

**STUDI PENGGUNAAN PENGUBAH SADAPAN TRANSFORMATOR  
DALAM KEADAAN BERBEBAN (ON LOAD TAP CHANGER)  
DENGAN APLIKASI PADA TRANSFORMATOR DISTRIBUSI  
DI PT. SEMEN ANDALAS INDONESIA**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan  
Ujian Sarjana

Oleh :

**FARIANG RISYADWAN SIRAIT**  
**NIM : 018120004**



**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MEDAN AREA  
MEDAN  
2006**

**UNIVERSITAS MEDAN AREA**

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 28/8/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
  2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
  3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area
- Access From (repository.uma.ac.id)28/8/23

# STUDI PENGGUNAAN PENGUBAH SADAPAN TRANSFORMATOR DALAM KEADAAN BERBEBAN (ON LOAD TAP CHANGER) DENGAN APLIKASI PADA TRANSFORMATOR DISTRIBUSI DI PT. SEMEN ANDALAS INDONESIA

## TUGAS AKHIR

Oleh :

**FARIANG RISYADWAN SIRAIT**  
**NIM :01 812 0004**

Menyetujui :

Dosen Pembimbing

Pembimbing I



Ir. Aswandi Azwar

Pembimbing II



Ir. Zulkadi Bahri

Mengetahui :



Drs. Dadan Ramdan, M.Eng, M.Sc



Ir. Yance Syarif

Tanggal Lulus :  
UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 28/8/23

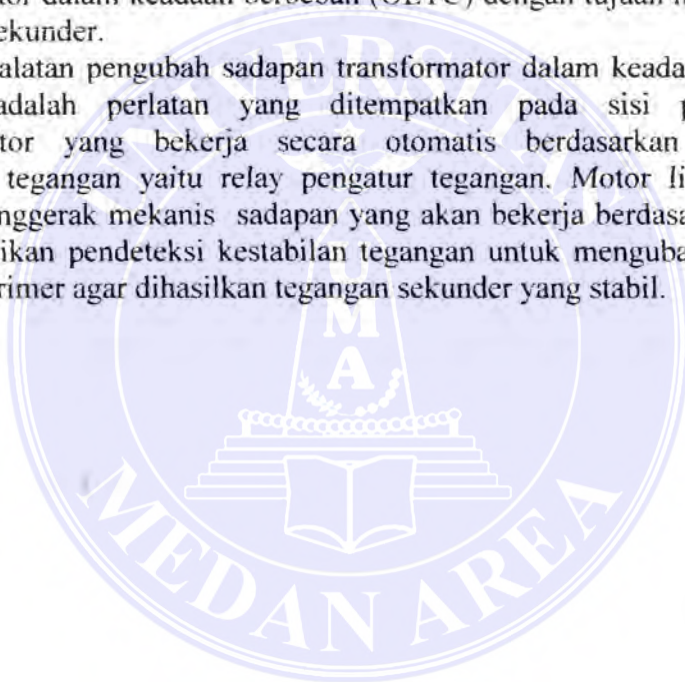
1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
  2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
  3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area
- Access From (repository.uma.ac.id)28/8/23

## ABSTRAK

Transformator Distribusi sebagai penyalur energi listrik dari stasiun pembangkit ke PT. Semen Andalas Indonesia diharapkan mampu menyalurkan energi listrik yang stabil agar peralatan-peralatan yang dilayani dapat bekerja dengan baik secara terus menerus.

Kondisi tegangan primer transformator yang berubah-ubah menjadi dasar permasalahan dibuatnya suatu peralatan pengubah sadapan transformator dalam keadaan berbeban (OLTC) dengan tujuan menstabilkan tegangan sekunder.

Peralatan pengubah sadapan transformator dalam keadaan berbeban (OLTC) adalah peralatan yang ditempatkan pada sisi primer dari transformator yang bekerja secara otomatis berdasarkan pendeteksi kestabilan tegangan yaitu relay pengatur tegangan. Motor listrik adalah sebagai penggerak mekanis sadapan yang akan bekerja berdasarkan respon yang diberikan pendeteksi kestabilan tegangan untuk mengubah hubungan pada sisi primer agar dihasilkan tegangan sekunder yang stabil.



## ABSTRACT

Distribution transformer as electric energy conductor from the generating system to PT. Semen Andalas Indonesia is expected able to distributed the stabil electric energy in order the equipment supplied can work better continually.

The condition of transformer primer voltage that changeable be the basic problem on making an equipment on load tap changer (OLTC) in order to stabilizer the sekunder voltage.

The equipment on load tap changer (OLTC) is an equipment that placed on the primer side from the automatic transformer based on voltage stabilization detector that is voltage regulation relay. Electric motor is as tap mechanic mover will work based on response that given by volyage stabilization detector to change the relation on primer side in resulting the sekunder voltage



## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat rahmat dan karunianya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.

Penyusunan tugas akhir ini dimaksudkan untuk memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan program pendidikan Strata satu (S1) pada Fakultas Teknik Jurusan Teknik Elektro Universitas Medan Area.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa dalam penulisan Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, hal ini dikarenakan keterbatasan kemampuan pengetahuan dan jangkauan pemikiran yang penulis miliki. Untuk itu dengan hati yang terbuka penulis mengharapkan kritik dan saran yang sifatnya membangun dan dapat meningkatkan kemampuan serta untuk dalam pembuatan karya tulis yang lainnya dimasa yang akan datang.

Dalam penulisan Tugas Akhir ini penulis telah banyak sekali memperoleh bantuan baik secara moril maupun materil dari semua pihak. Oleh karena itu dengan segala rasa hormat penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Bapak **Ir.Chairul Siregar**, selaku Manager Umum pada PT. Semen Andalas Indonesia (SAI)
2. Bapak **Sapto Hadi** selaku pembimbing riset pada PT. Semen Andalas Indonesia (SAI)

3. Bapak **Dadan Ramdan M.Eng, M.Sc**, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Medan Area.
4. Bapak **Ir. Yance Syarif**, selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Medan Area.
5. Bapak **Ir. Aswandi Azwar**, selaku pembimbing I.
6. Bapak **Ir. Zulkifli Bahri**, selaku Pembimbing II.
7. **Kedua Orang Tua** Penulis yang telah banyak menyumbangkan Moril maupun Materi selama Penulis Menyusun Tugas Akhir.
8. Rekan-rekan mahasiswa.

Medan, Juli 2006

Penulis

**Fariang Sirait**

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>ABSTRAK</b> .....	i
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	ii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	v
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	viii
<b>BAB I I PENDAHULUAN</b> .....	1
<b>I.1. Latar Belakang Permasalahan</b> .....	1
<b>I.2. Batasan Masaah</b> .....	3
<b>I.3. Tujuan Penulisan</b> .....	3
<b>I.4. Metodologi Penulisan</b> .....	4
<b>I.5. Sistematika Penulisan</b> .....	4
<b>BAB II PERALATAN PERALATAN PENUNJANG PADA PENGUBAH TAP TRANSFORMATOR</b> .....	5
<b>II.1. Transformator</b> .....	5
<b>II.2 Prinsip Kerja Transformator</b> .....	6
<b>II.3. Pengaturan Tegangan Transformator (<i>Voltage Regulating Relay</i>)</b> .....	9
<b>II.4. Transformator pengukuran</b> .....	11
<b>II.4.1. Transformator Tegangan</b> .....	11
<b>II.4.2 Transformator Arus</b> .....	11

