter atau relai sehingga karakteristik tetap memenuhi klasnya.

Hal - hal yang perlu diperhatikan pada sebuah transformator tegangan antara lain ;

- a. Salah satu sisi sekunder harus dibumikan.
- b. Rangkaian sekunder harus dipasanga sekering atau MCB, sedekat mungkin dengan terminal sekunder.
- c. Rangkaian sekunder harus terbuka (*Open*)

2) Trafo Arus Trafo arus berfungsi untuk :

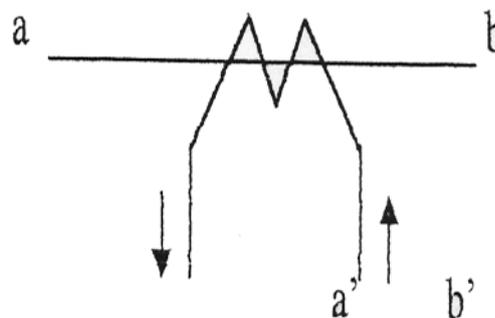
- a. Mentransformasikan besaran arus dari nilai arus yang besar ke arus yang kecil yang digunakan untuk pengukuran dan proteksi.
- b. Sebagai isolasi antara sisi tegangan yang diukur atau di proteksi dengan alat ukurnya atau alat proteksinya

Pada trafo arus untuk pengukuran sifatnya akan linear pada nilai arus yang kecil. sedangkan untuk proteksi sifatnya pada arus yang kecil tidak linear, nanti pada saat arus besar baru sifatnya linear.

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 yang mana hal ini digunakan dengan menggunakan

beberapa lilitan kawat bertahanan rendah yang mampu membawa arus saluran yang nilainya tertentu.

Untuk memperkecil arus, maka pada trafo arus lilitan sekunder lebih banyak dan lilitan primernya. Perbandingan arus primer dan sekunder adalah berbanding terbalik dengan jumlah lilitan primer dan sekunder. Trafo arus biasanya dirancang sedemikian rupa sehingga jika pada sisi primer mengalir arus tertentu maka pada sekunder mengalir arus sebesar 5 amper. Gulungan primer suatu transformator arus biasanya berupa lilitan tunggal. Lilitan tunggal ini diperoleh dengan memasukkan penghantar primer melalui satu atau beberapa jenis teras baja tiroid (*lilitan primer a dan b*), sedangkan lilitan sekunder ditandai dengan a' dan b' yang merupakan gulungan berlilitan banyak yang digulungkan pada teras tiroid tersebut.



Gambar 2.16 Skema Hubungan Trafo Arus

Pada dasarnya trafo arus memiliki dua pengenal yaitu trafo arus dengan 2 pengenal primer dan trafo arus dengan multi rasio. Berdasarkan jumlah intinya ada dua transformator arus yaitu transformator arus dengan 2 inti dan transformator dengan 3 inti.

Masing- masing inti (*core*) dapat mempunyai klas atau burden yang sama atau berbeda.

Burden trafo arus merupakan impedansi dari rangkaian sekunder trafo arus yang sering dinyatakan dalam ohm. Biasanya dinyatakan dalam Voltamper (VA) yang diserap pada faktor daya tertentu dan pada arus pengenal sekunder serta tidak mengurangi kelas ketelitiannya. Untuk menunjukkan klas ketelitian trafo arus (.CT.i) dapat dinyatakan oleh kesalahannya. Ada beberapa kesalahan CT antara lain :

- a. Kesalahan perbandingan, $E = (K_n I_s - I_p) / I_p \times 100\%$ dimana
 - K_n = pengenal perbandingan transformator
 - I_p = arus primer
 - I_s = arus sekunder
- b. Kesalahan sudut fasa (*phase angle error*).
Perbedaan atau pergeseran vektor arus sekunder terhadap arus primer, kurang atau lebih besar dari 180°
- c. Kesalahan Composit (*Composit error*), merupakan nilai efektif dari $(K_n I_s - I_p)$ yang diintegrasikan untuk satu putaran (*cycle*).

Tabel.2,4 Batas Kesalahan CT untuk Meter

Klas Ketelitian	+/- Kesalahan rasio arus (dalam %) terhadap percentage arus pengenal				+/-Pergeseran fasa pada persentase dari arus pengenal (men it)			
	5	20	100	120	5	20	100	120
0,1	0,4	0,2	OJ	0,1	15	8	5	5
0,2	0,75	0,35	0,2	0,2	30	15	10	10
0,5	1,5	0,75	0,5	0,5	90	45	30	30
1,0	3,0	1,5	1,0	1,0	180	90	60	60

Tabel.2. 5 Kesalahan Arus untuk Proteksi

Klas ketelitian	Pada arus pengenal		Kesalahan komposit pada batas ketelitian arus primer pengenal
	Kesalahan rasio	Kesalahan sudut	
5 P	+/-1%	+/-60	5%
10 P	+/-3%	-	10%
15 p	+/-5%	-	15%

Pada dasarnya transformator arus CT untuk meter dan relai memiliki ciri-ciri sebagai berikut:

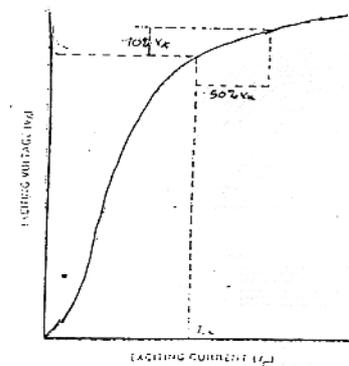
a. Meter

- 1) Teliti untuk daerah kerja 5 sampai 120% In
- 2) Cepat jenuh
- 3) Kelas kesalahan 0,5 ; 1

b. Relai

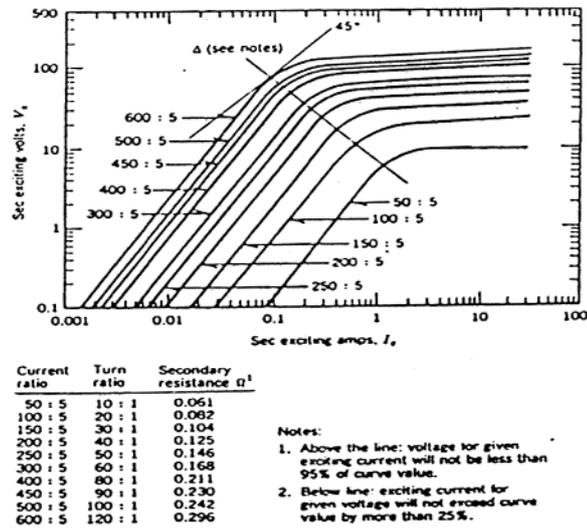
- 1) Kelas ketelitian relatif rendah
- 2) Kejenuhan tinggi
- 3) Kelas kesalahan : 5 sampai 1 %

Hal - hal yang harus diperhatikan pada transformator arus CT adalah salah satu sisi sekunder harus dibumikan dan rangkaian sekunder tidak boleh terbuka



Gambar 2. 17 Lengkung kemagnitan (Curva magnetisasi) BS 3938

Kurva magnetisasi pada dasarnya terdiri dari daerah lutut dan daerah jenuh (saturation) dimana trafo arus tidak boleh bekerja pada daerah jenuh, oleh karena itu diperlukan titik lutut atau tegangan lutut (VK). Berdasarkan BS 3938, VK adalah titik dimana bila arus dinaikkan 50%, maka tegangan akan naik 10% sedangkan berdasarkan ANSI, VK adalah titik singgung garis dengan sudut 45^o dengan kurva tegangan vs arus eksitasi yang digambar pada skala log-log.



Gambar 2.18 Kurva kejenuhan (saturation curve), ANSI

d. Baterai

Alat yang mengubah energi kimia menjadi energi listrik disebut sel listrik. Bila beberapa sel listrik dihubungkan secara listrik maka akan membentuk battere. Pada dasarnya setiap sel adalah 2 logam atau konduktor-konduktor yang tak sama yang . dicelupkan didalam larutan penghantar. Puda-sistem proteksi yang -digunakan adalah sel sekunder atau penyimpan yang mana sel dalam keadaan fisis dan kimiawi dan elektroda dan elektrolitnya dapat disimpan kembali dengan mengisinya. Pengisian sel yang demikian terdiri dan melakukan pengisian arus melalui sel dalam arah yang berlawanan dengan aliran arus pengosongan. Ada beberapa macam sel penyimpan dan yang paling umum yaitu asam timbal (lead acid) dan nickelnickelalkaline. Sel asam timbal memiliki

tegangan terminal kira-kira 2 volt sedangkan nickelkadmiu alkaline kira-kira 1,2 volt.

e. Pengawatan.

Pengawatan pada dasarnya berfungsi menyalurkan atau meneruskan besaran-besaran atau signal listrik dari dan ke perangkat proteksi yang satu ke perangkat proteksi yang lainnya.

2. Fungsi dan Peranan Relai Proteksi

Nilai investasi peralatan listrik pada suatu pembangkit listrik sedemikian besarnya sehingga perhatian yang khusus harus diutamakan agar setiap peralatan tidak hanya dapat beroperasi dengan efisiensi yang optimal, tetapi juga teramankan dari kerusakan yang fatal. Akibat dan suatu kerusakan yang fatal adalah antara lain kerugian biaya investasi, kerugian operasi dan terganggunya pelayanan.

Untuk itulah relai proteksi sangat diperlukan pada peralatan pembangkit dan hampir semua peralatan tidak dibiarkan beroperasi tanpa proteksi.

Adapun fungsi dan peranan relai proteksi antara lain :

- a. Memberikan sinyal alarm atau melepas pemutus tenaga dengan maksud mengisolir gangguan atau kondisi tidak normal misalnya, beban lebih, kenaikan suhu, hubung singkat dan kondisi tidak normal lainnya.
- b. Melepaskan peralatan yang tidak berfungsi dengan normal untuk mencegah timbulnya kerusakan

- c. Melepas peralatan yang terganggu secara cepat dengan tujuan mengurangi kerusakan yang berat
- d. Melokalisir kemungkinan dampak akibat gangguan dengan memisahkan peralatan yang - terganggu dari system agar peralatan lain yang berada pada system tidak terganggu
- e. melepas peralatan atau bagian yang terganggu secara cepat dengan maksud menjaga stabilitas system, kontinuitas pelayanan dan unjuk kerja sistem.

