



**PENSTABILAN TEGANGAN SEKUNDER PADA  
TRANSFORMATOR DAYA 150/20 KV  
AKIBAT JATUH TEGANGAN**

Skripsi

diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana  
Pendidikan Program Studi Pendidikan Teknik Elektro

Oleh  
Maula Firdha Safala NIM.5301409055

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG**

**2016**

## PENGESAHAN

Skripsi dengan judul Penstabilan Tegangan Sekunder Pada Transformator Daya 150/20 KV Akibat Jatuh Tegangan telah dipertahankan di depan sidang Panitia Ujian Skripsi Fakultas Teknik UNNES pada tanggal 10 bulan Agustus tahun 2016.

Oleh

Nama : Maula Firdha Safala  
NIM : 5301409055  
Program Studi : Pendidikan Teknik Elektro

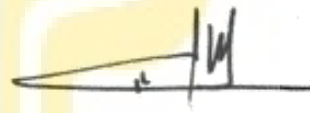
Panitia Ujian:

Ketua Panitia



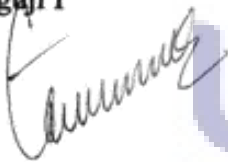
Dr.-Ing. Dhidik Prastiyanto, S.T., M.T.  
NIP. 197805312005011002

Sekretaris



Drs. Agus Suryanto, M.T.  
NIP. 196708181992031004

Penguji I



Drs. Sutarno, M.T.  
NIP.195510051984031001

Penguji II



Drs. Sri Sukanta, M.Si.  
NIP. 196505081991031003

Penguji III / Pembimbing



Drs. Agus Murnomo, M.T.  
NIP. 195506061986031002

Mengetahui  
Dekan Fakultas Teknik UNNES



Dr. Nur Oidus, M.T.  
NIP. 196911301994031001

## PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa :

1. Skripsi ini, adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (sarjana, magister, dan/atau doktor), baik di Universitas Negeri Semarang (UNNES) maupun di perguruan tinggi lain.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Pembimbing dan masukan Tim Penguji.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasi orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi ini.

Semarang, Agustus 2016  
Yang membuat pernyataan

  
Maula Firdha Safala  
NIM. 5301409055

**UNNES**  
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

## PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama : Maula Firdha Safala

NIM : 5301409055

Program Studi : S – 1 Pendidikan Teknik Elektro

Judul Skripsi : Penstabilan Tegangan Sekunder Pada Transformator Daya 150/20

KV Akibat Jatuh Tegangan.

Skripsi ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang panitia ujian skripsi Program Studi S-1 Pendidikan Teknik Elektro Jurusan Teknik Elektro FT. UNNES.

Semarang, Agustus 2016

Pembimbing



Drs. Agus Murnomo, M.T.  
NIP. 195506061986031002

**UNNES**  
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji syukur hanya untuk Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya dan memberikan kekuatan bagi peneliti dalam menjalankan aktifitas selama perkuliahan ini. Sholawat serta salam selalu tercurah untuk Rasul Muhammad SAW. Berkat kekuatan dan pertolongan Allah SWT, akhirnya dapat diselesaikan skripsi yang berjudul "Penstabilan Tegangan Sekunder Pada Transformator Daya 150/20 KV Akibat Jatuh Tegangan."

Dalam penulisan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, saran dan dorongan baik moril maupun materil dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan tidak mengurangi rasa hormat, pada kesempatan kali ini ingin disampaikan ucapan terima kasih kepada yang terhormat:

1. Prof. Dr. Fathur Rokhman, M.Hum. Rektor Universitas Negeri Semarang.
2. Dr. Nur Qudus, M.T. Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
3. Dr.-Ing. Dhidik Prastiyanto, S.T., M.T. Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
4. Drs. Agus Murnomo, M.T. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, motivasi dan arahan dalam menyelesaikan skripsi ini.
5. Bapak, ibu dosen dan staf di Jurusan Teknik Elektro UNNES yang telah memberikan ilmu pengetahuan kepada penulis,
6. Bapak dan ibu pegawai PLN Gardu Induk Kudus yang telah memberikan ijin dalam pelaksanaan penelitian.
7. Bapak dan ibu pegawai PLN APD Jawa Tengah dan Yogyakarta yang telah memberikan ijin pelaksanaan penelitian.
8. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, yang turut serta memberikan dukungan selama penyusunan skripsi ini.

Akhirnya diharapkan semoga hasil penelitian ini bermanfaat bagi pembaca khususnya dan perkembangan pendidikan pada umumnya.

Semarang, Juli 2016

Penulis



## ABSTRAK

Safala, Maula Firdha. 2016. **Penstabilan Tegangan Sekunder Pada Transformator Daya 150/20 KV Akibat Jatuh Tegangan**. Skripsi. Program Studi Pendidikan Teknik Elektro, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang. Drs. Agus Murnomo, M.T.

**Kata Kunci** : *Tap Changer*, Transformator Daya, Jatuh Tegangan.

Perusahaan Listrik Negara sebagai pengelola listrik berusaha memberikan pelayanan tenaga listrik sesuai dengan kebutuhan konsumen dengan cara menyediakan sistem tenaga listrik yang mempunyai mutu, kontinuitas dan keandalan yang tinggi, hal ini dapat dicapai apabila sistem tenaga listrik mempunyai tegangan yang stabil dan konstan pada nilai yang sudah ditentukan. Kenyataannya sulit mendapatkan tegangan yang konstan yang disebabkan antara lain: adanya fluktuasi beban, kerugian pada hantaran yang mempunyai impedansi sehingga menyebabkan jatuh tegangan. Untuk mempertahankan tegangan keluaran pada sisi sekunder transformator agar tetap konstan pada harga 20 kV, maka digunakan pengubah sadapan (*tap changer*) yang dipasang pada transformator daya 150/20 kV dan bekerja secara otomatis terhadap setiap perubahan tegangannya yang disebabkan oleh jatuh tegangan karena adanya perubahan beban dan rugi hantaran. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui langkah perubahan posisi *tap* pada *on load tap changer* dalam memperbaiki tegangan sisi sekunder transformator daya 150/20 kV.

Metode penelitian yang digunakan adalah metode penelitian deskriptif dengan menggunakan pendekatan kuantitatif. Metode penelitian deskriptif sebagai kegiatan yang meliputi pengumpulan data dalam rangka menguji hipotesis atau jawaban pertanyaan yang menyangkut keadaan yang sedang berjalan dari pokok suatu penelitian. Penelitian deskriptif menentukan dan melaporkan keadaan sekarang. Populasi dalam penelitian ini adalah semua transformator daya 150/20 kV di gardu induk Kudus. Pengambilan sample dalam penelitian ini menggunakan teknik purposive sample yaitu transformator III HYUNDAI – 60 MVA dengan 6 penyulang di gardu induk Kudus.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa persentase jatuh tegangan pada transformator III HYUNDAI - 60 MVA di bawah standart SPLN 72 : 1987 yaitu maksimal sebesar 3%. Transformator III dilengkapi dengan OLTC dengan merk MR yang berguna untuk menstabilkan tegangan sisi sekunder yang diakibatkan oleh jatuh tegangan karena adanya pembebanan yang bervariasi. Persentase jatuh tegangan pada sisi ujung penyulang bervariasi tergantung pada panjang penghantar dan beban arus setiap penyulang. Dari hasil perhitungan beban rata-rata bulan Juni 2016 penyulang 6 dan 10 masih dibawah standar SPLN 72 : 1987 yaitu maksimal jatuh tegangan sebesar 5 %. Besarnya jatuh tegangan pada penyulang 10 dipengaruhi oleh panjang penghantar yang sepanjang 37,892 km.

## DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PENGESAHAN .....	ii
PERYATAAN KEASLIAN .....	iii
PERSETUJUAN BIMBINGAN .....	iv
KATA PENGANTAR .....	v
ABSTRAK .....	vii
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR TABEL .....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xv
BAB I PENDAHULUAN .....	1
A. Latar Belakang .....	1
B. Rumusan Masalah .....	3
C. Batasan Masalah .....	3
D. Tujuan Penelitian .....	3
E. Manfaat Penulisan .....	4
F. Sistematika Penulisan .....	5
BAB II LANDASAN TEORI .....	6
A. Gardu Induk .....	6
1. Klasifikasi Gardu Induk .....	7
2. Jenis Gardu Induk Berdasarkan Isolasi Busbar .....	9
3. Perlengkapan Gardu Induk .....	9
B. Transformator .....	10
1. Jenis Transformator .....	10
2. Penggunaan Transformator .....	11
C. Transformator Daya .....	13
1. Prinsip Kerja Transformator .....	13
2. Bagian Utama Transformator Daya .....	16



3. Peralatan/bagian Bantu Transformator .....	20
4. Peralatan Proteksi Internal Transformator .....	24
5. Rugi-rugi Pada Transformator .....	27
6. Jatuh Tegangan Pada Transformator .....	29
7. Besaran per-Satuan/per-Unit (pu) .....	30
D. Tap Changer .....	31
1. Jenis Tap Changer Berdasarkan Ada Tidaknya Pembebanan .....	32
2. Prinsip Kerja Tap Changer .....	32
3. Bagian-bagian OLTC .....	34
4. Macam-macam OLTC .....	39
5. Konsep Perpindahan Tap pada OLTC .....	43
6. Pengaturan dan Perhitungan Posisi Tap Pada AVR .....	49
7. Fenomena-fenomena pada On Load Tap Changer .....	50
E. Daya .....	52
1. Daya Semu .....	53
2. Daya Aktif atau Nyata .....	54
3. Daya Reaktif .....	54
F. Jatuh Tegangan .....	56
1. Konsep Dasar Perhitungan Jatuh Tegangan .....	56
2. Perhitungan Jatuh Tegangan .....	58
G. Kerangka Berfikir .....	60
H. Hipotesis .....	63
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b> .....	64
A. Waktu dan Tempat .....	64
B. Metode Penelitian .....	64
C. Sumber Daya dan Variabel Penelitian .....	65
D. Populasi dan Sample .....	66
E. Instrumen Pengumpulan Data .....	67
F. Metode Pengumpulan Data .....	68
G. Data Penelitian .....	68
H. Analisis Data .....	81

I. Hasil Analisis Data .....	91
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....	95
A. Hasil Penelitian .....	95
B. Pembahasan .....	98
BAB V PENUTUP .....	108
A. Kesimpulan .....	108
B. Saran .....	108
DAFTAR PUSTAKA .....	110
LAMPIRAN .....	112



## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Macam-macam pendingin pada transformator .....	21
Tabel 2. Tipe-tipe OLTC pada transformator .....	42
Tabel 3. Populasi transformator distribusi di gardu induk Kudus .....	66
Tabel 4. Sampel unit transformator tempat penelitian .....	67
Tabel 5. Data <i>short circuit impedance</i> transformator PAUWELS .....	69
Tabel 6. Data <i>temperature winding &amp; oil</i> transformator PAUWELS.....	70
Tabel 7. Data <i>name plate tap</i> transformator .....	70
Tabel 8. Data <i>rate power</i> transformator UNINDO.....	72
Tabel 9. Data <i>rate voltage</i> transformator UNINDO .....	72
Tabel 10. Data <i>rate current</i> transformator UNINDO .....	72
Tabel 11. Data <i>rate lighting impulse</i> dan <i>rated power frequency</i> .....	72
Tabel 12. Data <i>temperature winding &amp; oil</i> transformator UNINDO.....	73
Tabel 13. Data <i>name plate</i> posisi tap transformator UNINDO.....	73
Tabel 14. Data <i>name plate</i> transformator HYUNDAI .....	76
Tabel 15. Data tegangan, arus dan impedansi .....	76
Tabel 16. Data <i>L.V side</i> transformator HYUNDAI .....	76
Tabel 17. Data <i>bushing current</i> transformator HYUNDAI .....	77
Tabel 18. Data pengukuran beban puncak tranfo 3/60 MVA 150/20 kV .	78
Tabel 19. Data pengukuran tegangan sisi primer dan posisi tap OLTC ..	79
Tabel 20. Data panjang keluaran trafo III HYUNDAI-60 MVA.....	79
Tabel 21. Data resistansi dan reaktansi penghantar AAAC .....	80
Tabel 22. Data faktor daya setiap penyulang .....	80
Tabel 23. Pengukuran beban maksimal bulan Juni 2016 .....	80
Tabel 24. Pengukuran beban rata-rata bulan Juni 2016 .....	81
Tabel 25. Jatuh tegangan trafo III HYUNDAI-60 MVA bulan Juni 2016	91
Tabel 26. Perpindahan posisi tap 23 Juni dan 24 Juni 2016 .....	91
Tabel 27. Jatuh tegangan setiap penyulang saat beban maksimal Juni 2016 pukul10.00 WIB .....	92

Tabel 28. Jatuh tegangan setiap penyulang saat beban maksimal Juni 2016 pukul 19.00 WIB .....	93
Tabel 29. Jatuh tegangan setiap penyulang saat beban rata-rata Juni 2016 pukul 10.00 WIB .....	93
Tabel 30. Jatuh tegangan setiap penyulang saat beban rata-rata Juni 2016 pukul 19.00 WIB .....	94
Tabel 31. Jatuh tegangan transformator dan posisi tap pada transformator daya (trafo III HYUNDAI-60 MVA) gardu induk Kudus .....	95
Tabel 32. Jatuh tegangan setiap penyulang pada bulan Juni 2016 .....	97



## DAFTAR GAMBAR

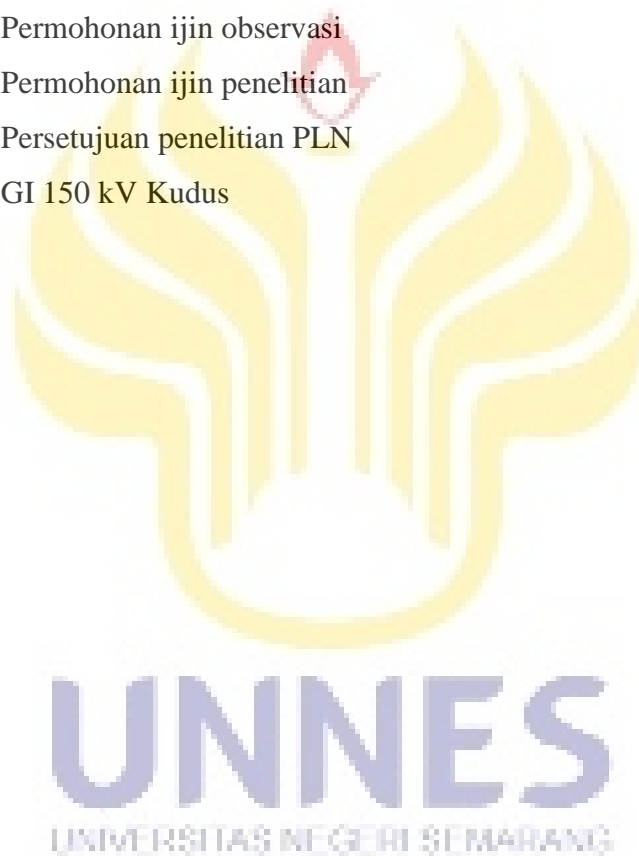
	Halaman
Gambar 1. Simbol transformator <i>step up</i> .....	10
Gambar 2. Simbol transformator <i>step down</i> .....	11
Gambar 3. Prinsip kerja transformator .....	14
Gambar 4. Belitan <i>on load tap changer</i> transformator .....	16
Gambar 5. Inti besi dan laminasi yang diikat <i>fiber glass</i> .....	17
Gambar 6. Kumparan fasa RST .....	18
Gambar 7. Tangki konservator minyak trafo .....	20
Gambar 8. Pendingin transformator type ONAF .....	21
Gambar 9. <i>On load tap changer</i> .....	22
Gambar 10. Cara kerja <i>relay bucholz</i> dan kegunaannya .....	25
Gambar 11. <i>Sudden pressure relay</i> .....	26
Gambar 12. Bagian-bagian dari <i>relay thermal</i> .....	27
Gambar 13. Rangkaian transformator berbeban .....	29
Gambar 14. Prinsip dasar OLTC .....	34
Gambar 15. Bagian-bagian <i>on load tap changer</i> .....	35
Gambar 16. OLTC pada transformator .....	36
Gambar 17. Panel kontrol dan <i>motor drive unit</i> .....	38
Gambar 18. Susunan <i>tap winding</i> .....	40
Gambar 19. Tipe-tipe OLTC Merk MR .....	42
Gambar 20. OLTC merk ABB .....	43
Gambar 21. Konsep perpindahan kombinasi <i>deverter switch</i> dan <i>selector switch</i> .....	44
Gambar 22. Konsep perpindahan <i>selector switch</i> .....	47
Gambar 23. Segitiga daya .....	55
Gambar 24. Rangkaian diagram satu fasa .....	57
Gambar 25. Diagram fasor .....	57
Gambar 26. Skema kerangka berfikir .....	62