II.5. Motor Induksi Satu Fasa .....	13
II.5.1. Motor Kapasitor .....	15
II.5.2. Membalik Putaran Motor Kapasitor.....	16
II.6. Relai Rangkaian Kontrol.....	17
II.7. Penyearah ( <i>Rectifier</i> ).....	18
II.7.1. Penyearah Setengah Gelombang.....	18
II.7.2. Penyearah Gelombang Penuh .....	10
II.8. Penguat Operasional.....	23
II.9. Penguat Integrator .....	24
<b>BAB III PENGUBAH TAP TRANSFORMATOR DALAM KEADAAN BERBEBAN.....</b>	<b>26</b>
<b>III.1. Pengubah Tap Transformator Dalam Keadaan Berbeban. ....</b>	<b>26</b>
<b>III.2. Tujuan Pemakaian Peralatan <i>OLTC</i> pada Transformator ...</b>	<b>27</b>
<b>III.3. Transformator Dengan Pengubah Tap .....</b>	<b>27</b>
<b>III.4. Mekanisme Pengubah Tap .....</b>	<b>31</b>
<b>III.4.1. Data Peralatan Pengubah Tap pada PT. Semen Andalas Indonesia, Belawan .....</b>	<b>31</b>
<b>III.4.2. Peralatan Pengubah Tap dan Susunannya .....</b>	<b>31</b>
<b>a. Saklar Pengalih (<i>Diverter Switch</i>) .....</b>	<b>33</b>
<b>b. Saklar Pilih (<i>Selector Switch</i>) .....</b>	<b>35</b>
<b>c. Mekanisme Kemudi (<i>Drving Mechanism</i>).....</b>	<b>36</b>



d. Saklar Pengendali ( <i>Control Switch</i> ) .....	36
<b>BAB IV PRINSIP KERJA PENGUBAH TAP DALAM KEADAAN BERBEBAN</b> .....	38
<b>IV.1. Mekanisme Kendali (<i>Control Mechanism</i>) dari OLTC</b> .....	38
<b>IV.1.1. Relai Pengatur Tegangan (<i>Voltage Regulating Relay</i>)</b> .....	39
<b>IV.2. Kondisi Kerja Normal Relai Pengatur Tegangan</b> .....	45
<b>IV.3. Kondisi Tidak Normal Relai Pengatur Tegangan</b> .....	45
<b>IV.4. Pengendali Motor Pengubah Tap</b> .....	45
<b>IV.5. Prinsip Kerja OLTC</b> .....	48
<b>IV.5.1. Prinsip Kerja Kontrol OLTC Secara Garis Besar</b> .....	50
<b>IV.5.2. Prinsip Kerja Rangkaian Kontrol Secara Otomatis</b> ....	51
<b>IV.5.3. Prinsip Kerja Rangkaian Kontrol Secara Manual</b> ....	53
<b>IV.6. Indikator-indikator Pada Rangkaian Kontrol</b> .....	54
<b>BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	56
<b>V.1. Kesimpulan</b> .....	56
<b>V.2. Saran</b> .....	57
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	58
<b>Lampiran</b> .....	

## DAFTAR GAMBAR

	Hal
1. Gambar 2.1 : Transformator.....	6
2. Gambar 2.2 : Gelombang sinusoidal dari fluksi.....	7
3. Gambar 2.3 : Rangkaian ekivalen harga sekunder ditransformasikan ke harga primer.....	9
4. Gambar 2.4 : Transformator tegangan.....	11
5. Gambar 2.4 : Transformator arus.....	12
6. Gambar 2.6 : Struktur motor induksi fasa tunggal.....	13
7. Gambar 2.7 : Fluksi yang dihasilkan motor induksi.....	14
8. Gambar 2.8 : Bagan rangkaian motor kapasitor dan diagram vektor $I_u$ dan $I_b$ .....	16
9. Gambar 2.9 : Kapasitor run motor dengan 2 arah putaran (kumparan utama dan kumparan bantu).....	17
10. Gambar 2.10: Simbol dan kontak-kontak bantu relai.....	18
11. Gambar 2.11: Penyearah setengah gelombang beserta out putnya.....	18
12. Gambar 2.12: Penyearah gelombang penuh.....	21
12. Gambar 2.13: Out put penyearah gelombang penuh.....	21
13. Gambar 2.14: Terbentuknya gelombang penuh pada rangkaian penyearah.....	21
14. Gambar 2.15: a. Diagram skematik penguat operasional.....	23

b. Diagram skematik penguat operasional dengan impedansi masukan dan umpan balik.....	23
15. Gambar 2.16: a. Diagram skematik sebuah integrator .....	25
b. Simbol integrator.....	25
16. Gambar 3.1 : Hubungan lilitan transformator dengan pengubah tap .....	29
17. Gambar 3.2 : Susunan peralatan <i>OLTC</i> .....	32
18. Gambar 3.3 : Peralatan kerja dari <i>OLTC</i> .....	33
19. Gambar 4.1 : Blok diagram voltage regulating relay .....	39
20. Gambar 4.2 : Blok diagram relay pengatur tegangan yang disederhanakan .....	40
21. Gambar 4.3 : Kurva deteksi tegangan .....	42
22. Gambar 4.4 : Diagram blok prinsip kerja <i>OLTC</i> .....	48
23. Gambar 4.5 : Mekanisme kerja pengubah tap .....	49

# BAB I

## PENDAHULUAN

### I.1. Latar Belakang Permasalahan.

Semakin pesatnya kemajuan industri yang ada di Indonesia, akan semakin berkembang pula teknologi dengan sarana peralatan yang semakin canggih untuk menghasilkan produk bagi konsumen dengan efisien dan tepat guna. Perkembangan teknologi tersebut menyebabkan pemakain energi yang lebih banyak dan disamping itu kontinuitasnya perlu dipertahankan dan dipenuhi. Untuk menyalurkan energi listrik dari stasiun pembangkit ke pemakai (konsumen) dibutuhkan peralatan listrik yaitu transformator daya.

PT. Semen Andalas Indonesia (SAI) dalam hal ini sebagai industri yang bergerak dalam bidang pengolahan dan produksi semen dalam bentuk pengantongan atau semen curah. Semen yang diproduksi secara terus menerus tentunya tidak terlepas dari kehandalan dan kemampuan peralatan yang digunakan serta kestabilan dalam beroperasi terhadap kemungkinan terjadinya gangguan yang bersifat internal dan eksternal, yang dapat menghambat produksi semen.

Berbagai bidang usaha secara teknis dapat dilakukan untuk menjaga kondisi tegangan operasional sekunder agar stabil dari tegangan primer yang berubah-ubah dari suatu transformator, sehingga peralatan yang dipakai sebagai penggerak seperti motor-motor listrik dapat beroperasi secara baik dan terus menerus.

Untuk kondisi tersebut dipakai suatu peralatan transformator daya yang dilengkapi dengan pengubah tap (*Tap Changer*). Pengubah tap yang hanya beroperasi untuk memindahkan tap transformator dalam keadaan berbeban nol disebut *off load tap changer* yang bisa beroperasi secara manual dan otomatis. Berkaitan dengan masalah tersebut penulis meninjau di PT. Semen Andalas Indonesia (SAI) .Belawan untuk mempelajari cara kerja peralatan pengubah tap transformator dalam keadaan berbeban

Dengan menjaga tegangan operasional sekunder stabil dari tegangan primer yang berubah-ubah, dipakai suatu peralatan pengubah tap (*Tap Changer*) yang diletakkan di sisi terminal primer dari transformator daya. Pengubah tap yang digunakan adalah pengubah tap dalam keadaan berbeban atau disebut *On Load Tap Changer (OLTC)* secara otomatis.