Secara umum fungsi dan peranan reiai proteksi adalah mencegah kerusakan, membatasi kerusakan dan mencegah meluasnya gangguan sistem. Dalam penggunaannya maka relay proteksi harus memiliki syarat-syarat antara lain :

a. Andal (*Reliable*)

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

b. Cepat (*Speed*)

Waktu kerja relai cepat, makin cepat relay bekerja kerusakan akibat gangguan diperkecil dapat diperkecil. Adakalanya dan selektivitas dikehendaki adanya penundaan waktu. Tetapi secara keseluruhan tetap dikehendaki waktu kerja relai yang cepat. Jadi harus dapat memberikan selektivitas yang baik dengan waktu yang cepat.

c. Peka (*Sensitive*)

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

d. Selektif (*Selektive*)

Suatu relai 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 relai 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 dan dapat beroperasi dengan normal. Dikatakan selektif bila relai proteksi bekerja hanyalah pada daerah terganggu saja.

3. Klasifikasi Relai Proteksi

Berdasarkan azas kerja, penggunaan dan tipe konstruksinya, relai proteksi dapat diklasifikasikan seperti pada tabel 2.6 dibawah ini. label 2.6.

Klasifikasi Relai Proteksi.

AZAS KERJA	TIPE KONSTRUKSI	PENGGUNAAN
Tarikan magnet listrik (<i>Electromagnet attraction</i>)	<i>Plunger type</i> <i>Balance beam type</i> <i>Hinged armature type</i>	Relai seketika (<i>instantenous</i>)

	<i>Polarised moving iron type</i> Permanen magnet <i>moving coil typ</i>	
Induksi magnet listrik (<i>electromagnet induction</i>)	<i>Induction disc type</i> <i>Induction Cup type</i>	Relay dengan waktu tunda (<i>time delay relay</i>)
<i>Relay</i> suhu/panas (<i>thermal relay</i>)	Bimetallic strip type <i>Thermo couple type electronic</i>	Proteksi motor dan mesin-mesin listrik
<i>Relay</i> yang digerakkan oleh gas (<i>gas actualled relay</i>)	<i>Bucholz relay</i> Sudden pressure relai	Proteksi trafo
Static relai	Rangkaian electronic	<i>Complex protective system</i>

4. Gangguan Pada Transformator Daya

Macam- macam gangguan transformator dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

a. Gangguan luar (*External Fault*)

Gangguan luar dimaksud adalah gangguan yang diakibatkan oleh, atau terjadinya diluar daerah pengaman transformator yang dapat merupakan sumber kerusakan pada transformator. Gangguan-gangguan tersebut antara lain:

1) Beban lebih (*Overload*)

Pembebanan lebih yang melampaui kapasitasnya menyebabkan pemanasan yang berlebihan akibat kenaikan suhu. Suhu yang tinggi dapat mengakibatkan :

a) Memperpendek umur transformator (*Life time*).

b) Merusak isolasi dan material belitan .

2) Hubung singkat diluar (*External short circuit*)

Terjadinya hubung singkat baik fasa ke fasa maupun fasa ke tanah diluar daerah pengamanan *transformator* dapat merusak bagian-bagian *transformator* akibat arus hubung singkat yang besar B.

Gangguan dalam (*Internal fault*)

Gangguan dalam yang dimaksudkan adalah gangguan yang bersumber dan dalam *transformator* itu sendiri.

Gangguan dalam pada transformator dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

a) Gangguan listrik

Gangguan ini tergolong gangguan berat yang umumnya adalah gangguan listrik dan langsung dapat menyebabkan kerusakan pada bagian-bagian transformator. Gangguan ini biasanya dapat terdeteksi langsung oleh relai-relai arus dan tegangan tidak seimbang. Gangguan tersebut antara lain :

- Gangguan hubung singkat fasa ke fasa atau fasa ke tanah pada terminal belitan tegangan tinggi atau rendah.
- Gangguan hubung singkat fasa ke fasa atau fasa ke tanah pada belitan tegangan tinggi atau rendah.
- Hubung singkat diantara gulungan lilitan tegangan tinggi atau rendah.

- Hubung singkat pada lilitan terrier atau hubung singkat diantara belitan tertier.

b) Gangguan awal

Gangguan ini sering diistilahkan "incipient Fault) yang gangguan yang tergolong ringan dan berawal dari gangguan kecil namun kemudian secara perlahan-lahan berkembang menjadi gangguan berat dan mengakibatkan kerusakan apabila tidak segera terdeteksi. Keadaan gangguan seperti ini dapat terdeteksi oleh relai-relai arus dan tegangan tidak seimbang.

Gangguan-gangguan tersebut antara lain :

- Kendornya baut-baut atau ring pada terminal konduktor.
- Gangguan pada inti besi akibat kerusakan laminasi isolasi yang menimbulkan percikan bunga api dibawah minyak.
- Gangguan di sistim pendingin, seperti kerusakan pada pompa sirkulasi minyak, kipas pendingin dan bagian-bagian dari sistim pendingin lamnya yang dapat menyebabkan kenaikan suhu operasi yang tinggi, meskipun transformator masih beroperasi dibawah beban penuh.
- Adanya kemungkinan pengentalan minyak atau kebuntuan pada bagian-bagian tertentu, sehingga sirkulasi minyak menjadi lerganggu yang dapat mengakibatkan pemanasan setempat (*local hot spot*) pada bagian belitan.