Gambar 27. <i>Flowchart</i> menentukan tegangan keluaran transformator berdasarkan perubahan tap .....	96
Gambar 28. <i>Flowchart</i> menentukan besar jatuh tegangan transformator .	99
Gambar 29. Grafik persentase jatuh tegangan trafo daya III HYUNDAI.	100
Gambar 30. Grafik persentase jatuh tegangan saat beban maksimal bulan Juni 2016 .....	103
Gambar 31. Grafik pesentase jatuh tegangan saat beban rata-rata bulan Juni 2016 .....	104



## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1. Laporan beban puncak trafo gardu induk Kudus 150 kV
- Lampiran 2. Pemantauan beban puncak harian trafo gardu induk Jateng & DIY
- Lampiran 3. Usulan Pembimbing Skripsi
- Lampiran 4. Penetapan Dosen Pembimbing Skripsi
- Lampiran 5. Permohonan ijin observasi
- Lampiran 6. Permohonan ijin penelitian
- Lampiran 7. Persetujuan penelitian PLN
- Lampiran 8. GI 150 kV Kudus



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **A. Latar Belakang**

Dewasa ini kebutuhan akan tenaga listrik terus meningkat, semakin banyak masyarakat yang menggunakan peralatan elektronik, dimana peralatan elektronik menghendaki tegangan yang konstan. Karena pada umumnya peralatan elektronik menggunakan tenaga listrik yang mengakibatkan meningkatnya kebutuhan akan tenaga listrik, maka hal tersebut menimbulkan suatu pemikiran yaitu bagaimana Perusahaan Listrik Negara (PLN) sebagai pengelola listrik berusaha memberikan pelayanan tenaga listrik sesuai dengan kebutuhan konsumen dengan cara menyediakan sistem tenaga listrik yang mempunyai mutu, kontinuitas dan keandalan yang tinggi, dimana hal ini dapat dicapai apabila sistem tenaga listrik itu mempunyai tegangan yang stabil dan konstan pada nilai yang sudah ditentukan, bergantung pada keandalan sistem tenaga listrik yang dimulai dari pusat pembangkit sampai ke pusat beban.

Kenyataannya sulit mendapatkan tegangan yang konstan yang disebabkan antara lain; adanya fluktuasi beban, kerugian pada hantaran berupa saluran udara ada pula yang berupa saluran kabel yang mempunyai impedansi sehingga menyebabkan jatuh tegangan, dimana tegangan yang dinyatakan dalam volt, merupakan perkalian arus dengan impedansi peralatan penyaluran tenaga listrik. Semakin besar harga resistansi dari penghantar, akan semakin besar susut



tegangan, selain jatuh tegangan disebabkan oleh rugi pada hantaran juga disebabkan pembagian beban listrik pada konsumen yang tidak merata.

Fluktuasi tegangan sangat mempengaruhi beban-beban sensitif misalnya untuk daerah beban industri yang menggunakan motor-motor listrik dan peralatan listrik lain, yang pada dasarnya membutuhkan penyediaan tenaga listrik secara terus-menerus dengan tegangan yang konstan. Dengan pertimbangan tersebut maka transformator daya 150/20 kV pada gardu induk yang merupakan transformator yang letaknya dekat dengan pusat beban harus selalu dapat menyalurkan tenaga listrik dengan suatu harga tegangan yang dapat diatur konstan dengan nilai tertentu pada sisi sekundernya. Untuk mempertahankan tegangan keluaran pada sisi sekunder transformator agar tetap konstan pada harga 20 kV, maka digunakan pengubah sadapan (*tap changer*) yang dipasang pada transformator daya 150/20 kV dan bekerja secara otomatis terhadap setiap perubahan tegangannya yang disebabkan oleh jatuh tegangan karena adanya perubahan beban dan rugi hantaran. Sehingga perlu adanya analisis dalam perhitungan jatuh yang disebabkan oleh rugi hantaran yang berpengaruh dalam setingan *on load tap changer* (OLTC) yang bertujuan untuk meningkatkan kualitas tegangan di ujung penyulang. Oleh karena itu, peneliti akan melakukan penelitian dengan judul **“Penstabilan Tegangan Sekunder Pada Transformator Daya 150/20 KV Akibat Jatuh Tegangan”**.

## **B. Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang masalah di atas, pada penelitian ini dapat dirumuskan :

1. Bagaimana langkah menentukan perubahan posisi *tap* pada *on load tap changer* dalam menstabilkan tegangan sekunder akibat jatuh tegangan?
2. Apa penyebab utama menaikkan tegangan keluaran transformator dari nilai nominal yang tertera pada transformator daya?

## **C. Batasan Masalah**

Dalam penelitian ini, permasalahan dibatasi hanya membahas mengenai penstabilan tegangan sekunder transformator daya 150/20 kV akibat fluktuasi tegangan primer di gardu induk Kudus, penelitian berlangsung pada bulan Juni 2016. Penelitian dilaksanakan berdasarkan metode pendekatan, dengan studi kasus Gardu Induk Kudus.

## **D. Tujuan Penelitian**

Berdasarkan rumusan masalah diatas dapat diketahui tujuan dari penelitian yaitu:

1. Mengetahui langkah menentukan perubahan posisi *tap* pada *on load tap changer* dalam menstabilkan tegangan sekunder transformator daya di gardu induk Kudus.
2. Mengetahui penyebab utama menaikkan tegangan keluaran transformator dari nilai nominal yang tertera pada transformator daya.

## E. Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh antara lain sebagai berikut:

1. Bagi PT. PLN, Penelitian ini akan menambah kepustakaan sebagai salah satu bahan pertimbangan dalam mengembangkan jaringan distribusi tenaga listrik yang sudah ada di sekitar daerah Gardu Induk Kudus.
2. Bagi lembaga pendidikan (Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang), Penelitian ini akan menambah kepustakaan sebagai salah satu sumber penulisan karya ilmiah lebih lanjut.
3. Bagi penulis, Penelitian ini akan memperluas wawasan pengetahuan tentang sistem distribusi tenaga listrik, khususnya tentang *on load tap changer* dan jatuh tegangan pada sisi penyulang.

## **F. Sistematika Penulisan**

Untuk membantu pembaca dan pihak yang berkepentingan lebih mudah dalam memahami isi laporan skripsi ini, maka penulis membuat sistematika penulisan yang urut sebagai berikut :

### **BAB I PENDAHULUAN**

Pada bab ini akan dibahas mengenai latar belakang masalah, alasan pemilihan judul identifikasi masalah, pembatasan masalah, perumusan masalah, tujuan masalah, manfaat penelitian dan sistematika penulisan

### **BAB II LANDASAN TEORI**

Pada bab ini akan dibahas mengenai teori dan konsep dasar yang nantinya menjadi landasan dalam pembahasan materi pokok.

### **BAB III METODE PENELITIAN**

Pada bab ini akan dibahas mengenai metode penelitian yang dipakai selama menyelesaikan penelitian di kampus Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

### **BAB IV HASIL PENELITIAN, ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

Pada bab ini akan dibahas mengenai data hasil penelitian kemudian dianalisis sesuai dengan metode yang telah ditentukan pada bab III dan selanjutnya dilakukan pembahasan terhadap hasil penelitian tersebut.

### **BAB V PENUTUP**

Pada bab ini berisi kesimpulan dan saran. Kesimpulan berisi hal-hal terpenting yang telah diuraikan dalam bab sebelumnya yang menjadi inti pokok pembahasan.

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

#### **A. Gardu Induk**

Gardu induk merupakan suatu sistem instalasi listrik yang terdiri dari beberapa perlengkapan peralatan listrik dan menjadi penghubung listrik dari jaringan transmisi ke jaringan distribusi primer, jaringan transmisi adalah bagian sistem dari sistem tenaga listrik yang tugasnya adalah menyalurkan tenaga listrik, dari pembangkit listrik ke gardu induk penaik melalui jaringan transmisi ke gardu induk penurun hingga di distribusikan ke semua konsumen pengguna tenaga listrik (Alsimeri, 2008 : 184). Sistem tenaga listrik Jawa Bali Tahun 2014 Jumlah Gardu induk sebanyak 1233 dengan 47 Gardu Induk Tegangan Ekstra Tinggi (GITET) 500 KV, 7 GI 275 KV, 980 GI 150 KV, 196 GI 70 KV dan 3 GI 25-30 KV. Menurut Afandi A.N (2010 : 32) adalah bagian dari suatu sistem tenaga yang dipusatkan pada suatu tempat berisi saluran transmisi dan distribusi, perlengkapan hubung bagi, transformator, dan peralatan pengaman serta peralatan kontrol. Gardu induk merupakan salah satu komponen utama dalam suatu proses penyaluran tenaga listrik dari pembangkit ke konsumen (beban). Sedangkan fungsi utama dari gardu induk adalah untuk mengatur aliran daya listrik dari saluran transmisi yang satu kesatuan transmisi yang lain, mendistribusikan ke

konsumen, sebagai tempat untuk menurunkan tegangan transmisi menjadi tegangan distribusi, sebagai tempat kontrol dan pengaman operasi sistem.

### 1. **Klasifikasi Gardu Induk**

Menurut Afandi A.N (2010) menjelaskan berdasarkan jenis konstruksi letak pemasangan gardu induk dibedakan atas:

- a. Gardu induk jenis pemasangan luar yaitu gardu induk ini terdiri dari peralatan tegangan tinggi pemasangan luar, misalnya transformator, peralatan penghubung (*switch gear*) dan lain sebagainya, yang mempunyai peralatan kontrol pemasangan dalam seperti meja penghubung (*switch board*) dan baterai. Gardu induk untuk transmisi yang mempunyai kondensator pemasangan dalam dan sisi tersier trafo utama dan trafo pemasangan dalam, pada umumnya disebut juga sebagai jenis pemasangan luar. Jenis pemasangan luar memerlukan tanah yang luas namun biaya konstruksinya murah dan pendinginannya mudah, karena itu gardu induk jenis ini biasanya dipasang di pinggiran kota dimana harga tanah masih murah.
- b. Gardu induk jenis pasang dalam yaitu gardu induk jenis pemasangan dalam ini, baik peralatan tegangan tinggi seperti trafo utama peralatan penghubung dan kontrolnya seperti meja penghubung dan sebagainya terpasang didalam. Meskipun ada sejumlah kecil peralatan terpasang diluar. Gardu induk ini disebut juga jenis pemasangan dalam. Bila sebagian dari peralatan tegangan tingginya dibawah tanah, gardu induk itu dapat disebut jenis pemasangan setengah bawah tanah (*semi under ground type*). Jenis pemasangan dalam di pakai di pusat kota, dimana harga tanah mahal

dan di daerah pantai dimana ada pengaruh kontaminasi garam. Disamping itu jenis ini mungkin di pakai untuk menjaga keselarasan dengan daerah sekitarnya, juga untuk menghindari kebakaran dan gangguan suara.

- c. Gardu induk jenis pasang setengah pasang luar adalah gardu induk yang sebagian dari peralatan tegangan tingginya terpasang didalam gedung. Gardu induk ini juga dapat dikatakan sebagai jenis setengah pasang dalam. Biasanya jenis gardu ini bermacam-macam bentuknya dengan berbagai pertimbangan yang sangat ekonomis serta pencegahan kontaminasi garam, pencegahan kebakaran dan sebagainya.
- d. Gardu induk jenis pasangan bawah dimana hampir semua peralatan gardu induk ini terpasang dalam bangunan bawah tanah. Alat pendinginnya biasanya terletak diatas tanah kadang-kadang ruang kontrolnya juga terletak diatas tanah. Di pusat kota dimana tanah sukar di dapat, jenis pasangan bawah tanah ini di pakai, misalnya di bagian kota yang sangat ramai, seperti di jalan-jalan pertokoan dan di jalan-jalan dengan gedung-gedung bertingkat tinggi. Kebanyakan gardu induk ini di bangun dibawah jalan raya.
- e. Gardu induk jenis mobil yaitu dimana gardu jenis ini dilengkapi dengan peralatan diatas kereta hela (*trailer*) semacam truk. Gardu induk jenis mobil ini biasa digunakan jika ada gangguan disuatu gardu induk lain guna pencegahan beban lebih berkala dan juga digunakan pada pemakaian sementara di lokasi pembangunan tenaga listrik. Gardu induk ini tidak di pakai secara luas melainkan sebagai transformator atau peralatan

penghubung yang mudah di pindah-pindah diatas kereta hela atau truk untuk memenuhi kebutuhan dalam keadaan darurat.

## 2. Jenis Gardu Induk Berdasarkan Isolasi Busbar:

- a. Gardu Induk Konvensional adalah gardu induk yang peraltan instalasinya berisolasi udara bebas karena sebagian besar peralatannya terpasang di luar gedung (*switch yard*) dan sebagian kecil di dalam gedung (*HV cell*, dll) dan memerlukan area tanah yang relatif luas.
- b. Gardu Induk *Gas Insulated Switchgear* (GIS) adalah suatu gardu induk yang semua peralatan *switch gear*-nya berisolasi gas SF-6, karena sebagian besar peralatannya terpasang di dalam gedung dan dikemas dalam tabung.

## 3. Perlengkapan Gardu Induk

- a. *Lightning Arrester* / LA
- b. Transformator Instrument atau Transformator Ukur
- c. Transformator Tegangan dan Transformator Arus
- d. Transformator Bantu (*Auxilliary Transformator*)
- e. Sakelar Pemisah (PMS) atau *Circuit Breaker* (CB)
- f. Sakelar pentanahan atau *Earthing Switch*
- g. Peralatan SCADA dan Telekomunikasi
- h. Rele Proteksi dan Papan Alarm (*Annunciator*)
- i. Kompensator



## B. Transformator

Menurut Afandi A.N (2010) transformator adalah alat yang digunakan untuk memindahkan energi listrik arus bolak balik dari satu rangkaian ke rangkaian yang lain dengan prinsip kopel magnetik. Tegangan yang dihasilkan dapat lebih besar atau lebih kecil dengan frekuensi yang sama.

### 1. Jenis Transformator

Transformator memiliki banyak jenis namun pada umumnya transformator terbagi menjadi 2 jenis yaitu

#### a. Transformator *Step Up*

Transformator *step up* adalah transformator yang berfungsi untuk menaikkan tegangan  $V_p < V_s$ . Transformator ini memiliki lilitan primer ( $N_p$ ) yang lebih sedikit dari pada lilitan sekunder ( $N_s$ ). Transformator jenis *step up* digunakan pembangkit listrik bertegangan tinggi dan alat-alat elektronika lainnya yang membutuhkan tegangan yang lebih tinggi.



Gambar 1 Simbol Transformator *Step Up*

#### b. Transformator *Step Down*

Transformator *step down* adalah transformator yang berfungsi untuk menurunkan tegangan, sehingga  $V_p > V_s$ . Transformator *step down* memiliki

lilitan primer ( $N_p$ ) yang lebih banyak dengan lilitan sekunder ( $N_s$ ). Transformator jenis step down pada umumnya digunakan pada alat-alat elektronika seperti radio, televisi, dll yang membutuhkan tegangan yang lebih rendah.