Permasalahan yang akan dibahas pada peralatan *OLTC* ini meliputi :

- Peralatan-peralatan yang mendukung pengoperasian *OLTC* secara otomatis.
- Fungsi-fungsi peralatan pendukung dari pengoperasian *OLTC* tersebut.
- Peralatan-peralatan yang dipakai untuk kontrol motor listrik sebagai penggerak mekanis dari tap changer.
- Fungsi dari setiap komponen rangkaian motor listrik tersebut.
- Cara kerja dari peralatan relay pengatur tegangan (*Voltage regulating relay*)
- Cara kerja secara keseluruhan dari peralatan relay tersebut.

Permasalahan ini penting, sebab tanpa adanya motor listrik dan sistem pengaturan sebagai penggerak mekanis dari tap, *tap changer* dari transformator tidak akan berfungsi. Begitu juga dengan motor listrik yang beroperasi, tanpa adanya pendeteksi kestabilan tegangan yang dibuat secara otomatis yaitu relay pengatur tegangan (*Voltage regulating relay*) tentu tidak akan memberi respon beroperasinya motor.

### **I.2. Batasan Masalah.**

Agar permasalahan yang akan dibahas menjadi jelas dan tidak kabur akibat peninjauan permasalahan yang terlampau luas, sehingga tujuan yang sebenarnya tidak tercapai, maka penulis menekankan permasalahan ini pada prinsip kerja peralatan *On Load Tap Changer (OLTC)* dan bagian-bagian lain yang mendukung peralatan tersebut, dengan hanya pada pengoperasian otomatis.

### **I.3. Tujuan Penulisan**

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah untuk menganalisa penggunaan pengubah tap transformator dalam keadaan berbeban (*On Load Tap Changer*) pada transformator distribusi untuk memperbaiki mutu dari kestabilan tegangan dalam meningkatkan keandalan pelayanan tenaga listrik.

#### **I.4. Metodologi Penulisan.**

Metodologi Penulisan yang digunakan pada tugas akhir ini adalah :

1. Studi kepustakaan (Menganalisa berdasarkan studi yang ada)
2. Melakukan riset langsung ke lapangan
3. Mengadakan konsultasi dengan dosen pembimbing serta diskusi dengan sesama mahasiswa

#### **I.5. Sistematika Penulisan.**

Sistematika penulisan yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. BAB I : Pendahuluan
2. BAB II : Peralatan – Peralatan Penunjang Pada Pengubah Tap Transformator
3. BAB III : Pengubah Tap Transformator dalam Keadaan Berbeban
4. BAB IV : Prinsip Kerja Pengubah Tap Transformator dalam Keadaan Berbeban
5. BAB V : Kesimpulan dan Saran

## BAB II

### PERALATAN-PERALATAN PENUNJANG PADA PENGUBAH TAP TRANSFORMATOR

#### II.1 Transformator.

Transformator adalah suatu peralatan listrik yang dapat memindahkan dan mengubah energi listrik arus bolak-balik dari satu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian listrik yang lain dengan mengubah besar tegangan dan arus melalui suatu gandingan magnet dan berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik, tanpa mengubah frekwensi.

Transformator dipergunakan secara luas baik dalam bidang tenaga listrik maupun elektronika. Pemakaiannya dalam sistem tenaga listrik memungkinkan dipilihnya tegangan yang sesuai dan ekonomis untuk tiap keperluannya, misalnya kebutuhan akan tegangan tinggi dalam pengiriman listrik jarak jauh.

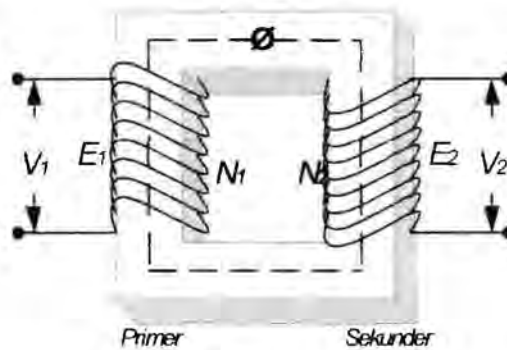
Dalam bidang tenaga listrik pemakaiin transformator dikelompokkan menjadi :

- Transformator Daya.
- Transformator Distribusi.
- Transformator pengukuran.
  - Transformator Arus.
  - Transformator Tegangan.

Dalam prakteknya transformator daya yang dipergunakan memakai pengubah tap (*Tap Changer*) yang terletak disisi tegangan primernya.



## II.2 Prinsip Kerja Transformator.



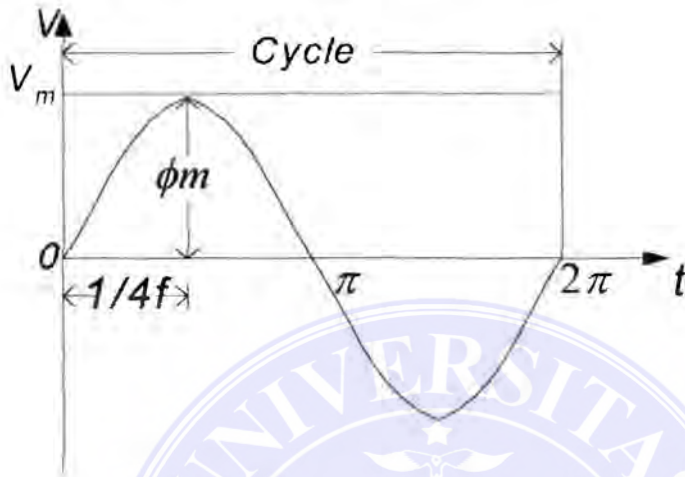
Gambar. 2.1 Transformator

Transformator terdiri dari :

- a. Inti (*core*) terdiri dari bahan magnet yang berupa laminasi atau lempengan-lempengan. Penggunaan inti transformator adalah untuk mengurangi reluktansi atau tahanan magnetis dari rangkaian magnetis (*common circuit*).
- b. Dua buah gulungan yang terdiri dari sisi primer dan sisi sekunder.

Transformator mempunyai dua buah kumparan yaitu primer dan sekunder yang bersifat induktif, yang terpisah secara elektrik namun berhubungan secara magnetis melalui jalur yang memiliki reluktansi (*reluctance*) rendah. Apabila kumparan primer dihubungkan dengan sumber tegangan  $V_1$ , maka fluks bolak-balik akan timbul di dalam inti (*core*) yang dilaminasi. Karena kumparan tersebut membentuk jaringan tertutup maka mengalirlah arus primer. Akibat adanya fluks di kumparan primer, maka akan terjadi induksi (*self induction*) di kumparan primer, dan terjadi pula induksi di kumparan sekunder karena pengaruh induksi dari kumparan primer (*mutual induction*) yang menyebabkan timbulnya fluks

magnet di kumparan sekunder, serta arus sekunder bila rangkaian sekunder dibebani, sehingga energi listrik dapat di transfer.



Gambar. 2.2 Gelombang Sinusoidal dari Fluksi.

Dari Gambar 2.2 terlihat fluksi naik dari harga nol sampai harga maksimum ( $\phi_m$ ) adalah  $\frac{1}{4}$  cycle atau  $\frac{1}{4}$  perioda.