- Gangguan atau tidak berfungsinya bagian-bagian mekanik dari tap perubah beban (*Load tap changer*) akibat pemasangan yang kurang sempurna (*Loss contact*, getaran dan lain sebagainya).
- Kebocoran minyak dari bagian las-lasan.
- Gangguan pada terminal bushing akibat adanya kontaminasi, keretakan, penuaan, binatang dan lain sebagainya.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat

a. Waktu

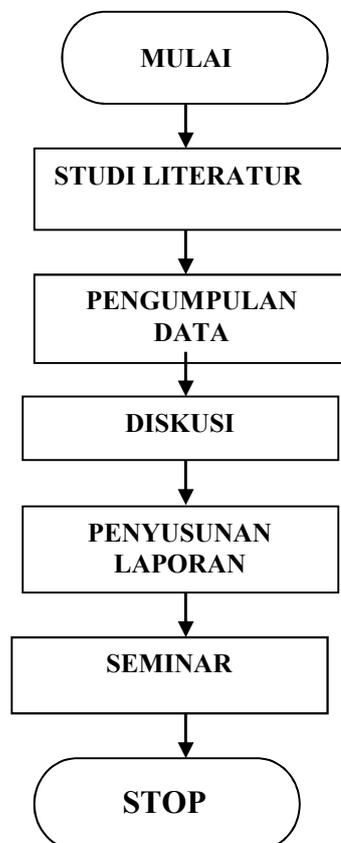
Pembuatan tugas akhir ini akan dilaksanakan selama 6 bulan, mulai dari bulan Agustus 2018 sampai dengan Januari 2019 sesuai dengan perencanaan waktu yang terdapat pada jadwal penelitian.

b. Tempat

Penelitian dilaksanakan di Gardu Induk Saluallo di Kecamatan Sangalla Kabupaten Tana Toraja.

B. Metode Penelitian

Alur 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.

Adapun langkah-langkah yang ditempuh oleh penulis dalam penyusunan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

Metode Pustaka

Yaitu mengambil bahan-bahan penulisan tugas akhir ini dari referensi-referensi serta literatur-literatur yang berhubungan dengan masalah yang dibahas tentang sistem distribusi tenaga listrik jaringan tegangan rendah.

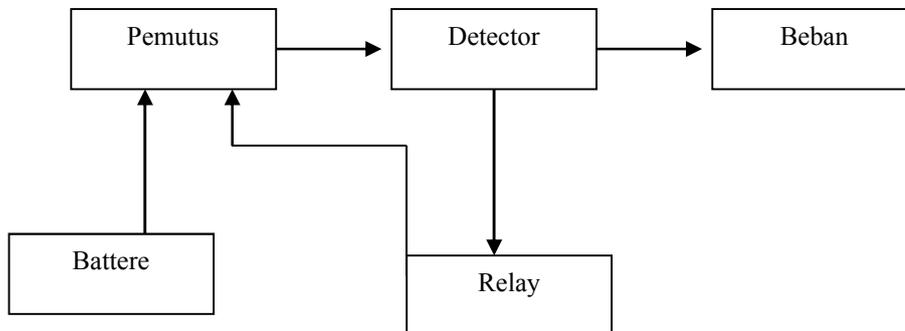
Metode Penelitian

Mengadakan penelitian dan pengambilan data pada di Gardu Induk Saluallo di Kecamatan Sangalla Kabupaten Tana Toraja, Kemudian mengadakan pembahasan/analisa hasil pengamatan dan menyimpulkan hasil analisa tersebut.

Metode Diskusi/Wawancara

Yaitu mengadakan diskusi/wawancara dengan dosen yang lebih mengetahui bahan yang akan kami bahas atau dengan pihak praktisi pada di Gardu Induk Saluallo di Kecamatan Sangalla Kabupaten Tana Toraja.

C. Gambar Blok Diagram Jaringan tegangan Rendah



Gambar 3.1 Diagram blok sistem proteksi

Pemutus : Berfungsi untuk menutup/memisahkan rangkaian pada kondisi aktif

Detector :Berfungsi untuk mendeteksi perubahan parameter dan menginformasikan data tersebut ke relai

Relay : Membandingkan besaran parameter yang dibaca oleh detektor dan mengevaluasi apakah akan melanjutkan kepada pemutus jika perlu.

Baterai : Memberikan energi listrik pada pemutus dan *relay*

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Sistem *Proteksi Transformator*

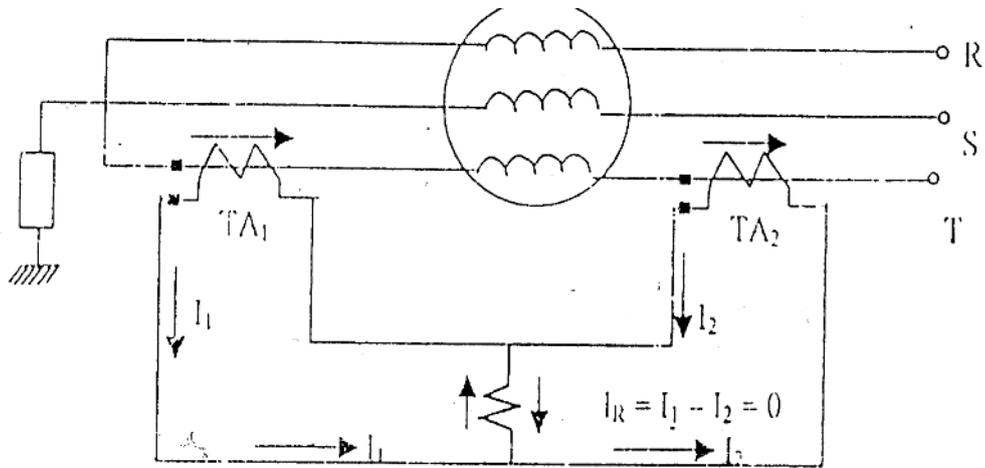
Besarnya nilai investasi yang tertanam dalam system penyediaan tenaga listrik memerlukan suatu pengaturan agar sistem tidak hanya dioperasikan dengan efisiensi setinggi mungkin, akan tetapi seluruh peralatan juga harus diamankan dan dilindungi dari kerusakan.