Gambar 2 Simbol Transformator *Step Down*

## 2. Penggunaan Transformator

Dalam sistem tenaga listrik, penggunaan transformator dapat dibagi menjadi 2 keperluan yaitu :

### a. Transformator pengukuran

Transformator pengukuran adalah suatu peralatan listrik yang berfungsi sebagai alat transformator energi listrik yang digunakan sebagai alat ukur bantu untuk keperluan pengukuran tegangan dan arus listrik agar berada dalam jangkauan alat ukur, sehingga pengukuran arus dan tegangan listrik dapat terbaca oleh suatu alat ukur. Transformator pengukuran, ada 2 macam yaitu :

#### 1) Transformator Tegangan / *Potensial Transformator* (PT)

Transformator tegangan / *potensial transformator* adalah peralatan yang mentransformasi tegangan sistem yang lebih tinggi ke suatu tegangan sistem yang lebih rendah untuk peralatan indikator, alat ukur / meter dan rele. Fungsi dari trafo tegangan yaitu :

- a) Mentrnsformasikan besaran tegangan sistem dari yang tinggi ke besaran tegangan listrik yang lebih rendah sehingga dapat digunakan untuk peralatan proteksi dan pengukuran yang lebih aman, akurat dan teliti.
- b) Mengisolasi bagian primer yang tegangannya sangat tinggi dengan bagian sekunder yang bagiannya rendah untuk digunakan sebagai sistem proteksi dan pengukuran peralatan dibagian primer.
- c) Sebagai standarisasi besaran tegangan dekunder ( $100$ ,  $100/\sqrt{3}$ ,  $110/\sqrt{3}$  dan  $110$  volt) untuk keperluan peralatan sisi sekunder.
- d) Memiliki 2 kelas, yaitu kelas proteksi (3P, 6P) dan kelas pengukuran (0,1; 0,2; 0,5; 1,3)
- e) Transformator Arus / *Current Transformator* (CT)

Trafo Arus (*Current Transformator*) yaitu peralatan yang digunakan untuk melakukan pengukuran besaran arus pada instalasi tenaga listrik disisi primer (TET, TT dan TM) yang berskala besar dengan melakukan transformasi dari besaran arus yang besar menjadi besaran arus yang kecil secara akurat dan teliti untuk keperluan pengukuran dan proteksi. Fungsi dari trafo arus adalah:

- a) Mengkonversi besaran arus pada sistem tenaga listrik dari besaran primer menjadi besaran sekunder untuk keperluan pengukuran sistem metering dan proteksi
- b) Mengisolasi rangkaian sekunder terhadap rangkaian primer, sebagai pengamanan terhadap manusia atau operator yang melakukan pengukuran
- c) Standarisasi besaran sekunder, untuk arus nominal 1 Amp dan 5 Amp.

## **b. Transformator Tegangan Konstan**

Transformator tegangan konstan digunakan pada sistem ketenagaan listrik untuk melayani beban. Dalam penyaluran tenaga listrik dari pembangkit (generator) ke pemakai (beban) biasanya menempuh jarak yang jauh. Sehingga untuk mengurangi susut daya yang diakibatkan oleh adanya rugi – rugi, maka diperlukan Transformator untuk menaikkan dan menurunkan tegangan. Transformator yang berkapasitas besar yang ada di pusat pembangkit untuk melayani konsumen disebut dengan Transformator Distribusi.

## **C. Transformator Daya**

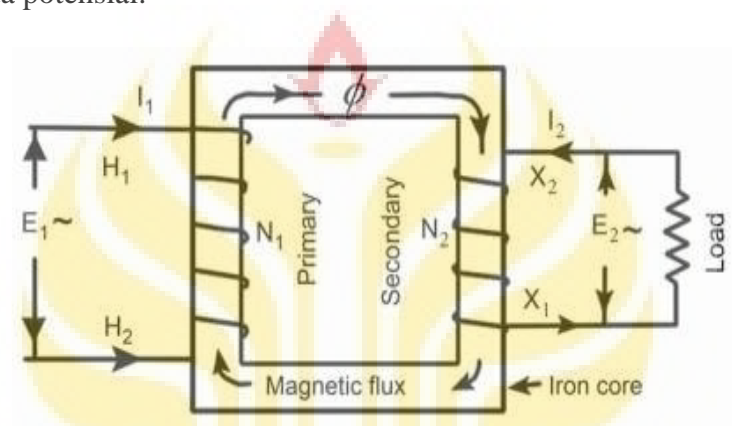
Menurut Ismail Muchsin (2013) Transformator daya adalah suatu peralatan tenaga listrik yang berfungsi untuk menyalurkan tenaga/daya listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya (mentransformasikan tegangan). Dalam operasi umumnya, trafo-trafo tenaga ditanahkan pada titik netralnya sesuai dengan kebutuhan untuk sistem pengamanan/proteksi, sebagai contoh transformator 150/70 kV ditanahkan secara langsung di sisi netral 150 kV, dan transformator 70/20 kV di tanahkan dengan tahanan di sisi netral 20 kV nya. Transformator yang telah diproduksi terlebih dahulu melalui pengujian sesuai standar yang telah ditetapkan.

### **1. Prinsip Kerja Transformator**

Transformator menggunakan prinsip hukum induksi *faraday* dan hukum *lorentz* dalam menyalurkan daya, dimana arus bolak balik yang mengalir mengelilingi suatu inti besi maka inti besi itu akan berubah menjadi magnet. Dan

apabila magnet tersebut dikelilingi oleh belitan maka pada kedua ujung belitan tersebut akan terjadi beda potensial.

Arus yang mengalir pada belitan primer akan menginduksi inti besi transformator sehingga inti besi akan mengalir *flux magnetic* dan *flux magnetic* ini akan menginduksi belitan sekunder sehingga pada ujung belitan sekunder akan terdapat beda potensial.



Gambar 3 Prinsip Kerja Transformator

Sumber : Alsimeri. Teknik Transmisi Tenaga Listrik 2008

Menurut Alsimeri (2008) Rumus tegangan Transformator adalah:

$$E_1 = 4,44 \times N_1 \times f_1 \times \Phi_{\max} \times 10^{-8}$$

Maka untuk transformator rumus tersebut sebagai berikut:

$$E_1 = 4,44 \times N_1 \times f_1 \times \Phi_{\max} \times 10^{-8}$$

$$E_2 = 4,44 \times N_2 \times f_2 \times \Phi_{\max} \times 10^{-8}$$

Karena  $f_1 = f_2$

Keterangan :

$E_1$  = tegangan primer (volt)

$E_2$  = tegangan sekunder (volt)

$f_1$  = frekuensi primer (Hz)

$f_2$  = frekuensi sekunder (Hz)

Maka:

$$E_1 : E_2 = N_1 : N_2$$

$$E_1 \times N_2 = E_2 \times N_1$$

$$E_2 = (N_2 / N_1) \times E_1$$

Keterangan:

$E_1$  = tegangan primer (volt)

$E_2$  = tegangan sekunder (volt)

$N_1$  = belitan primer

$N_2$  = belitan sekunder

VA primer = VA sekunder

$$I_1 \times E_1 = I_2 \times E_2$$

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{I_2}{I_1} \text{ maka } I_1 = I_2 \frac{E_2}{E_1}$$

Keterangan:

$I_1$  = Arus primer (ampere)

$I_2$  = Arus sekunder (ampere)

$E_1$  = Tegangan primer (volt)

$E_2$  = Tegangan sekunder (volt)

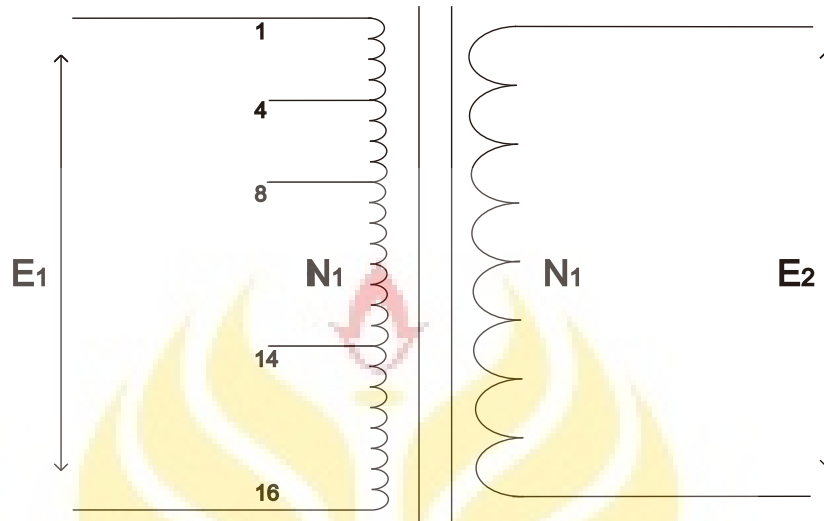
Rumus umum menjadi :

$$a = \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

Maka :

$$E_1 = \frac{E_2 \times N_1}{N_2}$$

Berdasarkan rumus di atas untuk belitan *on load tap changer* (OLTC) transformator dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 4 Belitan *On Load Tap Changer* Transformator

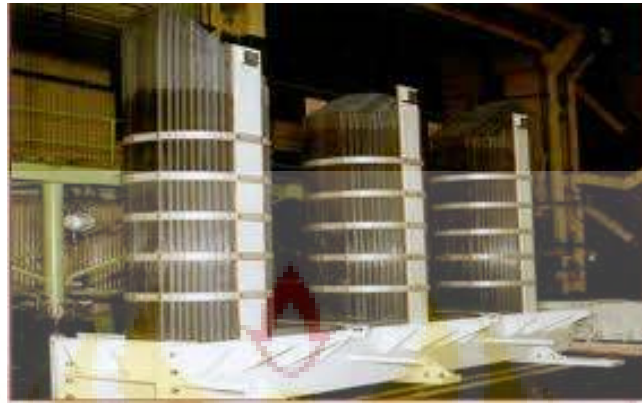
Pada transformator di haruskan tegangan keluarannya adalah konstan sedangkan tegangan yang masuk ke transformator selalu berubah-ubah. Dengan demikian ketika tegangan masuk ke transformator ( $E_1$ ) mengalami penurunan, agar tegangan keluaran transformator ( $E_2$ ) konstan maka perlu di tambahkan belitan ( $N_1$ ) maupun sebaliknya.

## 2. Bagian Utama Transformator Daya

### a. *Electromagnetic Circuit* (Inti Besi)

Inti besi digunakan sebagai media jalannya *flux* yang timbul akibat induksi arus bolak balik pada kumparan yang mengelilingi inti besi sehingga dapat menginduksikan kembali ke kumparan yang lain. Dibuat dari lempengan-

lempengan besi tipis beisolasi, untuk mengurangi panas ( sebagai rugi-rugi besi) yang ditimbulkan oleh *Eddy Current*.



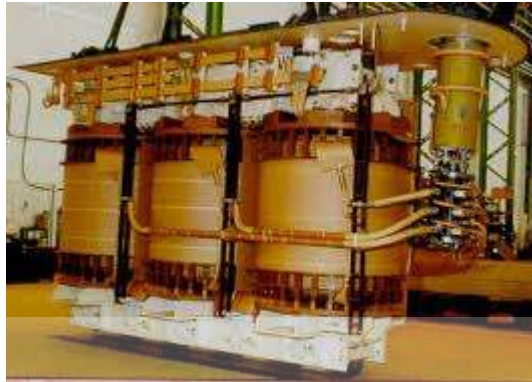
Gambar 5 Inti Besi dan Laminasi Yang Diikat *Fiber Glass*  
Sumber : PT PLN (Persero). Pedoman O & M Transformator Tenaga. 2010

#### **b. Kumparan Transformator**

Menurut Aslimeri (2008) kumparan transformator adalah beberapa lilitan kawat berisolasi yang membentuk suatu kumparan. Kumparan tersebut terdiri dari kumparan primer dan kumparan sekunder yang berisolasi baik terhadap inti besi maupun terhadap antar kumparan dengan isolasi padat seperti karton, pertinak dan lain-lain.

Umumnya bila kumparan primer di hubungkan dengan tegangan/arus bolak-balik maka pada kumparan tersebut timbul *flux* yang menginduksikan tegangan, bila pada rangkaian sekunder ditutup (rangkaiian bebas) maka akan mengalir arus pada kumparan ini. Jadi kumparan sebagai alat transformasi tegangan dan arus.





Gambar 6 Kumbaran Phasa RST

Sumber : PT PLN (Persero). Pedoman O & M Transformator. 2010

### c. Minyak isolasi

Menurut Aslimeri (2008) Minyak transformator merupakan merupakan salah satu bahan isolasi cair yang dipergunakan sebagai isolasi dan pendingin pada transformator. Sebagai bahan isolasi minyak harus memiliki kemampuan untuk menahan tegangan tembus, sedangkan sebagai pendingin minyak transformator harus mampu meredam panas yang ditimbulkan, sehingga dengan kedua kemampuan ini maka minyak diharapkan akan mampu melindungi transformator dari gangguan.

Dalam menyalurkan perannya sebagai pendingin, kekentalan minyak transformator ini tidak boleh terlalu tinggi agar mudah bersirkulasi, dengan demikian proses pendinginan dapat berlangsung dengan baik. Kekentalan relatif minyak transformator tidak boleh lebih dari 4,2 pada suhu 200 C dan 1,8 dan 1,85 dan maksimum 2 pada suhu 500 C. Hal ini sesuai dengan sifat minyak transformator yakni semakin lama dan berat operasi suatu minyak transformator, maka minyak akan semakin kental. Bila kekentalan minyak tinggi maka sulit

untuk bersirkulasi sehingga akan menyulitkan proses pendinginan transformator. Sebagai bahan isolasi minyak transformator memiliki beberapa kekentalan, hal ini sebagai mana dijelaskan dalam SPLN (49-1:1980).

**d. Bushing**

*Bushing* merupakan sarana penghubung antara belitan dengan jaringan luar. *Bushing* terdiri dari sebuah konduktor yang diselubungi oleh isolator. Isolator tersebut berfungsi sebagai penyekat antara konduktor *bushing* dengan *body main tank transformator*.

Secara garis besar *bushing* dapat dibagi menjadi empat bagian utama yaitu isolasi, konduktor, klem koneksi, dan aksesoris. Isolasi pada *bushing* terdiri dari dua jenis yaitu *oil impregnated paper* dan *resin impregnated paper*. Pada tipe *oil impregnated paper* isolasi yang digunakan adalah kertas isolasi dan minyak isolasi sedangkan pada tipe *resin impregnated paper* isolasi yang digunakan adalah kertas isolasi dan resin.

**e. Tangki Konservator**

Tangki konservator berfungsi untuk menampung minyak cadangan dan uap/udara akibat pemanasan trafo karena arus beban. Diantara tangki dan trafo dipasangkan *relay bucholz* yang akan menyerap gas produksi akibat kerusakan minyak. Untuk menjaga agar minyak tidak terkontaminasi dengan air, udara masuk saluran udara melalui saluran pelepasan dan masukannya udara kedalam *konservator* perlu dilengkapi media penyerap uap air pada udara sering disebut dengan *silicagel* dan dia tidak keluar mencemari udara disekitarnya.



Gambar 7 Tangki Konservator Minyak Trafo  
Sumber : Alsimeri.2008

Untuk menghindari agar minyak trafo berhubungan langsung dengan udara luar, maka saat ini *konservator* dirancang dengan menggunakan *brether bag* atau *rubber bag*, yaitu sejenis balon karet yang dipasang didalam tangki *konservator*.

### 3. Peralatan/Bagian Bantu Transformator

#### a. Pendingin

Suhu pada transformator yang sedang beroperasi akan dipengaruhi oleh kualitas tegangan jaringan, *losses* pada trafo itu sendiri dan suhu lingkungan suhu operasi yang tinggi akan mengakibatkan rusaknya isolasi kertas pada transformator. Oleh karena itu pendinginan yang efektif sangat diperlukan.

Minyak isolasi transformator selain merupakan media isolasi juga berfungsi sebagai pendingin. Pada saat minyak bersirkulasi, panas yang berasal dari belitan akan dibawa oleh minyak sesuai jalur sirkulasinya dan akan didinginkan pada sirip-sirip *radiator*. Adapun proses pendinginan ini dapat

dibantu oleh adanya kipas dan pompa sirkulasi guna meningkatkan efisiensi pendinginan.