Kecepatan rata-rata fluksi adalah :

$$\frac{\phi_m}{\frac{1}{4}f} = 4 \times f \times \phi_m \text{ (Volt) ..... (2.1)}$$

Jika fluksi ini adalah sinusoidal, maka harga efektif dari *emf* induksi diperoleh dengan mengalikan faktor bentuk (*form factor*) terhadap harga rata-rata. .

$$\text{Faktor bentuk} = \frac{\text{Nilai rms}}{\text{Nilai rata-rata}} = \frac{V_m / \sqrt{2}}{2V_m / \pi} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} = 1,11$$

$$\begin{aligned} \text{Maka } \frac{\text{emf}}{\text{lilit}} &= 4 \times (\text{faktor bentuk}) \times f \times \phi_m \\ &= 4 \times 1,11 \times f \times \phi_m \\ &= 4,44 \times f \times \phi_m \text{ (volt)..... (2.2)} \end{aligned}$$

Jadi harga keseluruhan *emf* dari harga primer :

$$E_1 = 4,44 \times f \times \phi_m \times N_1 \quad (\text{volt}) \dots\dots\dots (2.3)$$

Dengan cara yang sama, harga *emf* dari sisi sekunder diperoleh :

$$E_2 = 4,44 \times f \times \phi_m \times N_2 \quad (\text{volt}) \dots\dots\dots (2.4)$$

Pada sebuah transformator ideal, dalam keadaan beban nol adalah :

$$V_1 = E_1 \text{ dan } V_2 = E_2$$

Dari persamaan 3 dan 4 di atas diperoleh :

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{N_2}{N_1} = K \dots\dots\dots (2.5)$$

- dimana
- $N_1$  = Lilitan Primer.
  - $N_2$  = Lilitan Sekunder.
  - $E_1$  = *Emf* Primer (volt)
  - $E_2$  = *Emf* Sekunder (volt)
  - $V_1$  = Tegangan Primer (volt).
  - $V_2$  = Tegangan Sekunder (volt).
  - $\phi_m$  = Fluks Maksimum (weber)
  - $f$  = Frekwensi (Hertz)
  - $K$  = Konstanta perbandingan transformasi.

Transformator terdiri dari 2 jenis :

1. Transformator penaik tegangan (*step-up*) yaitu jika tegangan out put transformator lebih besar dari tegangan inputnya.
2. Transformator penurun tegangan (*step-down*) yaitu jika tegangan out put dari transformator lebih kecil dari tegangan inputnya.

### II.3 Pengaturan Tegangan Transformator (*Voltage Regulation Transformer*)

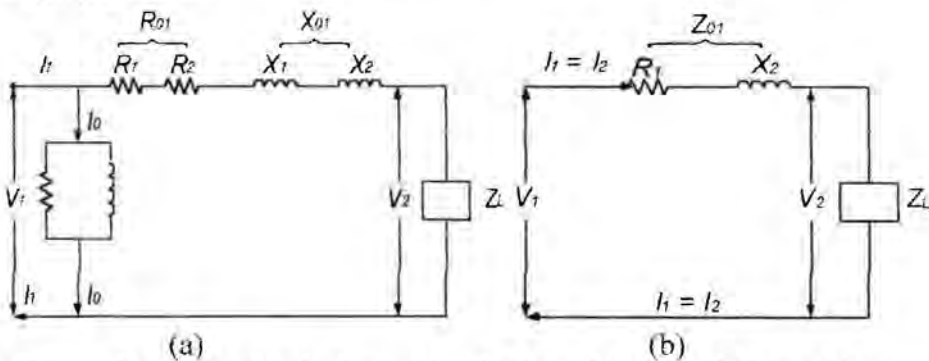
Pada sistem kelistrikan, beban kebanyakan berada jauh dari stasiun pembangkit, karena jauhnya terjadi penurunan tegangan antara stasiun pembangkit dengan titik pemakai. Penurunan tegangan yang terjadi tidak konstan tetapi berbanding lurus dengan besarnya beban pada rangkaian setiap saat. Jika beban berubah penurunan tegangan juga berubah.

Kebanyakan peralatan listrik dirancang bekerja pada tegangan tertentu dan efisiensi kerja peralatan ini sangat berpengaruh jika tegangan yang digunakan menyimpang dari harga yang sudah ditentukan.

Pengaturan tegangan transformator sangat luas digunakan untuk menjaga agar tegangan tetap pada titik pemakai dalam sistem kelistrikan. Pengaturan tegangan transformator adalah perubahan tegangan sekunder antara beban nol ke beban penuh pada suatu faktor tertentu, dengan tegangan primer dijaga konstan,

yaitu : 
$$\% \text{Regulasi} = \frac{V_2 \text{ beban nol} - V_2 \text{ beban penuh}}{V_2 \text{ beban nol}} \dots\dots\dots (2.6)$$

Dengan mengingat model rangkaian ekivalen dari suatu transformator dimana harga belitan sekunder ditransformasikan ke harga belitan primer, regulasi tegangan dapat juga dicari :



Gambar 2.3 Rangkaian ekivalen harga sekunder ditransformasikan ke harga primer.

Jika besarnya  $I_o$  diabaikan, rangkaian ekivalennya menjadi seperti Gambar 2.3.b

Dimana  $R'_2 = \frac{R_2}{K^2}$ ;  $X'_2 = \frac{X_2}{K^2}$ ;  $Z'_2 = \frac{Z_2}{K^2}$ ;  $I'_2 = I_2 \cdot K$ .

$$Z_{01}^2 = R_{01}^2 + X_{01}^2 \dots\dots\dots (2.7)$$

$$I'_2 = I_1$$

$I_1$  = Arus yang mengalir di sisi primer (A)

$R_{01}$  = Tahanan total yang ditinjau dari primer ( $\Omega$ )

$X_{01}$  = Reaktansi total ditinjau dari primer ( $\Omega$ )

$Z_{01}$  = Impedansi total dari rangkaian ( $\Omega$ )

Tegangan induksi sekunder ditinjau dari primer adalah :

$$E'_2 = \frac{E_2}{K} = E_1 = V_1 \dots\dots\dots (2.8)$$

Sedangkan tegangan terminal sekunder ditinjau dari primer adalah :

$$V'_2 = \frac{V_2}{K} \dots\dots\dots (2.9)$$

Maka akan didapat

$$\% \text{Regulasi} = \frac{V_1 - V'_2}{V_1} \times 100\% \dots\dots\dots (2.10)$$

Atau  $V'_2 = I_1 \times R_{01} \times \cos \theta \pm I_1 \times X_{01} \times \sin \theta$

$$\% \text{Regulasi} = \frac{V_1 - I_1 \times R_{01} \times \cos \theta \pm I_1 \times X_{01} \times \sin \theta}{V_1} \times 100\%$$

**II.4 Transformator Pengukuran.**

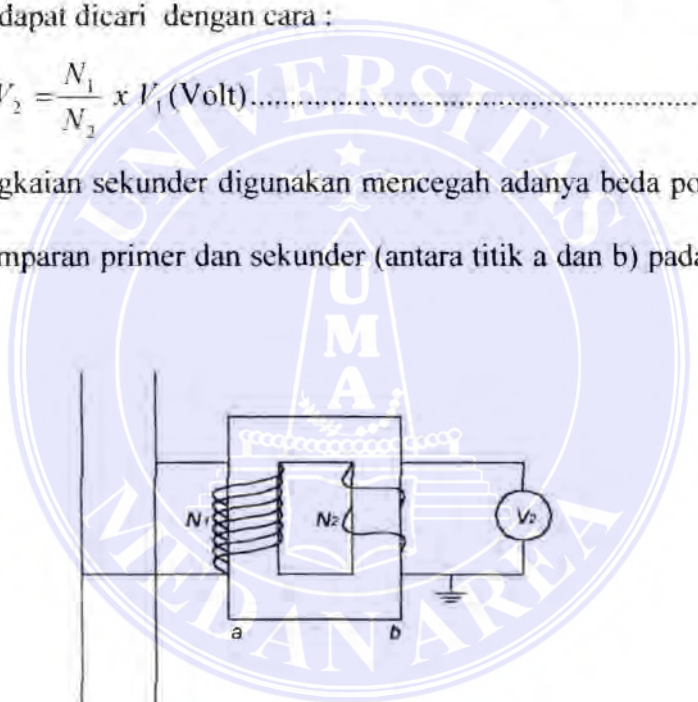
Transformator pengukuran adalah transformator yang dipergunakan untuk mengukur suatu besaran listrik. Adapun besaran listrik yang diukur adalah tegangan dan arus listrik.