Transformator daya merupakan peralatan yang penting dalam system tenaga listrik oleh karena itu *transformator* dalam penggunaannya perlu diamankan dan dilindungi dan kerusakan. Secara umum proteksi trafo dapat digolongkan atas dua kelompok jenis pengaman, yaitu:

1. Pengamanan objek, yaitu proteksi trafo maupun system terhadap gangguan yang terjadi dalam transformator itu sendiri.
2. Pengamanan system, yaitu proteksi trafo terhadap gangguan yang terjadi didalam system tenaga listrik diluar transformator.

B. *Relay Differential*

Relay differential merupakan pengaman utama pada transformator daya untuk gangguan hubung singkat antar fasa dengan fasa maupun hubung singkat fasa dengan tanah didalam daerah yang diamankan. Prinsip kerja proteksi berdasarkan prinsip keseimbangan yaitu membandingkan arus-arus sekunder dan terminal yang terpasang pada terminal peralatan yang diproteksi.



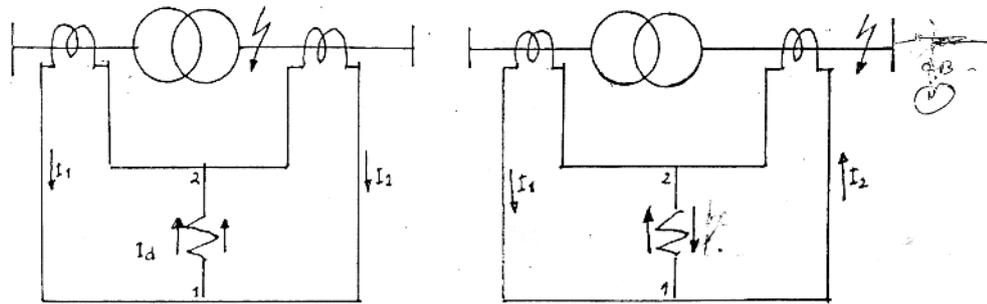
Gambar 4.1 Skema dasar proteksi differential

Jika *relay* proteksi *differential* dipasang antara 1 dan 2, maka dalam kondisi beban normal tidak ada arus yang mengalir melalui *relay* seperti pada gambar 4.1

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

Bila terjadi gangguan di daerah pengamannya (*internal*) maka arah sirkulasi arus disalah satu sisi akan terbalik dan menyebabkan keseimbangan pada kondisi normal terganggu seperti terlihat pada gambar 4.2, akibat ini arus IR akan mengalir melalui *relay* dari terminal 1 ke terminal 2. Bila arus tersebut (IR) lebih besar dari settingnya, maka *relay* akan bekerja.

$$I_R = I_1 + I_2 \dots\dots\dots(24)$$



Gambar 4.2a. Gangguan Internal b. Gangguan eksterna

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

$$\text{Arus rate trafo } I_n = \frac{(\quad)}{\sqrt{(\quad)}} \dots\dots\dots (25)$$

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

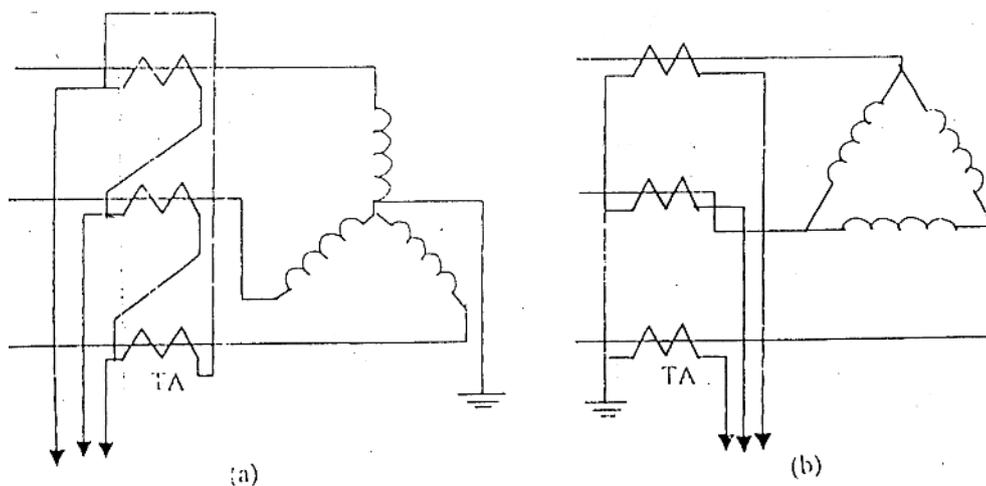
$$I_r = I_n \times CT \dots\dots\dots (26)$$

Dalam memproteksi *transformator* daya dengan *relay differensial*, ada dua hal pokok yang merupakan syarat mutlak yang harus dipenuhi adalah *relay differensial* tidak boleh bekerja pada keadaan beban normal dan *relay differensial* harus bekerja apabila terjadi gangguan dalam zone pengaman *relay differensial* tersebut.

Pada pemakaian *relay differensial* untuk memproteksi *transformator* daya, harus diperhatikan bahwa antara besaran sisi primer dan besaran sisi sekunder kadang-kadang terdapat pergeseran sudut fase yang disebabkan oleh perbedaan hubungan 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 differensial*.

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 4.3 berikut.