Tabel 1 Macam-macam Pendingin Pada Transformator

No.	Macam Sistem Pendingin *)	Media			
		Dalam Transformator		Diluar Transformator	
		Sirkulasi alamiah	Sirkulasi Paksa	Sirkulasi Alamiah	Sirkulasi Paksa
1.	AN	-	-	Udara	-
2.	AF	-	-	-	Udara
3.	ONAN	Minyak	-	Udara	-
4.	ONAF	Minyak	-	-	Udara
5.	OFAN	-	Minyak	Udara	-
6.	OFAF	-	Minyak	-	Udara
7.	OFWF	-	Minyak	-	Air
8.	ONAN/ONAF	Kombinasi 3 dan 4			
9.	ONAN/OFAN	Kombinasi 3 dan 5			
10.	ONAN/OFAF	Kombinasi 3 dan 6			
11.	ONAN/OFWF	Kombinasi 3 dan 7			

Contoh sistem pendinginan transformator dapat dilihat pada gambar 11 dibawah ini :



Gambar 8 Pendingin Transformator Type ONAF

Sumber : Pusdiklat PT PLN ( Persero).2011

**b. Tap Changer (*On Load Tap changer*)**

Kualitas operasi tenaga listrik jika tegangannya nominal sesuai ketentuan, tapi pada saat operasi terjadi penurunan tegangan sehingga kualitasnya menurun untuk itu perlu alat pengatur tegangan agar tegangan selalu pada kondisi terbaik, konstan dan kontinyu. Untuk itu trafo dirancang sedemikian rupa sehingga perubahan tegangan pada salah satu sisi input berubah tetapi sisi outputnya tetap. Alat ini disebut sebagai sadapan pengatur tegangan tanpa terjadi pemutusan beban maka disebut *On Load Tap Changer*. Pada umumnya *On Load Tap Changer* tersambung pada sisi primer dan jumlahnya tergantung pada perancang dan perubahan sistem tegangan pada jaringan, yang konstruksinya dapat dilihat pada gambar 9.



Gambar 9 *On load Tap Changer* (OLTC)

**c. Silical**

Sebagai tempat penampungan pemuaiian pemuaiian minyak isolasi akibat panas yang timbul maka minyak ditampung pada tangki yang sering disebut sebagai *konservator*. Pada *konservator* ini permukaan minyak diusahakan tidak boelh bersinggungan dengan udara karena karena kelembaban udara yang mengandung uap air akan mengontaminasi minyak walaupun prosesnya berlangsung cukup lama. Untuk mengatasi hal tersebut udara yang masuk ke dalam tangki konservator pada saat minyak menjadi dingin diperlukan suatu media kelembapan yang digunakan biasanya adalah *silicagel*. Kebalikan jika trafo panas maka pada saat menyusut maka akan mengisap udara dari luar ke dalam tangki dan untuk menghindari terkontaminasi oleh kelembapan udara maka diperlukan suatu media penghisap kelembapan yang digunakan biasanya adalah *silicagel* yang secara khusus dirancang untuk maksud tersebut di atas.

*Silicagel* mempunyai batasan kemampuan untuk menyerap uap air apabila *silicagel* sudah jenuh dengan uap air, maka tidak bisa lagi menyerap air. Hal tersebut dapat ditandai dengan berubahnya warna *silicagel*. Pada kondisi masih mampu menyerap air, warna *silicagel* adalah biru tua. Semakin berkurang kemampuannya, warnanya akan berubah bening. Apabila sudah berwarna seperti ini, *silicagel* harus segera diganti.

**d. NGR (Neutral Grounding Resistant)**

Salah satu metoda pentanahan adalah dengan menggunakan *NGR (neutral Grounding Resistant)*. *NGR* adalah sebuah tanahan yang dipasang serial dengan neutral sekunder pada transformator sebelum terhubung ke *ground/tanah*. Tujuan

dipasang nya NGR adalah untuk mengontrol besarnya arus gangguan yang mengalir dari sisi neutral ke tanah. NGR biasanya dipasang pada sis netral trafo 70 kV atau 20 kV, sedangkan pada titik neutral trafo 150 kV dan 500 kV di grounding langsung (*solid*) NILAI NGR tegangan 70 kV 40 Ohm Tegangan 20 kV 12 Ohm, 40 Ohm, 200 Ohm dan Ohm.

Ada dua jenis NGR, *Liquid* dan *Solid*

1) *Liquid*

Berarti resistornya menggunakan larutan air murni yang ditampung didalam bejana dan ditambahkan garam (NaCl) untuk mendapatkan nilai resistansi yang diinginkan.

2) *Solid*

Sedangkan NGR jenis padat terbuat dari *Stainless Steel*, *FeCrAl*, *Cast Iron*, *Nickel* atau *Nichrome* yang diatur sesuai nilai tahanuannya.

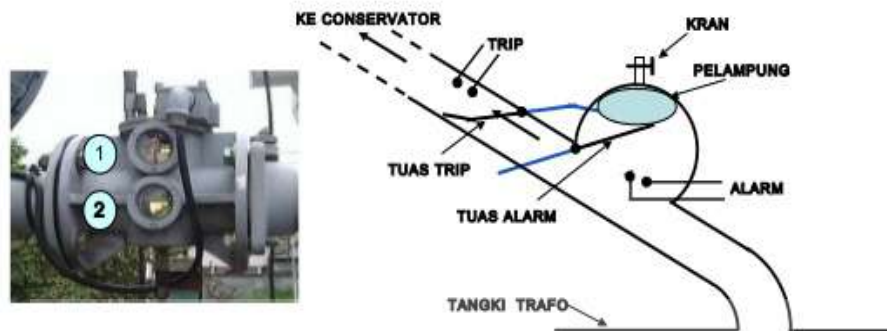
#### 4. Peralatan Proteksi Internal Transformator

##### a. *Relay Bucholz*

Pada saat transformator mengalami gangguan internal yang berdampak kepada suhu yang tinggi dan pergerakan mekanis didalam transformator, maka akan timbul tekanan aliran minyak yang besar dan pembentukan gelombang gas yang mudah terbakar. Tekanan atau gelembung gas tersebut akan naik ke konservator melalui pipa penghubung dan *relay bucholz*.

Tekanan minyak maupun gelombang gas ini akan dideteksi oleh *relay bucholz* sebagai indikasi telah terjadinya gangguan internal.





- ✎ **Relai buchholz** dipasang pada pipa dari maintank ke konservator ataupun dari OLTC ke konservator tergantung design trafonya apakah di kedua pipa tersebut dipasang relai bucholz.
- ✎ **Gunanya:** untuk mengamankan trafo dari gangguan internal trafo yang menimbulkan gas dimana gas tersebut timbul akibat adanya hubung singkat di dalam trafo atau akibat busur di dalam trafo.
- ✎ **Cara kerja:** yaitu gas yang timbul di dalam trafo akan mengalir melalui pipa dan besarnya tekanan gas ini akan mengerjakan relai dalam 2 tahap yaitu:
  - ✓ Mengerjakan alarm (Bucholz 1st) pada kontak bagian atas 1.
  - ✓ Mengerjakan perintah trip ke PMT pada kontak bagian bawah 2.

Gambar 10 Cara Kerja *Relay Bucholz* dan Kegunaannya

#### b. *Relay Jansen*

Sama halnya seperti *relay bucholz* yang memanfaatkan tekanan minyak dan gas terbentuk sebagai indikasi adanya ketidaknormalan / gangguan, hanya saja *relay* ini digunakan untuk memproteksi *kompartement* OLTC. *Relay* ini juga dipasang pada pipa saluran yang menghubungkan *kompartement* OLTC dengan konservator.

#### c. **Relay Tekanan Lebih (*Sudden Pressure Relay*)**

*Sudden Pressure Relay* ini didesain sebagai titik terlemah saat tekanan didalam trafo muncul akibat gangguan. Dengan menyediakan titik terlemah maka



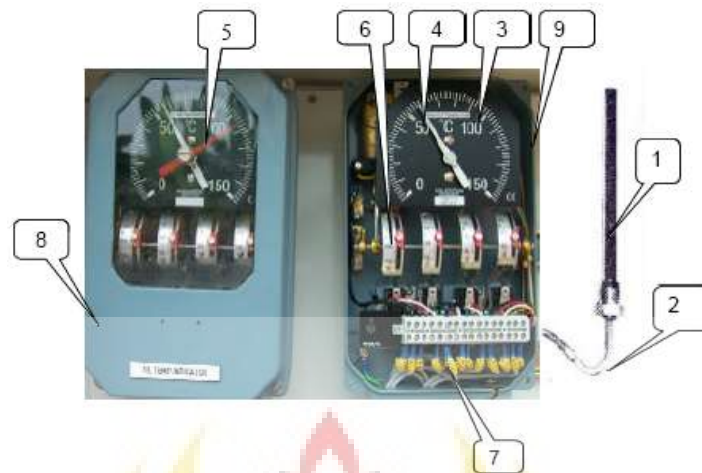
tekanan akan tersalurkan melalui *sudden pressure* dan tidak akan merusak bagian lainnya pada *maintank*.



Gambar 11 *Sudden Pressure Relay*

**d. Relay Termal**

Suhu pada transformator yang sedang beroperasi akan dipengaruhi oleh kualitas tegangan jaringan, *losses* pada trafo itu sendiri dan suhu lingkungan. Suhu operasi yang tinggi akan mengakibatkan rusaknya isolasi kertas pada transformator. Untuk mengetahui suhu operasi dan indikasi ketidaknormalan suhu operasi pada transformator digunakan *relay thermal*. *Relay thermal* ini terdiri dari sensor suhu berupa *thermocouple*, pipa kapiler dan meter penunjukan.



Keterangan :

1. Sensor Suhu
2. Pipa Kapiler
3. Skala Meter
4. Jarum Putih (penunjukan suhu setiap saat)
5. Jarum merah (penunjukan suhu max tercapai)
6. Piringan Cakram
7. Terminasi Kabel
8. Tutup Thermometer
9. Packing / Gasket

Gambar 12 Bagian-bagian dari *Relay Thermal*

## 5. Rugi-rugi Transformator

Rugi-rugi transformator ada 2 macam, yaitu rugi tembaga ( $P_{Cu}$ ), di mana rugi besi sendiri terdiri atas rugi *hysteresis* dan rugi arus *eddy*

### a. Rugi Tembaga ( $P_{Cu}$ )

Rugi tembaga adalah rugi yang disebabkan oleh arus beban yang mengalir pada kawat tembaga. Besarnya adalah:

$$P_{Cu} = I^2 \cdot R$$

Keterangan :

$P_{Cu}$  : rugi tembaga (Watt)

$I$  : arus beban yang mengalir pada kawat tembaga (ampere)

$R$  : tahanan kawat tembaga ( $\Omega$ )

Karena arus beban berubah-ubah, rugi tembaga juga tidak tetap tergantung pada beban.

b. Rugi Besi ( $P_i$ )

Rugi besi terdiri atas :

- 1) Rugi histeresis ( $P_h$ ), yaitu rugi yang disebabkan fluks bolak-balik pada inti besi. Besarnya rugi histeresis berbanding dengan luas *histeresis loop* atau dinyatakan sebagai berikut:

$$P_h = K_h \cdot f \cdot B_m^n$$

Keterangan :

$P_h$  : rugi histeresis (watt)

$B_m$  : *flux Density* maksimum (tesla)

$K_h$  : konstanta *histeresis*

$f$  : frekuensi (Hz)

$n$  : koefisien *Steinmetz*, di dapat dari data eksperimen

- 2) Rugi arus eddy ( $P_e$ ), yaitu rugi yang disebabkan arus pusar pada inti besi.

$$P_e = K_e^2 \cdot f^2 \cdot B_m^2$$

Keterangan :

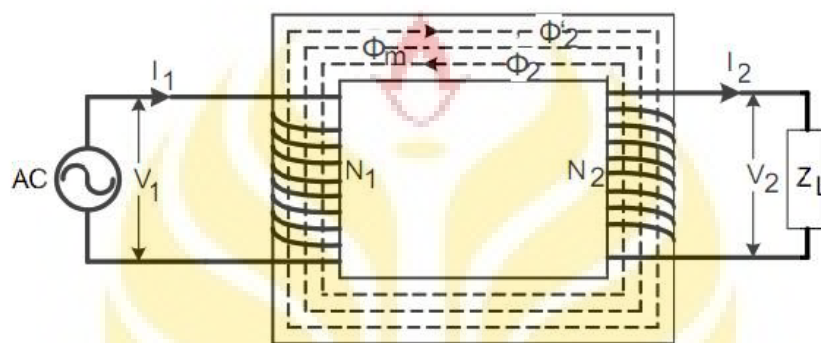
$P_e$  : rugi arus *eddy* (watt)

$K_e$  : konstanta arus *eddy*

Jadi, rugi besi (rugi inti)  $P_i = P_h + P_e$

## 6. Jatuh Tegangan Pada Transformator

Menurut Zuhail (1995) Transformator dikatakan berbeban apabila kumparan pada belitan pertama ( $N_1$ ) dihubungkan dengan tegangan bolak-balik dan kumparan pada belitan kedua ( $N_2$ ) dihubungkan dengan beban ( $Z_L$ ) seperti yang terlihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 13 Rangkaian Transformator Berbeban  
Sumber : Zuhail.1995

Ketika transformator dibebani akan terjadi tegangan jatuh karena resistansi belitan pertama dan belitan kedua. Tegangan jatuh ini sefasa dengan tegangan pada belitan dan tegangan jatuh karena resistansi. Penurunan tegangan *output* saat dibebani dikenal dengan nama regulasi. Tegangan jatuh dari komponen resistif lebih kecil dari tegangan jatuh yang disebabkan oleh komponen reaktif. Sehingga impedansi dominan dari transformator adalah reaktansi. Jatuh tegangan dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$V_{d_{\text{trafo}}} = I \times Z$$

Keterangan :

$V_{d_{\text{trafo}}}$  = Jatuh tegangan pada transformator (volt)

$I$  = Arus (ampere)

$Z$  = Impedansi (Ohm)

## 7. Besaran per-Satuan/per-Unit (pu)

Menurut Doni Ridho Suryono (2013) besaran per-satuan atau besaran per-unit disingkat pu merupakan nilai perbandingan dari nilai sebenarnya suatu besaran terhadap nilai dasarnya. Dengan menggunakan besaran pu akan lebih memudahkan perhitungan, karena suatu besaran dalam pu dikalikan dengan pu maka hasilnya tetap pu. Untuk mendapatkan suatu nilai dalam besaran pu dapat menggunakan persamaan berikut :

$$\text{Besaran pu} = \frac{\text{Besaran sebenarnya}}{\text{besaran dasar}}$$

Dengan catatan satuan dari besaran sebenarnya dan besaran dasarnya sama. Untuk mencari nilai besaran sebenarnya ketika diketahui nilai besaran dalam pu dapat menggunakan persamaan berikut :

$$\text{Besaran sebenarnya} = \text{Besaran pu} \times \text{Besaran dasar}$$

Pada suatu peralatan yang diketahui nilai impedansinya dengan nilai % atau per-unit (pu) harus dikoreksi dengan menggunakan besaran dasar yang ditentukan pada sistem.

Persamaan yang digunakan adalah :

$$Z_{pu2} = Z_{pu1} \left( \frac{kV_1}{kV_2} \right)^2 \left( \frac{MVA_2}{MVA_1} \right)$$

Keterangan :

$Z_{pu2}$  : Nilai impedansi berdasarkan besaran dasar baru (pu)

$Z_{pu1}$  : Nilai impedansi berdasarkan besaran dasar lama (pu)

$kV_1$  : Tegangan dasar baru (kV)

$kV_2$  : Tegangan dasar lama (kV)

$MVA_1$  : Daya dasar baru (kVA)

$MVA_2$  : Daya dasar lama (kVA)

#### D. *Tap Changer*

Kestabilan tegangan dalam suatu jaringan merupakan salah satu hal yang dinilai sebagai kualitas tegangan. Transformator dituntut memiliki nilai tegangan output yang stabil sedangkan besarnya tegangan input tidak selalu sama. Dengan mengubah banyaknya belitan pada sisi primer diharapkan dapat mengubah ratio antara belitan primer dan sekunder, dengan demikian tegangan output/sekunder pun dapat disesuaikan dengan kebutuhan sistem berapapun tegangan input/primernya. Penyesuaian ratio belitan ini disebut *Tap changer*.