**II.4.1 Transformator Tegangan.**

Transformator tegangan digunakan untuk mengukur tegangan listrik dengan mengetahui  $N_1$  dan  $N_2$  , membaca  $V_2$  serta menganggap transformator ideal, maka  $V_2$  dapat dicari dengan cara :

$$V_2 = \frac{N_1}{N_2} \times V_1 \text{ (Volt)} \dots \dots \dots (2.11)$$

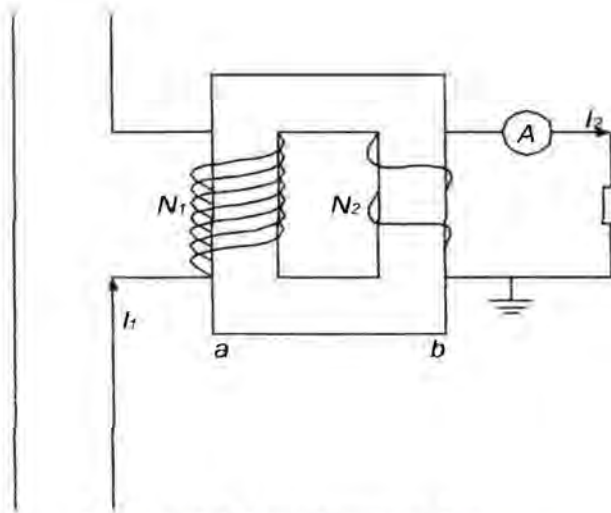
Pentanahan rangkaian sekunder digunakan mencegah adanya beda potensial yang besar antara kumparan primer dan sekunder (antara titik a dan b) pada saat isolasi primer rusak.



Gambar 2.4 Transformator tegangan

**II.4.2 Transformator Arus.**

Transformator arus digunakan untuk mengukur arus beban suatu rangkaian. Dengan menggunakan transformator arus maka arus beban yang besar dapat diukur hanya dengan menggunakan alat ukur arus (ampere-meter) yang tidak terlalu besar batas ukurnya.



Gambar 2.5 Transformator Arus.

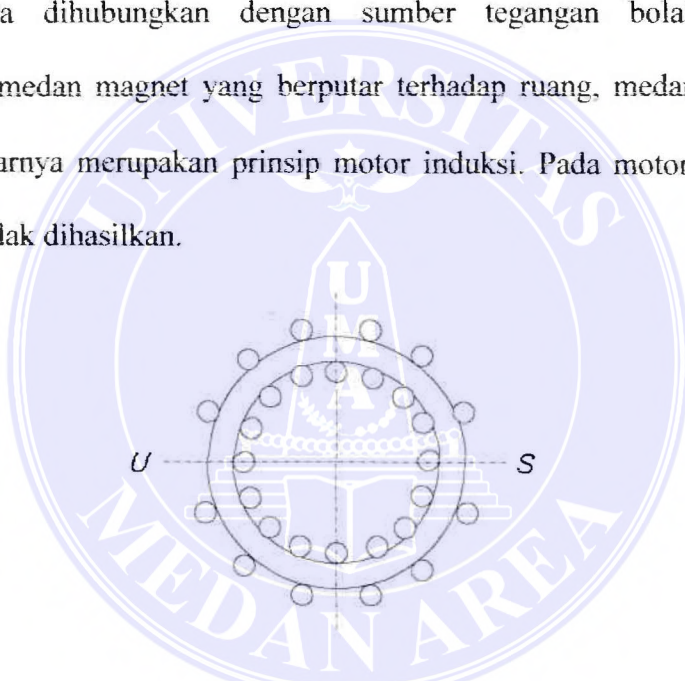
Dengan mengetahui perbandingan transformasi  $N_1/N_2$  dan pembacaan ampere –meter  $I_2$  arus pada beban  $I_1$  dapat dihitung. Bila transformator dianggap ideal arus beban akan menjadi :

$$I_1 = \frac{N_2}{N_1} \times I_2 \text{ (A)} \dots\dots\dots (2.12)$$

Untuk menjaga agar fluks ( $\Phi$ ) tetap konstan, perlu diperhatikan agar rangkaian selalu ditutup. Dalam keadaan rangkaian sekunder terbuka agar emf  $N_2 I_2$  akan sama dengan nol ( $I_2 = 0$ ). Sedangkan emf  $N_1 I_1$  akan tetap konstan sehingga fluks normal akan terganggu. Operasi sebuah transformator disebut dalam keadaan ideal yaitu jika rangkaian sekunder mempunyai impedansi yang rendah pada saat digunakan sebagai transformator ukur atau dalam keadaan terhubung singkat (*short circuit*).

**II.5 Motor Induksi Satu Fasa.**

Disebut motor induksi satu fasa karena dalam penerimaan tegangan dan arus menggunakan sumber satu fasa pada statornya, dilakukan dengan prinsip induksi untuk menghasilkan daya mekanik. Konstruksi motor induksi fasa tunggal umumnya sama dengan motor induksi tiga fasa jenis rotor sangkar, kecuali kumparan statornya yang terdiri dari satu fasa. Seperti diketahui kumparan stator tiga fasa bila dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik akan menghasilkan medan magnet yang berputar terhadap ruang, medan putar inilah yang pada dasarnya merupakan prinsip motor induksi. Pada motor fasa tunggal medan putar tidak dihasilkan.



Gambar 2.6 Struktur Motor Induksi FasaTunggal

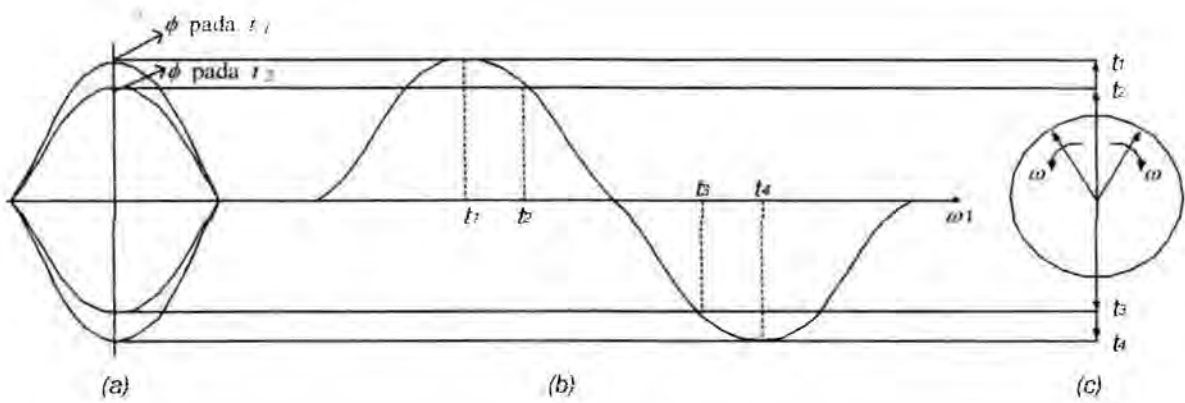
Sumber tegangan bolak-balik sinusoidal yang menghasilkan *fluksi sinusoidal* pula ( $e = d \Phi/dt$ ) atau :

$$\Phi = \Phi_m \cdot \cos \omega t \dots\dots\dots (2.13)$$

Fluksi yang sinusoidal ini hanya menghasilkan fluksi pulsasi saja dan bukan fluksi yang berputar terhadap ruang. Berikut ini diperlihatkan masing-masing keadaan

Fluksi terhadap ruang waktu dan kedudukan vektor ruangnya





Gambar 2.7. Fluksi yang dihasilkan motor induksi.