Gambar 4.3 a. Hubungan transformator arus pada sisi *wye transformator* daya

b. Hubungan transformator arus pada sisi delta transformator daya

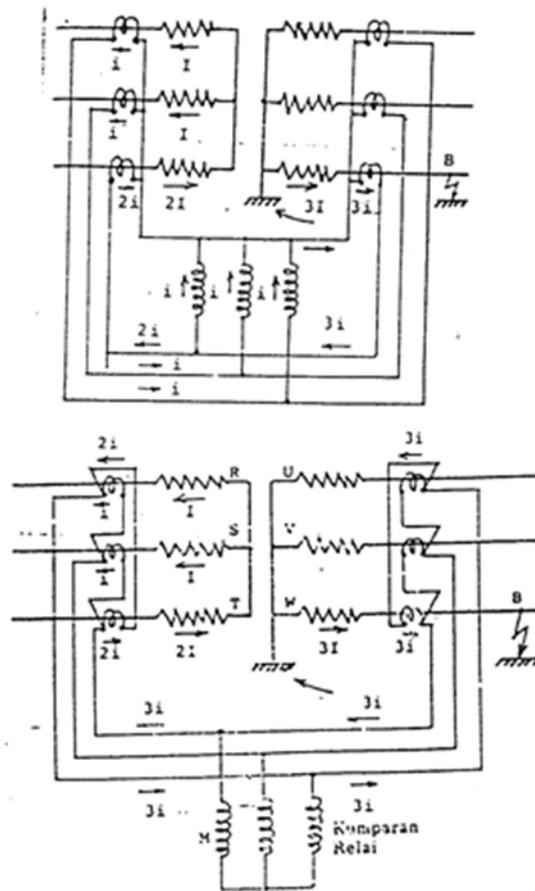
Dalam keadaan ini, tiga transformator arus dibutuhkan pada tiap sisi transformator daya. Hubungan sekunder transformator arus harus sedemikian , sehingga dalam keadaan normal dan gangguan luar tidak ada • arus yang mengalir dalam belitan kerja *relay differensial*.

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 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 secara *wye-wye*, tidak ada pergeseran fasa antara primer dan sekunder, namun demikian untuk mempertahankan stabilitas relay differensial terhadap gangguan ke tanah yang terjadi diluar transformator, maka transformator arus pada kedua sisi hubungan *wye transformator* daya harus dihubungkan delta.

Jelas bahwa kesesuaian tassa akan diperoleh bila kedua kelompok transformator arus pada kedua sisi wye transformator daya dihubungkan secara wye, tetapi akan terlihat bahwa dalam keadaan ini *relay differensial* akan stabil terhadap gangguan yang lewat untuk gangguan antar fasa, tetapi tidak stabil terhadap gangguan fasa ke tanah diluar daerah pengamannya.

Keadaan ini diperlihatkan dalam gambar 4.4. Dengan memperlihatkan gambar 4.4 a, arus sekunder yang masuk dan keluar dari kawat-kawat pilot tidak sama pada kedua ujung transformator arus dan karena itu tidak berjumlah nol dalam lilitan *relay*. Sedangkan pada gambar 4.4 sebaliknya benar dan tidak ada arus yang mengalir dalam belitan kerja relay.



Gambar 4.4

- memperlihatkan keadaan kerja *relay differensial* untuk gangguan ke tanah di luar trafo, bila trafo dihubung Y
- memperlihatkan kestabilan *relay* terhadap gangguan ke tanah di luar trafo dimana trafo arus dihubungkan delta.

C. Data Teknis

1. Transformator

- Tahun : 1999
- Nomor : 96326
- *Type of cooling* : ON AN/ON AF
- *Frekuensi* : 50 Hz
- *Group vektor* : YNynO (d₁₁)
- *Number phase* : 3
- *Spesifikasi* : IEC
- Temp. Rise Of Windin g : 55°C
- *Temp. Rise Of Oil* : 50°C
- Berat total : 53500 Kg
- Berat Oli : 17750 Kg
- Buatan : *Group Schneider*

<i>High voltage</i>		<i>low voltage</i>	
150 KV + ₋ 10,5/-15%		20 KV	
<i>Stabiling tertiary</i>			
6700 KV		10 KV	
<i>Insulation level</i>			
BIL	L.F	BIL	L.F
Line 650 kV	275 kV	125 kV	50 kV
Neutral	38 kV	125 kV	50 kV

Tapping characteristic

Tap	tegangan	arus		Tap	tegangan	arus
1	165	69,7		20000		577
8	150000	77,07				
18	127 500	91				

	Tap	impedansi	tap rating
	1	12,85%	20000
	8	12,41%	20000
	18	12,4%	20000

Tabel 4.1 *Tapping characteristic*

2. Relay differensial untuk transformator

Type : SEPAM DO2
 Frekuensi : 50 Hz
 Arus : 5A
 Setting Arus : 5 A
 No : 769585

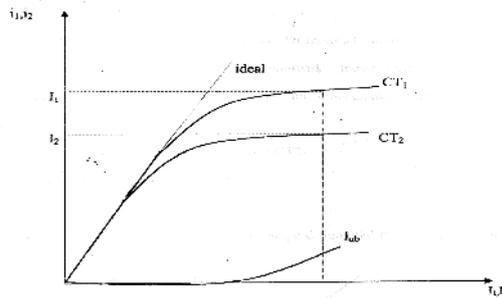
D. Sistem Proteksi *Relay Differential* Pada *Transformator Daya*

Berdasarkan data dari PT.PLN (Persero) Pikitring relay *differential* yang digunakan pada transformator daya adalah *Relay percentage differential type SEPAM D02* . Relay ini bekerja apabila arus gangguan yang melewati CT lebih besar dari setting 30% dari rating 5A *percentage differential* relay digunakan karena terdapatnya masalah-masalah yang disebabkan oleh:

1. Ketidak-samaan karakteristik transformator arus
2. Perubahan perbandingan transformator karena perubahan tap pada transformator daya
3. 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_{ub} adalah karakteristik kelengkungan magnetik dari CT1 dan CT2 terutama pada rasio hubung singkat yang besar yang akan menyebabkan arus sekunder tidak lagi linear terhadap arus primer karena kejenuhan CT dan beban CT1 tidak sama dengan beban CT2.