Tahapan transformasi daya ke konsumen tidak lepas dari peran utama transformator sebagai transformator daya. Proses pentransformasian daya tidak selalu berjalan dengan lancar. Banyak energi listrik yang tidak tersalurkan ke konsumen. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain :

- 1) Produksi energi listrik yang dihasilkan oleh pembangkit tidak konstan
- 2) Tegangan sistem yang mengalir dari pembangkit ke konsumen mengalami perubahan besar tegangan. Dalam hal ini kisaran PLN yang diperbolehkan jatuh tegangan pada jaringan tegangan menengah sebesar 5%. (SPLN 72 : 1987)
- 3) Daya yang digunakan konsumen tidak bisa dibatasi, sehingga daya pada sisi sekunder transformator tegangan menjadi ikut berubah. Hal inilah yang memicu terjadinya jatuh tegangan pada sisi sekunder karena adanya perubahan beban, berdasarkan SPLN 72 : 1987 jatuh tegangan pada transformator adalah sebesar 3%.

- 4) Adanya *losses* atau rugi-rugi daya yang terjadi saat transmisi energi. Kerugian ini terimplementasikan dalam bentuk panas pada kawat penghantar transmisi.

Ketidakstabilan tegangan tersebut tidak dapat dihindarkan, oleh sebab itu pada transformator dipasang alat bantu utama yaitu *tap changer*, digunakan untuk mengatasi berbagai macam persoalan mengenai pengaturan tegangan.

### 1. Jenis *Tap Changer* Berdasarkan Ada Tidaknya Pembebanan

Dilihat dari segi ada tidaknya beban saat *tap changer* dioperasikan, maka *tap changer* dibedakan menjadi dua, yaitu :

- a. *On Load Tap Changer*, pada proses ini *tap changer* dapat bekerja ketika bagian sekitarnya dalam kondisi pembebanan. Sehingga disekitar trafo ini ada arus dan tegangan yang bekerja. Pengoperasian ini dilakukan tanpa melakukan pemadaman untuk daerah kerja transformator.
- b. *Off Load Tap Changer*, pada analisis ini *tap changer* dapat bekerja ketika bagian sekitarnya dalam kondisi tidak ada pembebanan. Sehingga disekitar trafo ini tidak ada arus dan tegangan yang bekerja. Pengoperasian ini biasanya dilakukan dengan terlebih dahulu melakukan pemadaman untuk daerah kerja disekitar transformator. Sehingga *tap changer* hanya mampu bekerja ketika kondisi transformator dalam kondisi padam.

### 2. Prinsip Kerja *Tap Changer*

Secara umum *tap changer* bekerja berdasarkan perbandingan jumlah lilitan dan tegangan pada kumparan primer dan sekunder.

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

Keterangan :

$V_1$  = tegangan pada sisi primer (volt)

$V_2$  = tegangan pada sisi sekunder (volt)

$N_1$  = jumlah lilitan pada sisi primer

$N_2$  = jumlah lilitan pada sisi sekunder

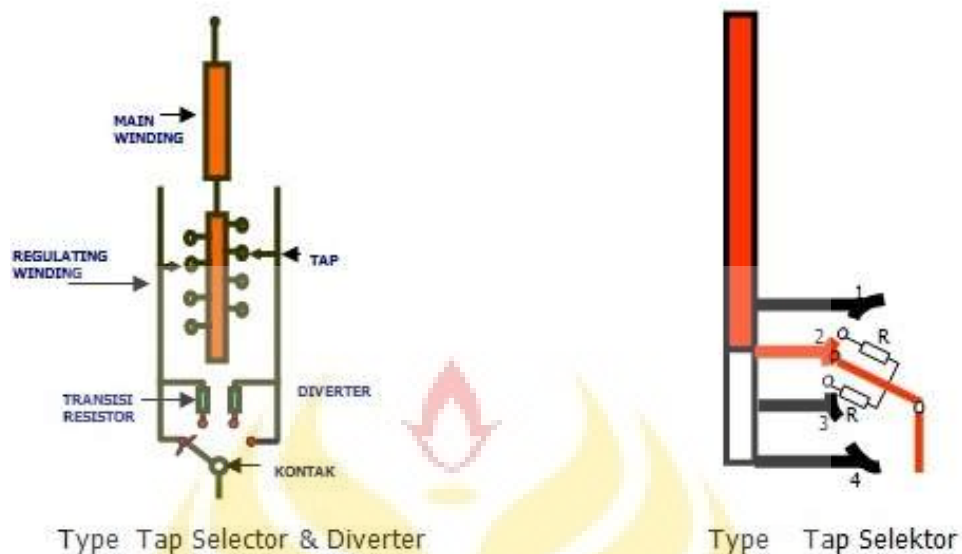
$I_1$  = arus pada sisi primer (ampere)

$I_2$  = arus pada sisi sekunder (ampere)

Dengan adanya nilai tegangan sistem yang tidak stabil, maka diperlukan sebuah alat yang digunakan untuk mengatur nilai tegangan keluarannya. Nilai tegangan sistem yang berubah-ubah ini biasanya terjadi pada sisi primer transformator, sehingga pada sisi primer inilah biasanya dipasang *tap changer*. Dalam hal ini, *tap changer* digunakan untuk mengatur nilai *tap* atau jumlah belitan yang akan digunakan pada sisi primer. Sehingga nilai tegangan pada sisi sekunder mempunyai nilai yang konstan sesuai kebutuhan konsumen.

Secara umum jumlah belitan pada kumparan akan berpengaruh pada nilai tegangan yang di transformasikan. Semakin banyak jumlah belitan yang digunakan, maka nilai tegangan yang ditransformasikan akan semakin bertambah besar begitu pula sebaliknya.



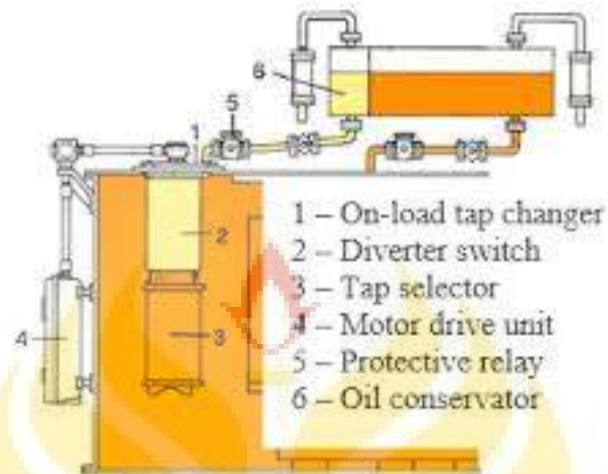


Gambar 14 Prinsip Dasar OLTC  
Sumber : Pusdiklat PT PLN (Persero).2016

### 3. Bagian-bagian OLTC

*On load tap changer* merupakan peralatan kombinasi dari berbagai sistem peralatan mekanik dan elektrik. Dalam menjalankan kerjanya masing-masing sistem ini saling bekerjasama untuk melaksanakan fungsinya. *On load tap changer* ditempatkan dalam tabung atau *compartment* dan direndam minyak, ditempatkan terpisah dari tangki utama (*main-tank*) transformator karena dalam pengoperasian OLTC terjadi *switching* ketika kontak-kontak didalam OLTC bergerak sehingga kualitas minyak cepat menurun terutama warnanya cepat kotor berwarna hitam (*carbon dioxid*), oleh karena itu minyak tap changer ditempatkan terpisah dari minyak trafo di tangki utama. Penempatan OLTC dirancang sedekat mungkin dengan belitan atau kumparan transformator untuk memperpendek

pemakaian konduktor yang dipakai untuk menghubungkan *on load tap changer* dengan belitan.

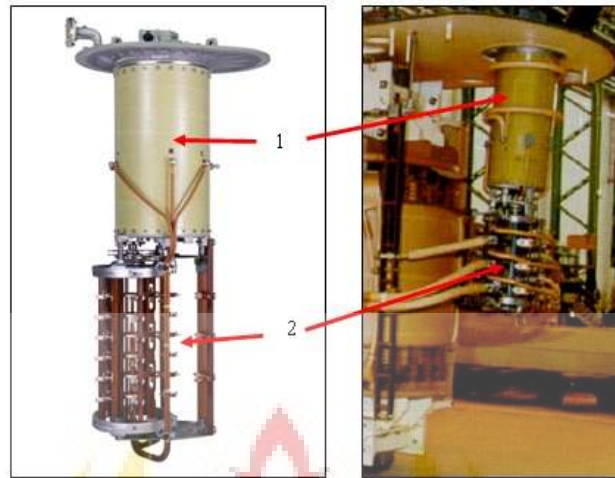


Gambar 15 Bagian-bagian *On Load Tap Changer*

**a. *Head and Cover***

Bagian ini merupakan tutup pelindung atas dari *tap changer*. Di sini terdapat beberapa saluran yang terhubung ke bagian luar antara lain :

- 1) *Tap changer cover*, yaitu bagian ini merupakan penutup dan pelindung tangki *conservator* dari bagian luar.
- 2) *Flanes*, yaitu saluran yang terhubung ke tangki minyak luar. Saluran ini digunakan untuk mengalirkan minyak dari tangki *conservator* ke *oil compartment*.
- 3) *Upper gear unit, vertical drive shaft, horizontal drive shaft, bevel gear* bagian ini merupakan penghubung bantu dari motor 3 fasa (sebagai penggerak) ke bagian *diverter switch* dan *tap selector* dari *tap changer*.



Gambar 16 OLTC pada Transformator

**b. Tap Changer Oil Compartment**

*Tap changer oil compartment* merupakan tangki yang berisi *diverter switch* dan transisi *resistor*. *Compartment* ini terisi oleh minyak isolasi sebagai *isolator* dan bahan pendingin. *Diverter switch* adalah rangkaian mekanik yang dirancang untuk melakukan kontak atau melepaskan kontak dengan kecepatan tinggi. Sedangkan tahanan transisi merupakan dua buah tahanan yang akan dilewati arus primer bersifat sementara pada saat perubahan *tap*.

**c. Tap Selector**

*Tap selector* yaitu bagian tap changer yang berfungsi untuk mengatur nilai dan posisi tap belitan. Dalam hal ini, posisi tap akan mempengaruhi banyak sedikitnya jumlah belitan yang dipakai, sehingga secara langsung akan mengatur nilai tegangan yang dihasilkan.

**d. Panel Control dan Motor Drive Unit**

*Panel control* dan *motor drive unit* yaitu sebuah tempat yang berisikan peralatan untuk mengoperasikan *tap changer*. Adapun bagian-bagian dari *panel control* dan *motor drive* ini adalah :

- 1) Motor AC tiga fasa yang berfungsi sebagai penggerak mekanik untuk mengganti nilai *tap* yang digunakan. Pemanfaatan arah putaran motor yang ada digunakan untuk menambah atau mengurangi nilai *tap* yang digunakan. Prinsip kerja arah putaran motor yang diterapkan hanya dengan mengubah atau membalik fasenya saja. Sehingga arah putaran motor yang diharapkan akan mampu mengubah nilai *tap*-nya.
- 2) Kontaktor, ada tiga buah kontaktor motor yang digunakan pada *panel control* ini. Masing-masing kontaktor ini mempunyai fungsi yang berbeda antara lain : kontaktor utama, berfungsi sebagai *supply* tegangan ke motor tiga fasa. Tegangan yang digunakan adalah tegangan AC 380 V. Kontaktor kedua dan ketiga berfungsi sebagai pembalik fasa motor sehingga motor dapat bekerja dengan dua arah putaran (ke kiri atau ke kanan).
- 3) MCB (*Miniatur Circuit Breaker*), berfungsi untuk pengaman perangkat *control tap changer*.
- 4) *Display mechanic counter* dan *tap position*, berfungsi sebagai penampil untuk menunjukkan berapa kali *tap changer* sudah bekerja dan posisi atau kedudukan *tap*-nya.
- 5) *Selector switch* pada bagian ini ada dua pilihan pengontrolan, yaitu pengontrolan *remote* dan *local*. Pengontrolan *remote* adalah pengontrolan

*tap changer* yang dilakukan dari panel kontrol di gardu induk. Sedangkan pengontrolan *local* adalah pengontrolan yang dilakukan secara manual di trafo atau langsung pada panel kontrol di lapangan.

- 6) Engkol manual, berfungsi untuk memindahkan *tap* secara manual. Cara yang dilakukan adalah dengan memutar secara manual engkol ini. Arah putaran dapat berupa menaikkan atau menurunkan posisi *tap*. Jika arah putaran searah jarum jam, maka nilai *tap*-nya akan naik, dan juga sebaliknya. Biasanya untuk pindah dari satu *tap* ke *tap* lainnya memerlukan 20-30 putaran.



Gambar 17 Panel Kontrol dan *Motor Drive Unit*

e. ***Tap Changer Protective Relay***

*Tap Changer Protective Relay* ini dikenal dengan nama *relay Jansen*. *Relai Jansen* adalah *relay* yang berfungsi untuk mengamankan transformator dari gangguan di dalam *tap changer* yang menimbulkan tekanan. *Tap changer*

umumnya dipasang pada ruang terpisah dengan ruang untuk tempat kumparan, dimaksudkan agar minyak *tap changer* tidak bercampur dengan minyak tangki utama. Relay Jansen dipasang antara tangki tap changer dengan konservator minyak tap changer. Prinsip kerjanya memanfaatkan tekanan minyak yang terbentuk sebagai adanya ketidaknormalan atau gangguan pada peralatan OLTC.

**f. *Tap Changer Oil Conservator***

Tangki ini berfungsi sebagai tempat penyimpanan sedangkan suplai minyak untuk tap changer. Biasanya tangki ini juga digabung dengan tangki transformator. Agar kedua minyaknya tidak tercampur, maka didalam tangki ini terdapat sekat pemisah. Saat terjadi kenaikan suhu operasi pada tap changer, minyak isolasi akan memuai sehingga volumenya bertambah.

**4. Macam-macam OLTC**

Dilihat dari fungsi dan peranannya, OLTC dapat dibedakan menjadi beberapa jenis. Dalam hal ini, yang membedakan antara tipe satu dengan yang lain adalah posisi *tap selector*, *diverter switch*-nya dan media isolasinya. Biasanya tipe-tipe OLTC telah disesuaikan oleh pihak produsennya. Dari beberapa OLTC yang ada, dapat dibedakan menjadi beberapa jenis, antara lain :

**a. Susunan *Tap Winding***

Pada umumnya terdapat 3 macam susunan *tap winding* yang sering diterapkan pada OLTC, yaitu :

- 1) Susunan *tap winding type linier*

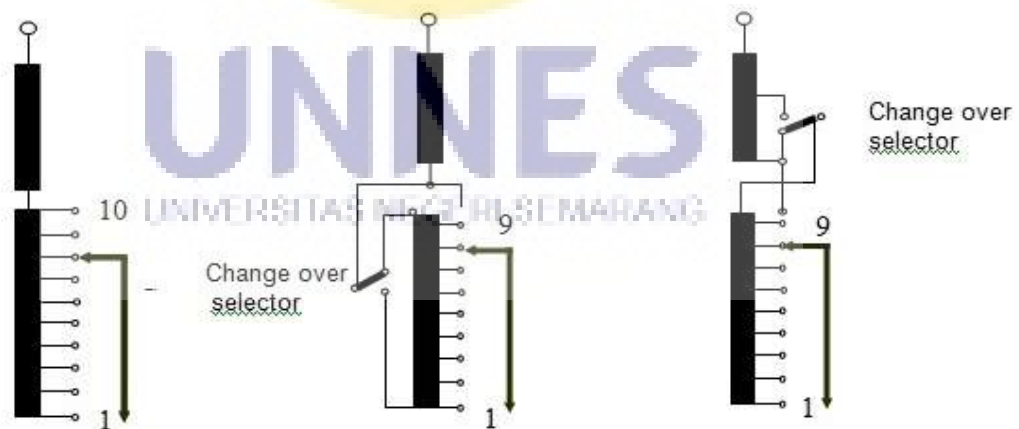
Pada tap *tap winding type linier* pada umumnya mempunyai daerah pengaturan (*regulating range*) maksimum hanya sampai 20 %.