Bila keadaan fluksi sebagai fungsi waktu :

$$\phi = \phi_m \cdot \cos \omega t$$

Bila keadaan fluksi sebagai fungsi waktu dan ruang :

$$\phi = \phi_m \cdot \cos \omega t \times \cos \theta$$

$\omega t$  = Kecepatan sudut (rad/det)

$\theta$  = Sudut ruang.

Atau 
$$\phi = \frac{1}{2} \phi_m \cdot \cos (\theta + \omega t) + \frac{1}{2} \phi_m \cdot \cos (\theta - \omega t)$$

Dengan demikian dapat ditarik kesimpulan bahwa sebenarnya fluksi yang dihasilkan oleh kumparan fasa tunggal merupakan fluksi dengan dua komponen yaitu :

Komponen fluksi arah maju :  $\frac{1}{2} \phi_m \cdot \cos (\theta + \omega t)$

Komponen fluksi arah mundur :  $\frac{1}{2} \phi_m \cdot \cos (\theta - \omega t)$

Kedua kumparan fluksi tersebut bergerak berlawanan arah dengan kecepatan sudut ( $\omega t$ ) yang sama, sehingga kedudukannya terhadap ruang seolah-olah tetap.

Kedua komponen yang berlawanan arah tersebut tentunya akan menghasilkan koppel yang sama besar dan berlawanan arah pula. *Koppel resultan* yang dihasilkan

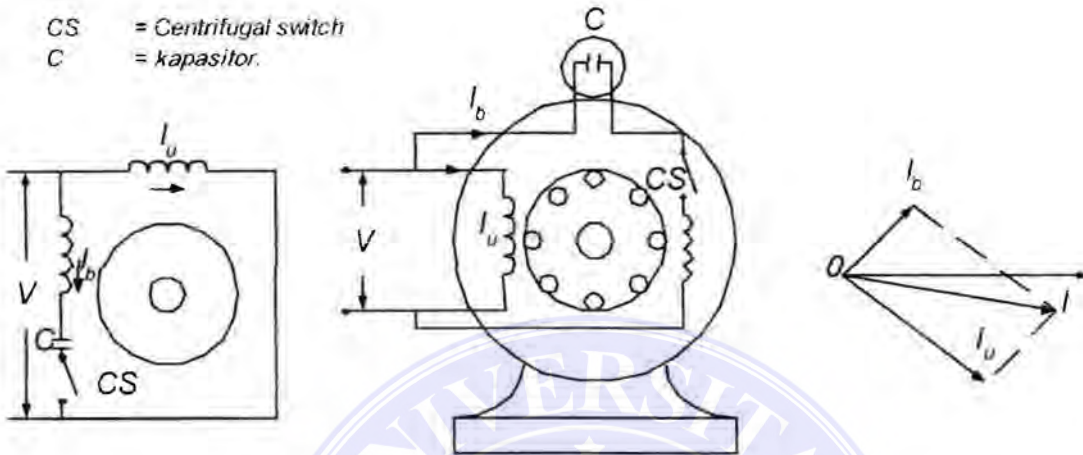
oleh kedua komponen kopel tersebut pada dasarnya mempunyai kemampuan menggerakkan rotor dengan arah maju dan mundur. Tetapi pada keadaan start kemampuan motor untuk maju sama besarnya dengan kemampuan gerak mundurnya, oleh sebab itu motor tetap dalam keadaan diam. Maka untuk itu diperlukan bantuan, yang pada prinsipnya dengan jalan membentuk medan magnet baru yang berbeda arah dengan medan magnet utama (*main winding*). Yang berarti harus terdapat kumparan kedua yang terpisah dengan kumparan utama yang mana kumparan tersebut dinamakan dengan kumparan bantu (*auxiliary winding*). Dengan demikian kita dapat memberikan sedikit kopel maju, motor akan berputar mengikuti kopel resultan maju demikian juga sebaliknya. Persoalannya sekarang adalah bagaimana memberikan kopel mula pada motor induksi fasa tunggal.

### II.5.1 Motor Kapasitor.

Disebut motor kapasitor karena motor ini merupakan motor induksi satu fasa yang menggunakan alat bantu kapasitor yang dipasang seri dengan kumparan bantu untuk mulai jalan (*start*). Pada motor kapasitor pergeseran fasa antara  $I_u$  dengan  $I_b$  didapat dengan memasang kapasitor secara seri terhadap kumparan bantu. Kapasitor yang digunakan pada umumnya adalah kapasitor elektrolit, pemasangannya ditempatkan di motor sebagai bagian yang dapat dipisahkan. Pada motor start kapasitor, bila putaran motor mencapai 75 % dari kecepatan penuh, saklar otomatis, *centrifugal switch* (CS) akan terbuka dan memutuskan arus

kumparan bantu dan kapasitor dari sumbernya, sehingga hanya kumparan utama yang dialiri arus

CS = Centrifugal switch  
 C = kapasitor.



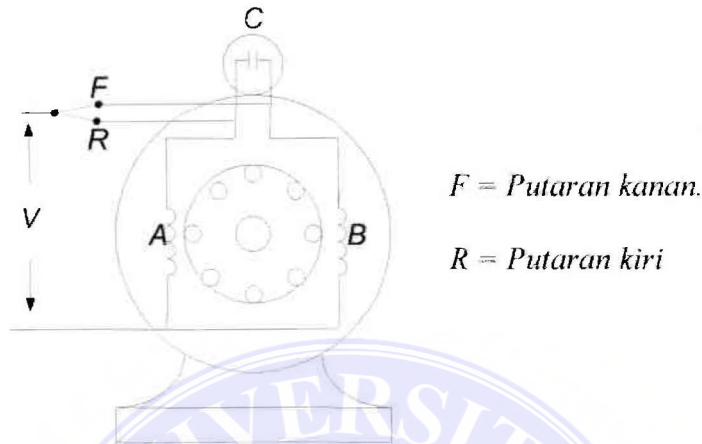
Gambar. 2.8 Bagan rangkaian motor kapasitor dan diagram vektor  $I_u$  dan  $I_b$

Pada Gambar 2.8 terlihat bahwa  $I_u$  terbelakang (*lagging*) dari tegangan sumber  $V$ , sedangkan  $I_b$  mendahului (*leading*) dari tegangan sumber  $V$ . Pergeseran fasa antara  $I_u$  dan  $I_b$  sebesar  $90^\circ$ , dalam hal ini motor kapasitor digunakan sebagai penggerak mekanis dari pengubah tap (*tap changer*) yang dikendalikan secara manual dan otomatis.