Karena perbedaan tegangan pada kedua sisi transformator arus CT1 lebih besar dari arus CT2 maka arus differential sama dengan selisih CT1 dan CT2, 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 diluar zone proteksinya :



Gambar 4.5 Perbandingan karakteristik CT yang menyebabkan timbulnya ketidak seimbangan 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 pada kedua sisi transformator daya merupakan hal yang penting dalam memproteksi transformator daya dengan relai differential.

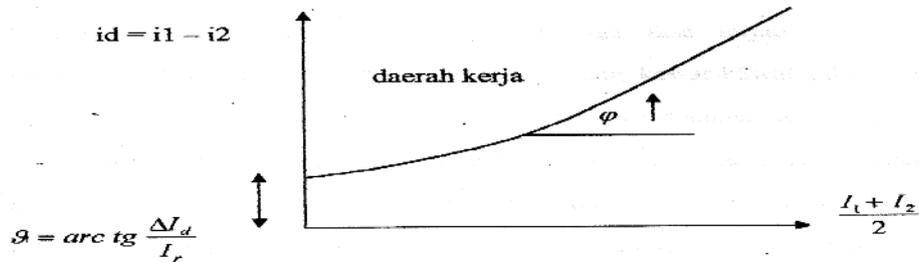
Jelas bahwa tidak mungkin transformator arus dapat mengirabangi semua kedudukan tap, jika transformator arus tidak dilengkapi dengan perubahan tap namun demikian tidak praktis untuk mengubah tap-tap pada transformator arus setiap kali perubahan tap dilakukan pada transformator daya.

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

1. Ketidakseimbangan antara arus pada CT1 dan CT2
2. Perubahan tap pada transformator daya

3. Arus magnetisasi.

Karakteristik differential dan *relay percentage differential* dinyatakan pada gambar 4.6



Gambar 4.6 Karakteristik *relay differential percentage*

V = Prosentase

g = Minimum *pick-up*

Pada *relay differential percentage* setiap kutub relay dilengkapi dengan belitan penyanggah (*restraining coil*) dan belitan kerja (*Operating coil*).

Dalam keadaan gangguan luar, dimana relay tidak diharapkan bekerja yang ditnginkan bahwa tidak ada arus yang mengalir dalam betitan kerja. Namun demikian, karena ketidaksesuaian transformator arus, maka ada sedikit arus yang mengalir dalam belitan kerja relai. Meskipun demikian, relay tetap tidak bekerja selama perbandingan antara arus kerja (*operating current*) terhadap arus penyanggah (*restraining current*), yang merupakan setting dari *percentage differential relay* tidak dilampaui.

sebagai contoh ketika terjadi gangguan tiga fasa terjadi pada sisi feeder diluar transformator daya, arus yang bersikulasi dalam kawat-kawat pilot akan melalui belitan penyanggah secara keseluruhan. Suatu ketidakseimbangan arus (11 - 12) 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 $(11 + 12)/2$, akan lebih dominan sehingga rela tidak bekerja.

E. Setting Relay

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

1. Transformator daya pada Gardu Induk Saluallo

Transformator daya ini mempunyai daya sebesar 20 MVA, tegangan Transformator 150/20 KV.

a. Arus pada sisi primer

1) sisi 150kV

$$I_{n1} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V} = \frac{20000}{\sqrt{3} \cdot 150000} = 8,08 \text{ A}$$

2) sisi 20 KV

$$I_{n2} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V} = \frac{20000}{\sqrt{3} \cdot 20000} = 577,35 \text{ A}$$

b. Arus pada sisi sekunder

1) Sisi 150 kV

$$I_{ns1} = \frac{I_{n1}}{K} = \frac{8,08}{3,15} = 2,57 \text{ A}$$

2) Sisi 2 kV

$$I_{ns2} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V} = \frac{165,5}{\sqrt{3} \cdot 2} = 4,81 \text{ A}$$

Dipilih rasio CT1 = 150/5 A dan CT2 = 60/5A

2. Ratio pada interposing CT

a. Tap tegangan transformator

No	Tegangan (kVA)	Arus (A)
1	2	3
165,5	69,66	
8	150	77,07
9	147,75	78,15
18	127,50	90,6