2) Susunan *tap winding type buck and boost*

Jika suatu pembalik dipasang pada susunan *winding*, maka akan terjadi pengurangan atau penambahna pada kumparan utamanya. Dengan demikian daerah pengaturan tap (*regulating range*) dapat diperbesar sesuai yang diinginkan. Akan tetapi pada susunan *tap* seperti ini, jika posisi *tap* berada pada posisi yang paling kecil, akan menyebabkan rugi tembaga (*copper loss*) dari trafo dapat mencapai harga maksimum.

3) Susunan *tap winding type coarse and fine*

Pada susunan *tap winding type coarse ang fine*, merupakan suatu kemajuan dimana pada saat susunan ini dapat diperkecil rugi tembaga pada transformator dan daerah pengaturannya dapat diperluas. Pada saat ini susunan *tap winding* seperti ini yang banyak dijumpai pada OLTC.



a) *Type Linear*

b) *Type Buck and Bust*

c) *Type Coarse and Fine*

Gambar 18 Susunan *Tap Winding*



**b) Berdasarkan Media Isolasinya**

Dilihat dari media isolasinya, maka OLTC dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu :

1) *Oli Tap Changer*

OLTC jenis ini menggunakan media minyak sebagai isolasinya. Tipe *tap changer* ini merupakan media yang sering digunakan transformator.

2) *Vacuum Tap Changer*

OLTC ini merupakan tipe *tap changer* modern. Merupakan modifikasi baru dari *tap changer* karena menggunakan media hampa udara di dalam tangki *compartment*. Media hampa merupakan pengganti minyak sebagai isolator.

**c) Berdasarkan Susunan *Diverter Switch* dan *Tap Selector***

Berdasarkan susunan *diverter switch* dan *tap selector*. OLTC dibedakan menjadi :

1) OLTC MR (Maschinenfabrik Reinhausen)

OLTC MR (Maschinenfabrik Reinhausen) dari sistem pemasangannya yang menggantung disebut juga *bell type*. Pada OLTC MR ada dua konsep desain perpindahan *tap*, yaitu *tap selector* dengan *diverter switch* (type M/MS) dan *tap selector* dikombinasi dengan *diverter switch* (type V).



Tabel 2 Tipe-tipe OLTC pada Transformator (Merek MR)

Nomor	Tipe OLTC
1	tipe A
2	tipe V
3	tipe H
4	tipe MS
5	tipe M
6	tipe T
7	tipe R
8	tipe G

Sumber : Maschinenfabrik Reinhausen 2010

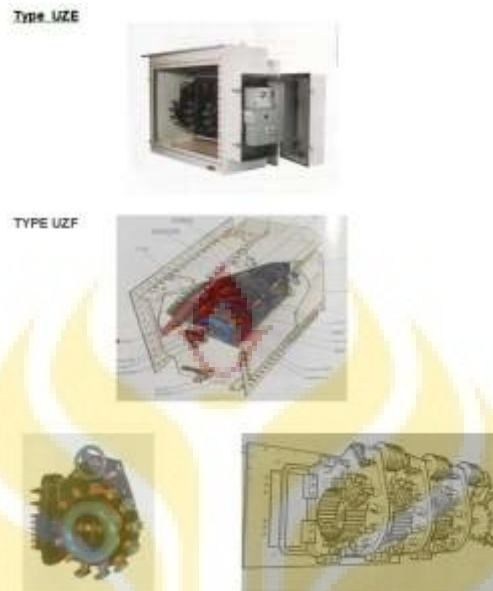
Beberapa tipe OLTC merk MR dapat dilihat pada gambar 2.25 dibawah ini :



Gambar 19 Tipe-tipe OLTC Merk MR  
 Sumber : Maschinenfabrik Reinhausen.2010

## 2) OLTC ABB

Berikut merupakan beberapa contoh OLTC ABB.



Gambar 20 OLTC merk ABB

Sumber : ABB.2005

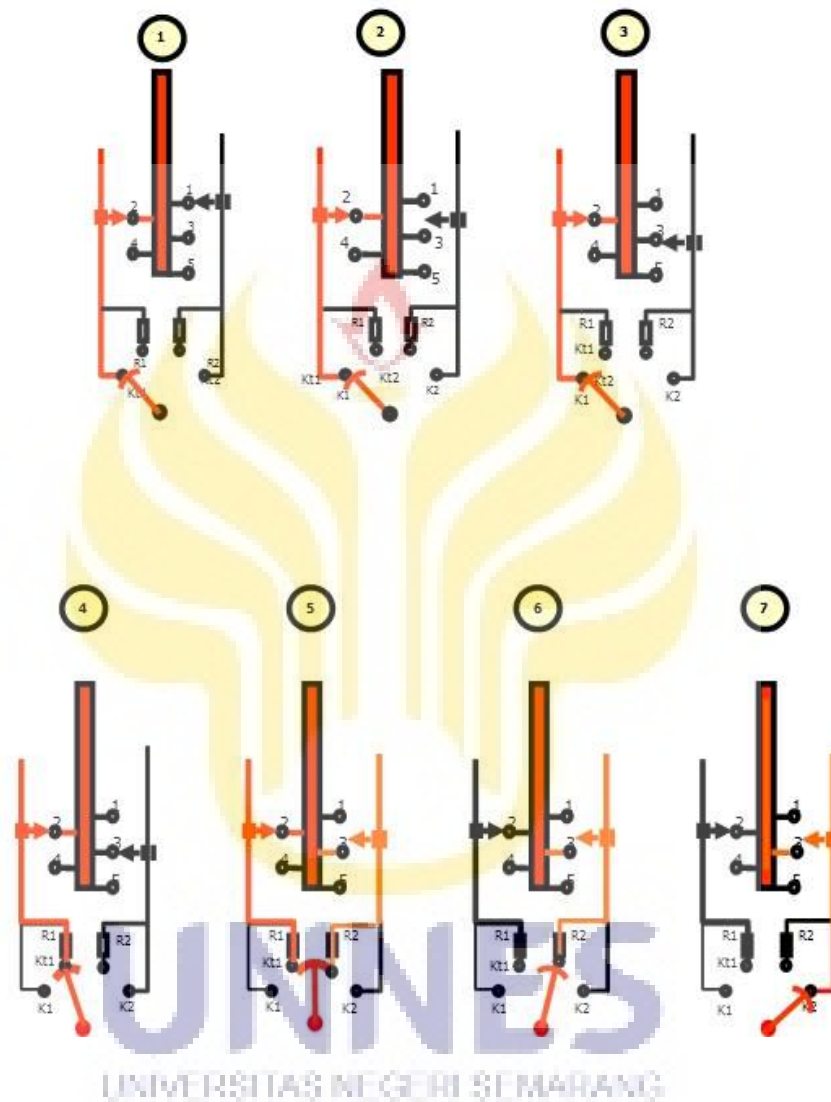
5. Konsep Perpindahan *Tap* pada OLTC

Berdasarkan konsep perpindahan tap yang sering digunakan pada OLTC terdapat 2 konsep perpindahan, yaitu :

a. Kombinasi *Selector Switch* dan *Diverter Switch*

Pada konsep ini OLTC mempunyai dua bagian utama dalam melakukan perpindahan *tap*, yaitu *tap selector* dan *diverter switch*. Prosesnya terdiri dari dua tahap, pada tahap pertama gerak perubahan posisi terjadi pada *tap selector*, pada tahap ini kontak *selector* tidak dialiri arus beban, setelah gerak perpindahan di *tap selector* selesai gerak perubahan dilanjutkan oleh *diverter*, perubahan posisi pada kontak *diverter* membawa arus beban, agar tidak terjadi pemutusan arus saat

perpindahan kontak arus beban dialirkan melalui resistor transisi (*transition resistance*), untuk jelasnya dibawah ini proses pindah tap dari tap 2 ke tap 3.



Gambar 21 Konsep Perpindahan Kombinasi Deverter Switch dan Selector Switch

Keterangan gambar perpindahan *tap* untuk setiap langkah ( ditunjukkan oleh nomor gambar) :

- 1) Langkah Pertama

- a) *Tap selector* genap pada posisi terminal/ *tap* 2 (atau disebut *service* posisi pada *tap* 2)
  - b) *Tap selector* ganjil pada posisi terminal/ *tap* 1
  - c) Arus beban melalui terminal 2 – kontak utama *diverter* – menuju ke titik pentanahan (garis warna merah).
- 2) Langkah Kedua
- a) *Tap selector* ganjil bergerak dari terminal 1 menuju terminal 3/ *tap* 3
  - b) Aliran arus beban masih sama dengan langkah 1
  - c) Pergerakan *tap selector* 1 ke 3 tidak membawa arus beban.
- 3) Langkah Ketiga
- a) *Tap selector* ganjil berhenti pada terminal 3/ *tap* 3
  - b) Aliran arus beban masih sama dengan langkah 1
  - c) Pergerakan *tap selector* 1 ke 3 tidak membawa arus beban.
- 4) Langkah Keempat
- a) *Tap selector* ganjil berhenti pada terminal 3/ *tap* 3
  - b) Kontak *diverter* bergerak menuju transisi kontak K1
  - c) Aliran arus beban melalui resistor R1 kontak K1 menuju ke titik pentanahan
  - d) Posisi ini disebut transisi pada resistor R1 dan transisi kontak K1.
- 5) Langkah Kelima
- a) *Tap selector* ganjil berhenti pada terminal 3/ *tap* 3
  - b) Kontak *diverter* bergerak menuju ke transisi kontak K2
  - c) Kontak utama *diverter* memutus transisi kontak K1 dan K2

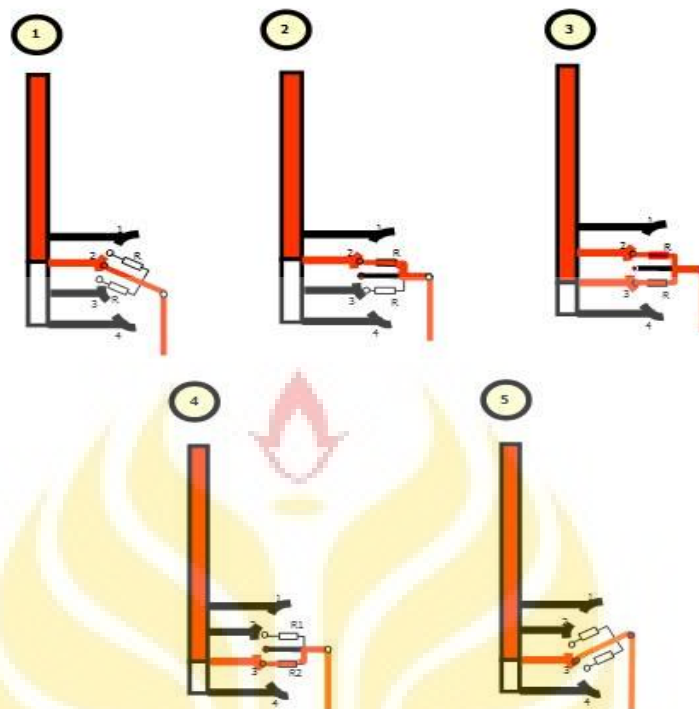
- d) Aliran arus beban melalui resistor R1, R2 transisi kontak K1 dan K2, menuju ke titik pentanahan.
  - e) Posisi ini disebut super posisi.
- 6) Langkah Keenam
- a) *Tap selector* ganjil berhenti pada terminal 3/ *tap* 3
  - b) Kontak *diverter* bergerak menuju transisi kontak K2
  - c) Aliran arus beban melalui resistor R2 kontak K2 menuju ke titik pentanahan
  - d) Posisi ini disebut transisi pada resistor R2 transisi kontak K2.
- 7) Langkah Ketujuh
- a) *Tap selector* ganjil berhenti pada terminal 3/ *Tap* 3
  - b) Aliran arus beban menuju pentanahan
  - c) Posisi ini disebut *service* posisi pada tap 3.

Pada saat perpindahan *tap selector* tidak terjadi *arching*, karena arus dan tegangan sudah diredam oleh transisi resistor pada *diverter switch*. Proses perpindahan *tap* dari langkah 1 hingga langkah 7 terjadi dalam waktu kurang lebih 20-30 mili detik, tergantung dari type OLTC-nya.

#### **b. Konsep *Selector Switch***

Pada konsep ini pemilihan langsung pada *tap selector* yang berpindah dari posisi satu ke yang lain dengan membawa beban melalui dua resistor transisi.

Berikut ini dicontohkan proses perpindahan tap 2 ke posisi tap 3



Gambar 22 Konsep Perpindahan Selector Switch

Keterangan gambar perpindahan tap untuk setiap langkah (ditunjukkan oleh nomor gambar) :

- 1) Langkah pertama
  - a) Kontak diverter pada terminal/ tap 2
  - b) Kedua kontak transisi resistor mengambang
  - c) Arus beban melalui terminal 2 – kontak utama diverter – menuju ke titik netral (garis warna merah)
  - d) Posisi ini disebut service pada tap 2.
- 2) Langkah Kedua
  - a) Kontak gerak (moving contact) bergerak ke arah terminal 3
  - b) Contact diverter posisi mengambang

- c) Kontak transisi resistor R1 pada terminal/tap 2
  - d) Kontak transisi resistor R2 pada terminal 3.
- 3) Langkah Ketiga
- a) Kontak gerak (moving contact) bergerak ke arah terminal 3
  - b) Kontak diverter posisi mengambang
  - c) Kontak transisi resistor R1 pada terminal/tap 2
  - d) Kontak transisi resistor R2 pada terminal/tap 3
  - e) Arus beban melalui terminal 2 – transisi resistor R1 dan R2 – titik netral
  - f) Posisi ini disebut super posisi
- 4) Langkah keempat
- a) Kontak gerak (moving contact) bergerak ke arah terminal 3
  - b) Kontak diverter posisi mengambang
  - c) Kontak transisi resistor R1 mengambang pada terminal/tap 2
  - d) Kontak transisi resistor R2 pada terminal/tap 3
  - e) Arus beban melalui terminal 3 – transisi resistor R2 – titik netral
  - f) Posisi ini disebut transisi pada kontak R2 dan transisi resistor R2
- 5) Langkah kelima
- a) Kontak diverter pada terminal/tap 3
  - b) Kedua kontak transisi resistor mengambang
  - c) Arus beban melalui terminal 3 - kontak utama diverter - menuju ke titik netral. (garis warna merah)
  - d) Posisi ini disebut service posisi pada tap

## 6. Pengaturan dan Perhitungan Posisi *Tap* pada AVR

Menurut Doni Ridho Suryanto (2013) Sebagai sebuah peralatan bantu pengaman, kinerja tap changer yang mampu bekerja otomatis perlu diberikan sensor pendukung. Sensor inilah yang bekerja memberikan trigger masukan untuk memindahkan nilai tap-tap sesuai setingan yang dimasukkan. Pada *tap changer*, sensor yang digunakan adalah atau *voltage regulator* (AVR) yang berfungsi untuk pendeteksi naik turunnya tegangan pada sisi sekunder transformator. Dalam hal ini nilai tegangan masukan yang dideteksi diambil dari potensial transformator di sisi sekunder transformator.

Sebagaimana sebuah rele pengaman, maka AVR juga memerlukan input masukan untuk pengoperasian kinerjanya. Dalam penyetingannya, nilai inputan yang diberikan adalah sebagai berikut :

### a. Perubahan Tegangan

Nilai perubahan inilah yang menjadi faktor penting sebagai masukan AVR. Dari nilai naik dan turunnya tegangan inilah yang dapat menentukan nilai perubahan *tap* pada *tap changer*. Jika kenaikan nilai tegangan diatas nilai standar, maka AVR akan memerintahkan nilai tap untuk turun. Sedangkan jika nilai tegangan sekunder turun, maka AVR dapat men-trigger motor untuk menaikkan tap. Pengaturan pada tegangan ini adalah :

1. *Voltage level*, yaitu pengaturan untuk tegangan keluaran sisi sekunder transformator. Nilai yang dimasukkan pada AVR berdasarkan rasio pada potensial transformator.