### II.5.2 Membalik Putaran Motor Kapasitor.

Membalik putaran motor kapasitor dilakukan dengan mengganti hubungan gulungan utama dan gulungan bantu dengan kapasitor. Pada waktu putaran kanan (*F*) kumparan A diseri dengan kapasitor sebagai kumparan utama, sedangkan waktu putaran kiri (*R*) kumparan B diseri dengan kapasitor dan berfungsi sebagai kumparan bantu, dan kumparan A berfungsi sebagai kumparan utama, begitu

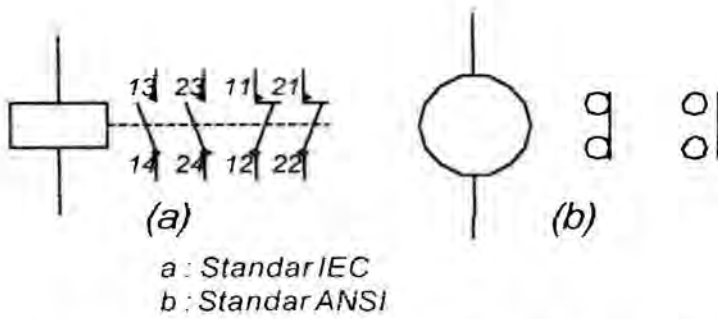
seterusnya. Adapun cara kerja dari motor kapasitor dapat dilihat pada Gambar 2.9 di bawah ini.



Gambar 2.9 Kapasitor run motor dengan 2 arah putaran (kumparan utama dan kumparan bantu)

## II.6 Relai Rangkaian Kontrol.

Relai adalah suatu perangkat kontrol yang sering digunakan dalam rangkaian kontrol suatu sistem. Fungsi dan prinsip kerja relai sama dengan kontaktor elektromagnetik namun berbeda dalam penggunaannya. Yang membedakan antara relai dengan kontaktor magnet adalah kemampuan hantar arus dari kontak-kontaknya, dimana relai hanya mempunyai kontak bantu saja. Kemampuan hantar arus dari kontak-kontak relai adalah lebih kecil dibanding kemampuan hantar arus kontak-kontak kontaktor, oleh karena itu relai digunakan hanya pada rangkaian kontrol. Komponen ini sangat dibutuhkan untuk membuka dan menutup suplai untuk komponen atau peralatan kontrol lainnya.



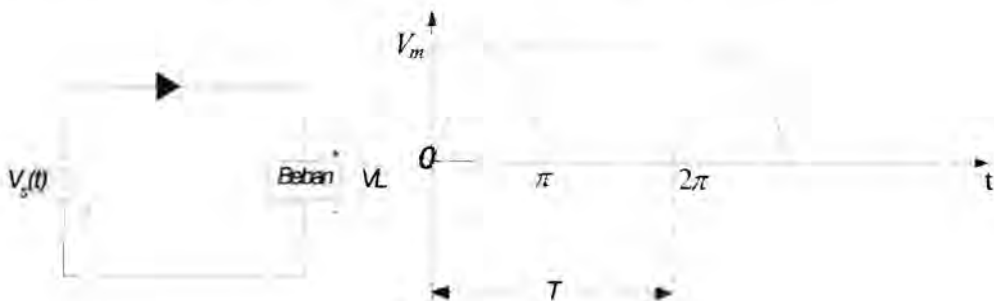
Gambar 2.10 Simbol dan kontak-kontak bantu relay.

## II.7 Penyearah (Rectifier)

Penyearah adalah suatu rangkaian elektronika yang mengubah sinyal arus bolak-balik (AC) menjadi sinyal arus searah (DC). Hampir semua pesawat atau instrumen elektronika membutuhkan sinyal arus searah (DC) untuk operasinya. Sinyal searah berasal dari sinyal bolak-balik yang disearahkan atau dari baterai dan akumulator.

### II.7.1 Penyearah Setengah Gelombang.

Penyearah setengah gelombang adalah penyearah yang memakai satu buah dioda untuk mendapatkan tegangan keluaran setengah gelombang.



Gambar 2.11 Penyearah setengah gelombang beserta out putnya.

Apabila tegangan masukan berbentuk sinus, dapat kita tuliskan :

$$V_i = V_m \sin \omega t \dots\dots\dots (2.14)$$

Dan apabila bebannya bersifat resistif, maka bentuk gelombang outputnya ( $V_o$ ) dapat dituliskan secara matematik :

$$V_o(t) = V_m \sin \omega t, \quad \text{untuk } 0 < \omega t < \pi$$

$$V_o(t) = 0 \quad \text{untuk } \pi < \omega t < 2\pi$$

$$V_{av} = \frac{1}{T} \int_0^T V_o(t) dt \dots\dots\dots (2.15)$$

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (V_o(t))^2 dt} \dots\dots\dots (2.16)$$

Berdasarkan rumus tersebut, dapat dihitung  $V_{av}$  dan  $V_{rms}$ , yaitu :

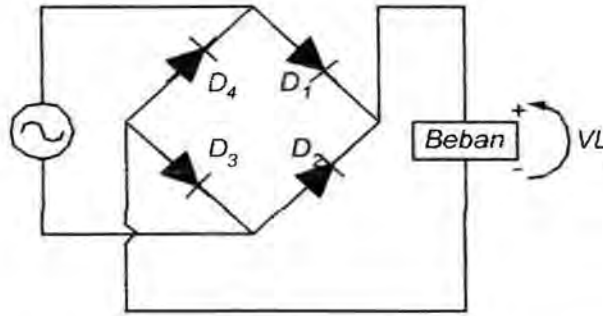
$$\begin{aligned} V_{av} &= \frac{1}{T} \int_0^T V_o(t) dt \\ &= \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi V_m \sin \omega t \, d\omega t \\ &= \frac{V_m}{2\pi} (-\cos \omega t) \Big|_0^\pi \\ &= \frac{V_m}{2\pi} \cdot (1+1) \\ &= \frac{V_m}{\pi} \dots\dots\dots (2.17) \end{aligned}$$

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (V_o(t))^2 dt}$$

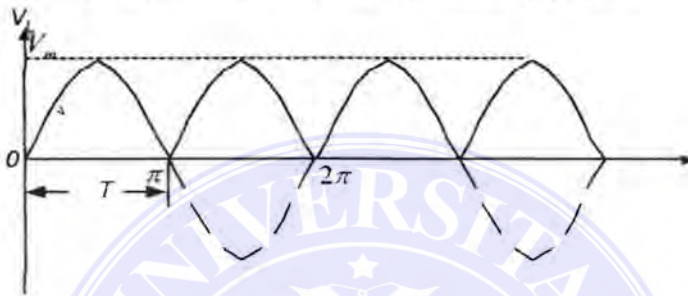
$$\begin{aligned}
&= \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^\pi V_m^2 \sin^2 \omega t \, d\omega t} \\
&= \sqrt{\frac{V_m^2}{2\pi} \int_0^\pi \sin^2 \omega t \, d\omega t} \\
&= \sqrt{\frac{V_m^2}{2\pi} \int_0^\pi \frac{(1 - \cos 2\omega t)}{2} \, d\omega t} \\
&= \sqrt{\frac{V_m^2}{4\pi} \left[ \int_0^\pi 1 - \cos 2\omega t \, d\omega t \right]} \\
&= \sqrt{\frac{V_m^2}{4\pi} (\pi - (-\sin 2 \cdot \pi) - (-\sin 2 \cdot 0))} \\
&= \sqrt{\frac{V_m^2}{4\pi} \pi} \\
&= \frac{V_m}{2} \dots\dots\dots (2.18)
\end{aligned}$$