Tabel 4.2 Tap Tegangan transformator

2 Perbandingan ICT

$$n_{p1}, n_{s1} : 1 - 44$$

$$n_{p2}, n_{s2} : 18,25,43$$

3 Pemilihan perbandingan ICT

$$n_{p1} = 41 ; n_{s1} = 13$$

$$n_{p2} = 43 ; n_{s2} = 25$$

4 Selisih arus pada tap tegangan 165,75 kV :

$$I_p(165,75) = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V} \cdot \frac{1}{\sqrt{3}} = 3,82 \text{ A}$$

$$I_s(165,75) = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V} \cdot \frac{1}{\sqrt{3}} = 4,32 \text{ A}$$

$$I_d(165,75) = I_p - I_s = 3,82 - 4,32 = 0,5 \text{ A}$$

10 % dari arus 5 A

5 Selisih arus pada tap tegangan 150 kV :

$$I_p(150) = \frac{5}{\sqrt{3}} \times \frac{150}{150} \times \sqrt{3} = 4,27 \text{ A}$$

$$I_s(150) = \frac{5}{\sqrt{3}} \times \frac{150}{150} \times \sqrt{3} = 4,32 \text{ A}$$

$$I_d(150) = I_p - I_s = 4,27 - 4,32 = 0,05 \text{ A}$$

1 % dari arus 5A

6 Selisih arus pada tap tegangan 147,75 kV :

$$I_p(147,75) = \frac{5}{\sqrt{3}} \times \frac{147,75}{150} \times \sqrt{3} = 4,29 \text{ A}$$

$$I_s(147,75) = \frac{5}{\sqrt{3}} \times \frac{147,75}{150} \times \sqrt{3} = 4,32 \text{ A}$$

$$I_d(147,75) = I_p - I_s = 4,29 - 4,32 = 0,03 \text{ A}$$

0,6% dari arus 5A

7 Selisih arus pada tap tegangan 127,5 kV :

$$I_p(127,5) = \frac{5}{\sqrt{3}} \times \frac{127,5}{150} \times \sqrt{3} = 4,95 \text{ A}$$

$$I_s(127,5) = \frac{5}{\sqrt{3}} \times \frac{127,5}{150} \times \sqrt{3} = 4,32 \text{ A}$$

$$I_d(127,5) = I_p - I_s = 4,95 - 4,32 = 0,63 \text{ A}$$

12,6 % dari arus 5A

8 Nilai arus rata-rata pada tap tegangan 150 kV

$$\frac{I_p + I_s}{2} = \frac{4,27 + 4,32}{2}$$

$$= 4,29 \text{ A}$$

Toleransi relay differential untuk transformator pada Gardu Induk Saluallo adalah 30%, Maka

$$4,29 + (4,29 \times 30\%) = 5,57 \text{ A}'$$

Maka *relay* akan bekerja.

Jadi jika *relay* disetting pada nilai 5 ampere adalah nilai yang cocok, Besamya kecuraman dari karakteristik *relay differential* jenis *percentage* yang digunakan pada Gardu Induk Saluallo adalah

$$\vartheta = \text{arc tg } \frac{A}{B}$$

$$\vartheta = \text{arc tg } \frac{A'}{B'}$$

$$\vartheta = 16,^\circ$$

BAB IV

PENUTUP

A. Kesimpulan

Dari pembahasan diatas maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Untuk mengamankan transformator yang ada pada Gardu Induk Saluallo dari suatu kerusakan, maka relai yang digunakan adalah relai proteksi *differensial percentage type* SEP AM D02.
2. Besarnya arus setting yang diperoleh dari hasil perhitungan adalah 4,29 ampere pada tap tegangan 150 kV sedangkan dari data yang ada di lapangan nilai arus setting yang digunakan adalah 5 ampere.
3. Besarnya kecuraman/*slope* dari hasil perhitungan adalah $16,1^\circ$, sedangkan dari data yang ada dilapangan adalah $16,6^\circ$.

B. Saran-saran .

1. Melihat kondisi dan peralatan listrik yang ada pada gardu induk Saluallo, diharapkan pihak PLN lebih meningkatkan pemeliharaan dan perawatan serta pemeriksaan terhadap peralatan yang ada secara berkala.
2. Dengan membandingkan basil perhitungan arus setting yang diperoleh dari basil perhitungan, maka arus setting yang ada dilapangan perlu untuk ditinjau kembali.
3. Dengan membandingkan hasil perhitungan kecuraman karakteristik dari hasil yang diperoleh, maka perlu untuk meninjau kembali karakteristik relai yang ada di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdul khadir ", *Transformator*", Jakarta , Elex Media Komputindo ,” 2016
- B.M. Weady, *Sistem Tenaga Listrik*, Edisi Ketiga, Aksara Persada Indonesia, 2017
- Gonen Turan, "*Modern Power System Analysis*",Canada, John wiley and sons Inc,” 2016
- Jhon Parson and H.G. Barnet, "*Electrical Translation and Distribution Reference Book*", Westinghouse Electrical Corparation, Eats Pittsburg, Fourth Edition, 2016.
- Wahid Kadir , "*Transmisi Tegangan Listrik*", Jakarta, UI-Press. ”2017
- Perusahaan Listrik Negara (PLN), "*Sistem Proteksi Transformator*", Pusdiklat.
- PLN Wilayah VIII, "*Hasil Rapat Dinas Tahunan PLN Wlayah VIII*", Makassar, 10 Mei2017.
- Sutoyo. . Maslin, ", *Transformator*\ Yogyakarta, Andi Offset ,” 2017
- Soemarto Sudirman Ir., "*Pola Pengaman Sistem Distribusi*", Topik I, Perusahaan Umum Listrik Negara, Jakarta, 2017.
- Tahir Harahap Ir., "*Studi Distribusi Sulawesi Selatan dan Tenggara*", Perusahaan Listrik Negara, Makassar, 18 April 2017.
- Perusahaan Listrik Negara (PLN)", *Sistem Proteksi Transformator*", Pusdiklat.