2. *Under voltage blocking (U<)*, yaitu pengaturan untuk membatasi tegangan minimum yang boleh diijinkan oleh AVR. Nilai yang dimasukkan pada AVR berdasarkan rasio pada potensial transformator.
3. *Over voltage detection (U>)*, yaitu pengaturan untuk membatasi tegangan maksimum yang boleh diijinkan oleh AVR. Nilai yang dimasukkan pada AVR berdasarkan rasio pada potensial transformator.

**b. Waktu**

Pengaturan setting waktu ini digunakan sebagai settingan waktu lamanya perubahan tegangan terjadi. Hal ini digunakan jika nilai perubahan tegangan yang terjadi hanya waktu sesaat. Sehingga AVR tidak perlu bekerja jika settingan waktu belum melampaui batas kerja.

**c. Bandwith**

Yaitu pengaturan terhadap perubahan setiap perpindahan tap. Untuk pengaturan bandwith dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{Bandwith } (\Delta U)\% = \frac{U_{\text{actual}} - U_{\text{desired}}}{U_{\text{desired}}} \times 100\%$$

Keterangan: UNNES UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

$U_{\text{actual}}$  : tegangan sebenarnya (volt)

$U_{\text{desired}}$  : tegangan yang diinginkan (volt)

**7. Fenomena –fenomena pada *On Load Tap Changer (OLTC)***

Menurut Priyo Kiswanto (2010) Didalam proses kerja OLTC yang dimulai dari bekerjanya motor penggerak, pemilihan tap, posisi transisi hingga

posisi servise, terdapat peristiwa atau fenomena – fenomena yang saling berkaitan, dimana efek dari fenomena itu apabila tidak terdeteksi secara dini dapat menimbulkan gangguan, atau menurunkan umur teknik OLTC. Fenomena tersebut antara lain :

**a. Fenomena Elektrik**

Arus dan tegangan yang mengalir pada suatu peralatan apabila melebihi dari batasan/ rating yang telah ditentukan akan menimbulkan stress pada peralatan tersebut dan akhirnya akan merusakan sistem isolasi yang ada.

*Partial discharge, corona* dan *arching* bahkan *flashover* merupakan efek dari fenomena elektrik pada pengoperasian OLTC, yang dapat menguraikan bahan isolasi padat dan cair menjadi jenis gas termasuk *combustable gas*, sedangkan *arching* dan *flashover* sebagai akibat dari stress elektrik dapat mengakibatkan terurainya bahan isolasi dan kerusakan material.

Peristiwa tersebut sering ditandai dengan bekerjanya *protective rele* OLTC, dan apabila dianalisa, pada minyak *diverter switch* akan dijumpai beberapa jenis gas yang mudah terbakar (*combustable gas* seperti : *acethelene, ethylene* dan *hydrogen*).

**b. Fenomena Mekanik**

OLTC merupakan satu-satunya bagian trafo yang bergerak secara mekanik. Proses perpindahan tap dimulai dari gerak putar motor, disalurkan melalui batang penggerak ke roda-roda gigi dan selanjutnya pada pegas penggerak kontak serta gerak geser kontak itu sendiri. Efek dari fenomena mekanik ini dapat mengakibatkan terjadinya bengkok, retak, aus dan kendornya baut-baut.

### c. Fenomena *Thermal/Panas*

Sesuai dengan kaidah rumus panas ( $I^2.R.t$ ), akan timbul panas pada bahan konduktor yang dilalui arus, tahanan dan waktu, biasanya pada saat beban puncak dimana beban trafo tinggi dan OLTC akan bekerja berulang-ulang menyesuaikan dengan fluktuasi tegangan, suhu minyak pada OLTC akan meninggi dan mengakibatkan tekanan pada *compartement diverter*.

Panas tertinggi akan diterima oleh transisi resistor pada saat terjadi perpindahan kontak dan *hot spot* pada titik sambungan yang nilainya melampaui batasan yang ditentukan. Panas yang berlebihan akan mengakibatkan terurainya bahan isolasi baik padat maupun cair menjadi beberapa macam jenis gas.

### E. Daya

Menurut Mohamad Ramadhani (2008) Daya listrik adalah besarnya energi listrik yang dapat dipindahkan dalam satu satuan waktu. Daya listrik dalam sistem arus bolak-balik sinusoidal dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\text{Tegangan sesaat} = v(t) = V_m \cos(\omega t + \theta_v)$$

$$\text{Arus sesaat} = i(t) = I_m \sin(\omega t + \theta_i)$$

Daya sesaat,

$$P(t) = v(t) \times i(t) = V_m \cos(\omega t + \theta_v) \times I_m \sin(\omega t + \theta_i)$$

Sesuai rumus dalam trigonometri

$$\cos A \cos B = \frac{1}{2} \cos(A-B) + \frac{1}{2} \cos(A+B)$$

maka didapatkan :

$$p(t) = \frac{1}{2} \cdot V_m \cdot I_m \{ \cos(\theta_v - \theta_i) + \cos(2\omega t + \theta_v + \theta_i) \}$$

$$p(t) = \frac{1}{2} \cdot V_m \cdot I_m \{ \cos(\theta_v - \theta_i) + \cos[2(\omega t + \theta_v) - (\theta_v - \theta_i)] \}$$

$$p(t) = \frac{1}{2} \cdot V_m \cdot I_m \{ \cos(\theta_v - \theta_i) + \cos 2(\omega t + \theta_v) \cos(\theta_v - \theta_i) + \sin 2(\omega t + \theta_v) \sin(\theta_v - \theta_i) \}$$

Tegangan rata-rata untuk arus bolak-balik sinusoidal =

$$[V] = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$$

Arus rata-rata untuk arus bolak-balik sinusoidal =

$$[I] = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

Bila  $\theta_v - \theta_i = \theta$  maka,

$$p(t) = [V] \cdot [I] \cdot \cos \theta [1 + \cos 2(\omega t + \theta_v)] + [V] \cdot [I] \cdot \sin \theta \cdot \sin 2(\omega t + \theta_v).$$

(2.8)

### 1. Daya Semu

Dari persamaan diatas yang dimaksudkan daya semu dalam sistem tenaga listrik bolak-balik dirumuskan sebagai berikut :

$$S = |V| |I|$$

Untuk sistem tiga fasa yang seimbang atau simetris, daya semu sering dituliskan :

$$S = 3 |V| |I|$$

Bentuk yang umum dikenal dari persamaan daya semu untuk sistem tiga fasa yang seimbang adalah :

$$S = \sqrt{3} \cdot |V| |I_L|$$

Keterangan :

$V_L$  = Tegangan efektif fasa ke fasa (volt)

$I_L$  = Arus fasa efektif (ampere)

## 2. Daya Aktif atau Nyata (P)

Dari persamaan :

$$p(t) = [V].[I]. \cos \theta [1 + \cos 2(\omega t + \theta v)] + [V].[I]. \sin \theta . \sin 2(\omega t + \theta v)$$

Yang dimaksudkan daya aktif atau nyata (P) dalam sistem tenaga listrik arus bolak-balik, dijabarkan dari komponen 1 dari persamaan tersebut sebagai berikut :

$$P = [V].[I]. \cos \theta [1 + \cos 2(\omega t + \theta v)]$$

$$P = [V].[I]. \cos \theta + [V].[I]. \cos \theta . \cos 2(\omega t + \theta v)$$

Untuk beban resistif dimana komponen 2 = 0 maka :

$$[V].[I]. \cos \theta . \cos 2(\omega t + \theta v) = 0$$

Bila gelombang tegangan dan arus berbentuk sinusoidal murni, maka :

$$P = [V].[I]. \cos \theta$$

Untuk sistem 3 fasa maka :

$$P = \sqrt{3} . [V].[I] \cos \theta$$

## 3. Daya Reaktif (Q)

$$p(t) = [V].[I]. \cos \theta [1 + \cos 2(\omega t + \theta v)] + [V].[I]. \sin \theta . \sin 2(\omega t + \theta v)$$

Yang dimaksudkan dengan daya reaktif (Q) dalam sistem tenaga listrik arus bolak-balik, dijabarkan dari komponen 2 dari persamaan tersebut sebagai berikut :

$$[V].[I]. \sin \theta . \sin 2(\omega t + \theta v)$$

Untuk  $(\omega t + \theta v) > 0$  maka, arus mengikuti tegangan sehingga daya reaktif bersifat induktif.

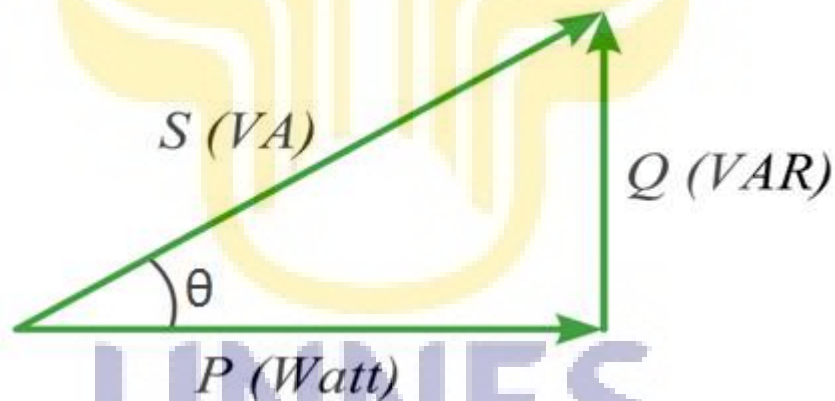
Untuk  $(\omega t + \theta_v) < 0$  maka, arus mendahului tegangan sehingga daya reaktif bersifat kapasitif.

$$Q = |V| |I| \sin \theta$$

Dalam sistem tiga fasa yang seimbang, besarnya daya reaktif (Q) adalah :

$$Q = \sqrt{3} \cdot |V| |I| \sin \theta$$

Dari penjelasan ketiga macam daya diatas, dikenal juga sebagai segitiga daya. Dimana definisi umum dari segitiga daya adalah suatu hubungn antara daya nyata, daya semu, dan daya reaktif, yang dapat dilihat hubungannya pada gambar bentuk segitiga berikut ini :



Gambar 23 Segitiga Daya

UNNES  
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

Keterangan :

$$P = S \times \cos \theta \text{ (Watt)}$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \text{ (VA)}$$

$$Q = S \times \sin \theta \text{ (VAR)}$$

## **F. Jatuh Tegangan**

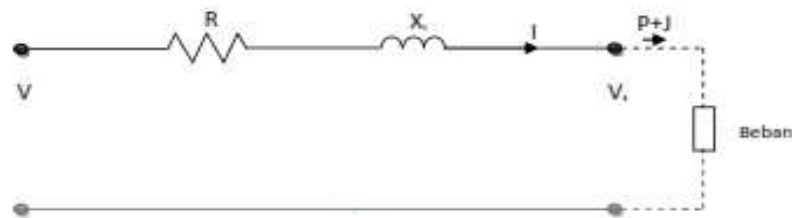
Menurut Ramdhan Halid dan Syahrizal (2007). Jatuh tegangan adalah besarnya tegangan yang diakibatkan oleh arus yang mengalir pada suatu media yang mempunyai impedansi. Untuk sistem arus searah, besarnya susut tegangan sama dengan arus dikalikan resistansi hantaran tersebut, sedangkan pada saluran arus bolak-balik besarnya susut tegangan merupakan fungsi dari arus beban dan cosinus sudut impedansi dari beban. Pada jaring distribusi primer, susut tegangan dan rugi daya sebagian besar terjadi di saluran dan transformator yang bisa menghantarkan arus beban tanpa pilih saluran dan transformator yang bisa menghantarkan arus beban tanpa menyebabkan susut tegangan yang berlebihan dan dengan temperatur/suhu yang aman.

### **1. Konsep Dasar Perhitungan Jatuh Tegangan**

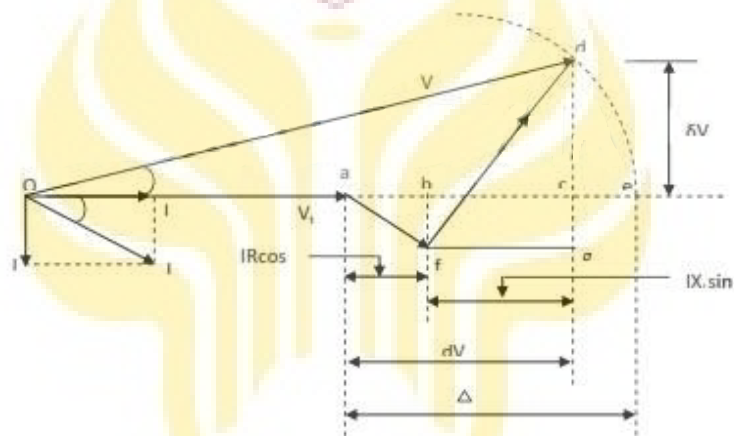
Pada dasarnya jatuh tegangan (*voltage drop*) yang terjadi dalam suatu sistem tenaga listrik disebabkan oleh adanya arus yang mengalir pada impedansi ( $Z$ ), baik itu impedansi yang ada pada jaringan ataupun peralatan listrik lainnya yang terdapat dalam sistem tersebut. Besarnya jatuh tegangan secara umum merupakan selisih antara tegangan sumber ( $V_k$ ) dengan tegangan nominal di ujung beban atau jaringan ( $V_t$ ).

Sebagai dasar dalam menghitung dan menganalisis jatuh tegangan, akan ditentukan jatuh tegangan pada jaringan dalam suatu sistem tenaga listrik. Sebagai gambaran mengenai suatu tenaga listrik, akan ditunjukkan dengan menggunakan rangkaian pengganti satu fasa yang sederhana seperti Gambar 24

dan dilengkapi dengan diagram vektor dari rangkaian tersebut, seperti yang terlihat dalam Gambar 25.



Gambar 24 Rangkaian Diagram Satu Fasa



Gambar 25 Diagram Fasor

Jatuh tegangan yang terjadi pada jaringan distribusi 20 kV diakibatkan oleh nilai resistansi dan reaktansi dari saluran. Gambar 24 menerangkan bahwa nilai resistansi terhubung seri dengan nilai reaktansi. Sehingga besar jatuh tegangan dapat diketahui melalui analisis perhitungan. Sesuai dengan definisi jatuh tegangan adalah :

$$\Delta V = |V_k| - |V_t|$$

Keterangan :

$V_k$  = Nilai mutlak tegangan ujung kirim (volt)

$V_t$  = Nilai mutlak tegangan ujung terima (volt)



Gambar 25 merupakan diagram fasor dari Gambar 24 dengan titik O sebagai pusat dari lingkaran dengan jari-jari  $od = V_k$ , kita buat lingkaran sehingga memotong perpanjangan  $V_t$  pada titik c. Jadi  $V_k = O_e = Oa+ac+ce$ . Oleh karena  $ce \ll V_k$ ;  $ce$  dapat diabaikan, sehingga  $V_k = O_e+ac$ .

Selanjutnya,  $O_e = V_t$ ;  $ac = ab+bc$  dimana  $ab = IR \cos \phi t$  dan  $bc = IXL \sin \phi t$ ; sehingga  $ac = dV = IR \cos \phi t + IXL \sin \phi t$ .

Selanjutnya  $V_k$  dapat ditulis dalam bentuk :

$$V_k \approx V_t + dV \\ \approx V_t + IR \cos \phi t + IXL \sin \phi t$$

Atau

$$V_k - V_t \approx IR \cos \phi t + IXL \sin \phi t$$

Sesuai dengan definisi diatas :

$$\Delta V \cong |V_k| - |\Delta V_t| \text{ maka didapat :}$$

$$\Delta V \cong IR \cos \phi t + IXL \sin \phi t$$

Jatuh tegangan dalam prosen

Jatuh tegangan dalam prosen menurut definisi :

$$\left(\frac{\Delta V}{V_t}\right) \% = \frac{|V_k| - |V_t|}{V_t} \times 100 \%$$

## 2. Perhitungan Jatuh Tegangan

Sebagai gambaran mengenai suatu tenaga listrik, akan ditunjukkan dengan menggunakan rangkaian pengganti satu fasa yang sederhana seperti Gambar 24.

Menurut Badruddin (2013) Untuk menghitung jatuh tegangan, jatuh tegangan dapat dihitung dengan rumus :

$$\Delta V = I \cdot Z \cdot L \cdot K_b$$

Keterangan :

I = Arus pada penghantar (ampere)

Z = Impedansi (ohm/Km)

L = Panjang saluran (Km)

K<sub>b</sub> = Faktor distribusi

Faktor distribusi ditentukan dengan dasar

- a. Beban dianggap terdistribusi merata (0,5)
- b. Pada perencanaan diambil safety factor 0,1 (untuk mengkompensasi beban yang ada diujung), jadi harga K<sub>b</sub> diambil 0,6

Impedansi dapat dihitung dengan rumus :

$$Z = \sqrt{R^2 + XL^2}$$

Keterangan :

Z = Impedansi (ohm/Km)

R = Resistansi (ohm/Km)

XL = Reaktansi (ohm/Km)

Sedangkan prosentase jatuh tegangan dapat dihitung menggunakan rumus

berikut :

$$\Delta V(\%) = \frac{\Delta V}{V} \times 100 \%$$

Keterangan :

$\Delta V$  = Jatuh tegangan (volt)

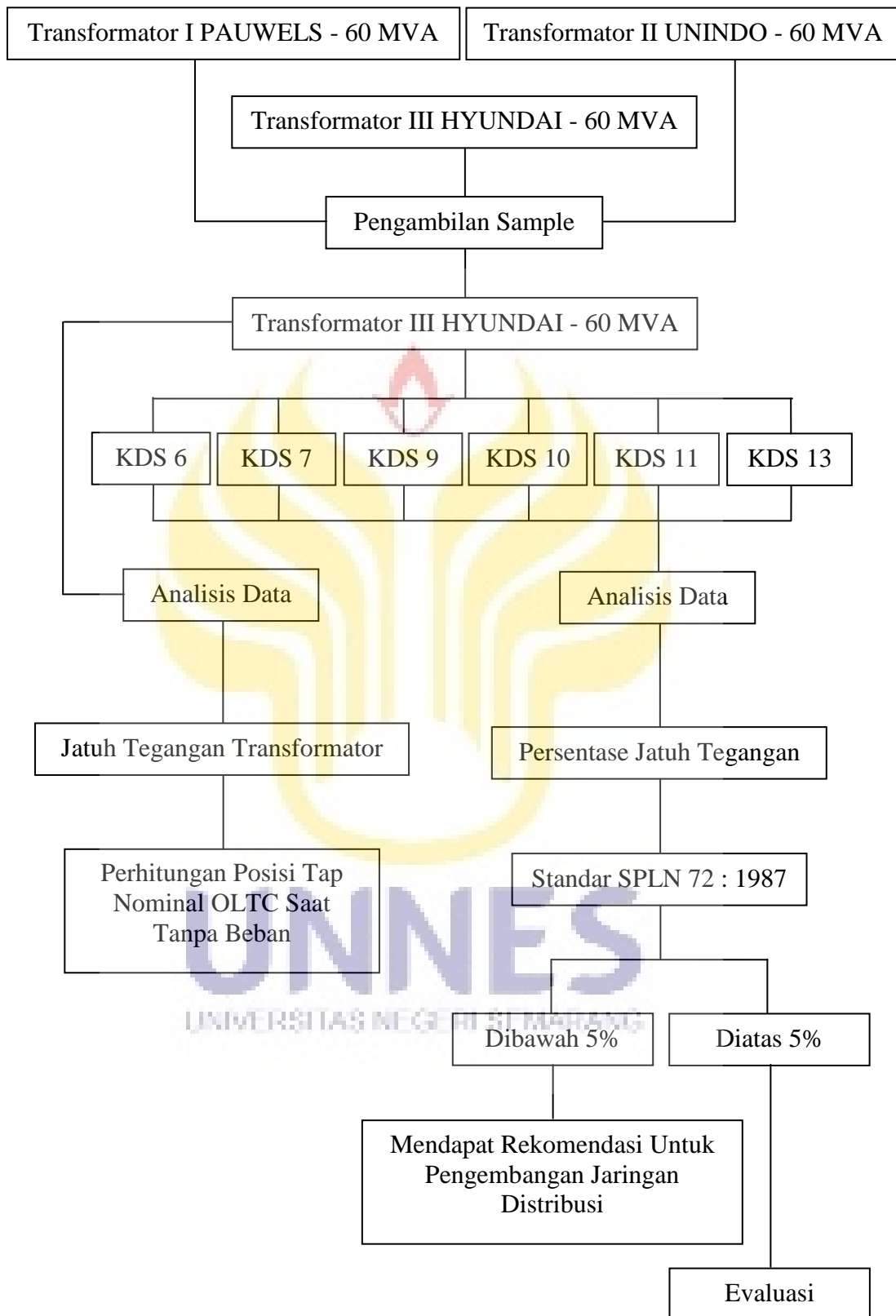
V = Tegangan sumber (volt)

## G. Kerangka Berfikir

Penyaluran tenaga listrik ke konsumen, kenyataannya sulit mendapatkan tegangan yang konstan yang disebabkan antara lain : karena adanya fluktuasi beban dan kerugian pada hantaran yang disebabkan adanya impedansi disetiap peralatan penyalur tenaga listrik. Akibat dari fluktuasi beban serta rugi pada hantaran maka terjadi jatuh tegangan pada transformator maupun dari sisi penghantar penyulang itu sendiri.

Mengatasi jatuh tegangan yang terjadi pada transformator karena adanya perubahan beban maka setiap transformator daya 150/20 kV dipasang *on load tap changer* (OLTC) yang berfungsi untuk menstabilkan tegangan pada sisi sekunder akibat adanya fluktuasi beban sehingga menurunkan tegangan pada sisi primer yang berimbas pada menurunnya pula tegangan pada sisi sekunder. Kenyataannya tegangan nominal keluaran sisi sekunder awal pada transformator daya 150/20 kV adalah 20 kV kemudian dirubah menjadi 21 kV dengan pertimbangan tertentu. Dari kejadian dirubahnya tegangan nominal keluaran sisi sekunder mengakibatkan berubahnya pula posisi tap setiap tegangan inputan menurut tabel pada *namelate* transformator, yang semula saat tegangan masukan transformator 150 kV posisi normal pada *on load tap changer* pada tap 8 akan menaikkan tegangan sisi sekunder menjadi 21 kV. Oleh sebab itu perlu dilakukan analisis perubahan tap pada *on load tap changer* terhadap jatuh tegangan transformator serta perlu analisis jatuh tegangan pada sisi ujung penghantar disetiap penyulang keluaran transformator daya 150/20 kV untuk mendapatkan suatu rekomendasi dalam pengembangan jaringan distribusi di gardu induk Kudus.

Langkah awal dilakukannya penelitian ini adalah dengan melakukan pendataan berupa spesifikasi transformator melalui *namelate* yang ada pada transformator, data setiap penyulang keluaran transformator daya 150/20 kV serta beban arus setiap fasa yang mengalir pada setiap transformator dan penyulang di gardu induk Kudus. Setelah data terkumpul kemudian dianalisis dengan mencari jatuh tegangan pada transformator dan setiap penyulangnya. Jatuh tegangan pada transformator dapat dicari dengan cara mencari impedansi baru transformator karena adanya perubahan tegangan nominal transformator sehingga dapat dihitung jatuh tegangan untuk dapat menganalisa perubahan tap pada *on load tap changer*. Selanjutnya membandingkan hasil jatuh tegangan pada transformator dan setiap penyulang dengan standarisasi yang ada, dalam penelitian ini menggunakan standar SPLN 72 : 1987 untuk mendapatkan data penyulang mana yang presentase jatuh tegangannya terlalu tinggi sehingga tidak sesuai SPLN 72 : 1987 dan mana yang presentase jatuh tegangan yang masih masuk dalam standar SPLN 72 : 1987 sebagai data awal untuk dilakukan pengamatan sebagai data rekomendasi dalam pengembangan jaringan distribusi di gardu induk Kudus.



Gambar 26 Skema Kerangka Berfikir

## H. Hipotesis

Hipotesis adalah suatu jawaban yang sifatnya sementara terhadap permasalahan sampai terbukti melalui terkumpul (Suharsimi Arikunto, 2010 : 110). Berdasarkan teori diatas, maka diajukan hipotesis sebagai berikut :

1. Hipotesis kerja ( $H_a$ ) : Terdapat jatuh tegangan Pada sisi penyulang karena adanya impedansi pada setiap penghantar penyulang.
2. Hipotesis nol ( $H_o$ ) : Tidak terdapat jatuh tegangan pada sisi penyulang karena adanya impedansi pada setiap penghantar penyulang.



## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **A. KESIMPULAN**

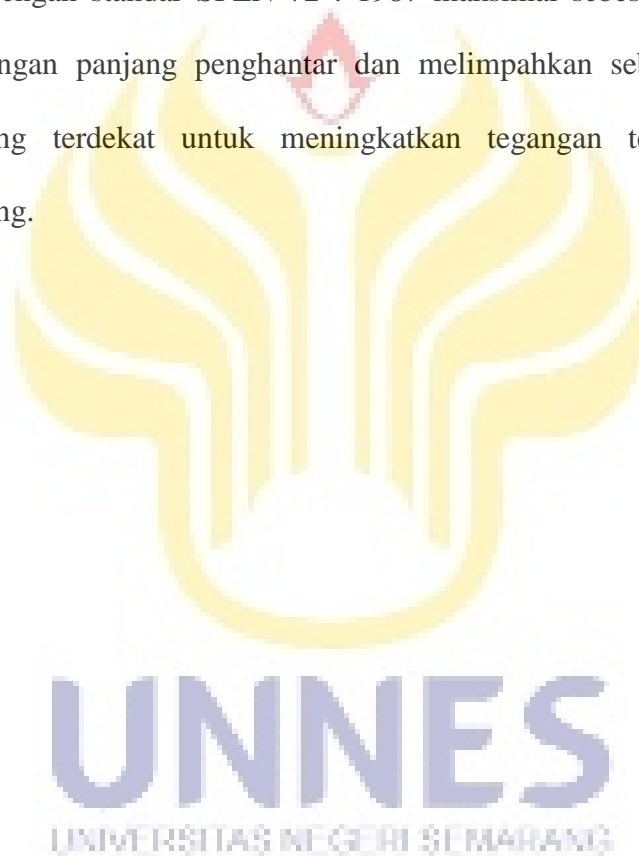
Hasil penelitian yang telah dianalisis, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Langkah-langkah menentukan perubahan posisi *tap* pada *on load tap changer* (OLTC) yaitu pertama menentukan impedansi nominal transformator ( $Z_{trf}$ ) untuk mengetahui jatuh tegangan pada transformator, kedua mencari *bandwith* OLTC untuk menentukan tegangan setiap kenaikan *tap* pada *on load tap changer* (OLTC) yang terakhir adalah membagi besar jatuh tegangan transformator dengan besar tegangan setiap kenaikan *tap* yang dicari melalui perhitungan *bandwith* OLTC.
2. Penyebab utama menaikkan tegangan nominal transformator dari 20 kV menjadi 21 kV adalah memperbaiki jatuh tegangan pada sisi ujung penyulang.

#### **3. SARAN**

1. Tegangan dan fluktuasi beban yang selalu berubah-ubah akan menyebabkan perubahan pada posisi *tap changer*-nya, karena itu perlu diperhatikan kualitas minyak pada *on load tap changer* (OLTC) agar kinerja *on load tap changer* (OLTC) tetap terjaga dengan baik.

2. Jatuh tegangan pada transformator III 60 MVA diakibatkan oleh umur transformator yang sudah tua sehingga perlu dilakukan perawatan pada transformator daya untuk meningkatkan kinerja dari transformator daya tersebut.
3. Perlu adanya evaluasi pada beberapa penyulang karena jatuh tegangan tidak sesuai dengan standar SPLN 72 : 1987 maksimal sebesar 5% dengan cara pengurangan panjang penghantar dan melimpahkan sebagian beban pada penyulang terdekat untuk meningkatkan tegangan terima pada ujung penyulang.





## DAFTAR PUSTAKA

- Alsimeri, dkk. 2008. *Teknik Transmisi Tenaga Listrik Jilid 1*. Jakarta: Departemen Pendidikan Nasional.
- A.N. Afandi. 2010. *Operasi Sistem Tenaga Listrik Berbasis EDSA*. Yogyakarta: Gava Media.
- Arikunto, Suharsimi. 2010. *Prosedur Penelitian*. Jakarta: PT Asdi Mahasatya.
- Badrudin. 2013. *Modul Xiv Studi Penyediaan Energi Listrik. Pusat Pengembangan Bahan Ajar-UMB*.
- Bonggas L. Tobing. 2003. *Peralatan Tegangan Tinggi*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Cekdin, Cekmas & Taufik Barlian. 2013. *Transmisi Daya Elektrik*. Yogyakarta: Andi Yogyakarta.
- Catalog: *Elektronik Voltage Regulator Mk 30*. Maschinenfabrik Reinhausen.
- Fathurrahman & Maironal Ismanto. 2015. *Pemeliharaan On Load Tap Changer (OLTC) Transformator Daya PT PLN (Persero) Unit Pelayanan Transmisi (UPT) Banda Aceh*. Seminar Nasional dan Expo Teknik Elektro: 32-37.
- Kamaraju, V. 2009. *Electrical Power Distribution System*. New Delhi: Tata McGraw Hill Education Private Limited.
- Kasyanto. 2011. *Pengaruh Regulator Tegangan Terhadap Perbaikan tegangan pada jaringan tegangan menengah 20KV Penyulang Purwodadi 10*. Prosiding: Seminar Tugas Akhir. Semarang. Universitas Diponegoro.
- Muchin, Ismail. 2014. *Tenaga Listrik dan Elektronika*. Pusat Pengembangan Bahan Ajar-UMB.
- Nurhayati, Titik & Priyo Kiswantoro. 2010. *Mewaspada Titik Kelemahan On Load Tap Changer (OLTC) Pada Transformator Tenaga 60 MVS GIS Simpan Lima*. Jurnal Elekrika. 2(1): 15-25.
- PT PLN (Persero). 2010. *Final Pedoman O & M Transformator Tenaga*. Jakarta: Perusahaan Listrik Negara.
- Pusat Pendidikan dan Pelatihan. *Tap Changer dan Bagian-bagiannya*. PT PLN (Persero).
- Ramadhani, Mohamad. 2008. *Rangkaian Listrik*. Jakarta: Erlangga.
- Siregar, R. H & Shayrizal. 2007. *Analisis Pengaturan Tegangan Menggunakan On Load Tap Changer Dalam Meningkatkan Tegangan Terima 20 KV*. Jurnal Rekayasa Elekrika. 6(1): 35-40.
- Sumardjati, Prih. 2008. *Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik Jilid 3*. Jakarta: Departemen Pendidikan Nasional.
- Suryanto Doni Ridho. 2013. *Studi Pengaruh Posisi On Load Tap Changer Transformator 150/20 KV 30 MVA Untuk Menjaga Kestabilan Tegangan 20 KV Pada Gardu Induk Sronol Di PT PLN (Persero) Area Pelaksanaan Pemeliharaan Semarang*. Tugas Akhir. Politeknik Negeri Semarang.

- Sutjipto, Rachmad. 2013. *Analisis Terjadinya Sudden Pressure Pada On Load Tap Changer*. Artikel Terjadinya Sudden Pressure. Malang: Politeknik Negeri Malang. 107-117.
- Zuhal. 1995. *Dasar Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*. Jakarta: Gramedia.