### II.7.2 Penyearah Gelombang Penuh.

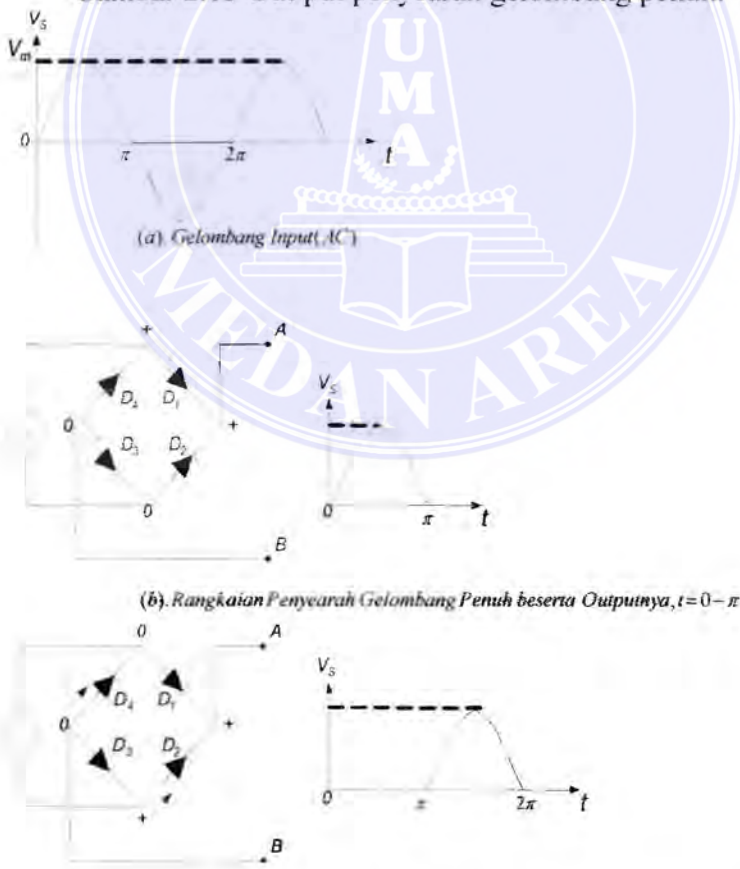
Penyearah gelombang penuh memakai empat buah dioda sebagai rangkaian jembatan (*bridge*), dapat dilihat pada Gambar 2.12. Bentuk gelombang yang terjadi pada out putnya dapat dilihat pada Gambar 2.13. Terbentuknya tegangan dari penyearah gelombang penuh dengan menggunakan rangkaian jembatan ini, dijelaskan dengan memperlihatkan Gambar 2.14.



Gambar. 2.12 Penyearah gelombang penuh.



Gambar 2.13 Out put penyearah gelombang penuh.



Gambar 2.14 Terbentuknya gelombang penuh pada rangkaian penyearah



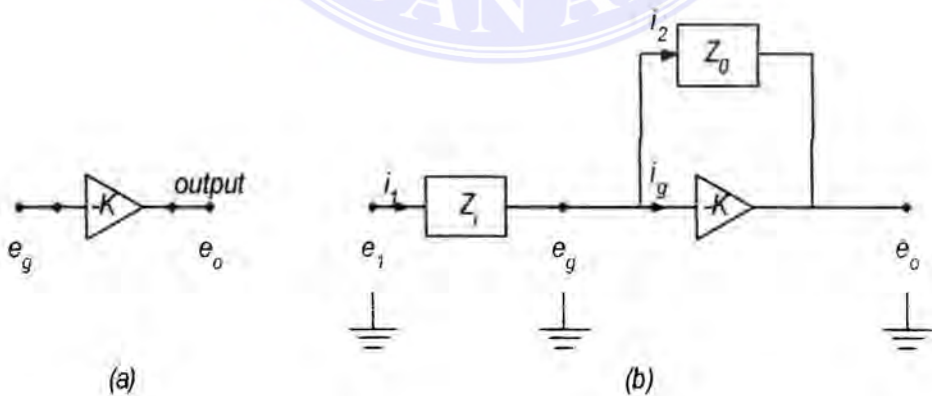
$$\begin{aligned}
 V_{av} &= \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_1} V_0(t) dt \\
 &= \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} V_m \sin \omega t d\omega t \\
 &= \frac{V_m}{\pi} (-\cos \omega t) \Big|_0^{\pi} \\
 &= \frac{V_m}{\pi} \cdot (1+1) \\
 &= \frac{2V_m}{\pi} \dots\dots\dots (2.19)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{rms} &= \sqrt{\frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_1} (V_0(t))^2 dt} \\
 &= \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} V_m^2 \sin^2 \omega t d\omega t} \\
 &= \sqrt{\frac{V_m^2}{\pi} \int_0^{\pi} \sin^2 \omega t d\omega t} \\
 &= \sqrt{\frac{V_m^2}{\pi} \int_0^{\pi} \frac{(1 - \cos 2\omega t)}{2} d\omega t} \\
 &= \sqrt{\frac{V_m^2}{2\pi} \left[ \int_0^{\pi} 1 - \cos 2\omega t d\omega t \right]} \\
 &= \sqrt{\frac{V_m^2}{2\pi} (\pi - (-\sin 2 \cdot \pi) - (-\sin 2 \cdot 0))} \\
 &= \sqrt{\frac{V_m^2}{2\pi} \pi}
 \end{aligned}$$

$$= \frac{V_m}{\sqrt{2}} \dots\dots\dots (2.20)$$

**II.8.1 Penguat Operasional.**

Penguat operasional adalah suatu elemen yang digunakan untuk menghasilkan bermacam-macam operasi matematik, seperti pembalikan tanda pada bilangan, penjumlahan dan integrasi. Elemen ini merupakan penguat arus searah (DC) dan arus bolak-balik (AC) yang mempunyai penguatan sangat tinggi, sekitar  $10^6 - 10^8$ . Arus yang ditarik pada masukan penguat operasional adalah sangat rendah. Tegangan keluaran biasanya dibatasi pada tegangan  $\pm 100$  volt (sesuai dengan setting yang dilakukan untuk tegangan masukan rangkaian kontrolnya). Gambar 2.16 (b) menunjukkan suatu penguat operasional yang dihubungkan seri dengan impedansi masukan  $Z_i$ , dan dengan suatu impedansi  $Z_o$  yang disisipkan pada lintasan umpan balik. Karena impedansi dalam dari penguat sangat tinggi, maka arus masukannya dapat diabaikan ( $i_g = 0$ ).



Gambar 2.15 (a) Diagram skematik penguat operasional  
 (b) Diagram skematik penguat operasional dengan impedansi masukan dan umpan balik.

Kemudian dari hukum *Kirchoff* untuk arus :

$$I_1 = I_2$$

Dengan melakukan transformasi laplace pada kedua persamaan ini kita peroleh :

$$I_1 (s) = I_2 (s)$$

dimana  $I_1 (s) = \frac{E_i (s) - E_g (s)}{Z_i (s)}$

$$I_2 (s) = \frac{E_g (s) - E_0 (s)}{Z_0 (s)}$$

Sehingga diperoleh  $\frac{E_i (s)}{Z_i (s)} = \frac{E_g (s)}{Z_i (s)} + \frac{E_g (s) - E_0 (s)}{Z_0 (s)}$  ..... (2.21)

Dengan mengingat bahwa  $E_0 (s) = - K.E_g (s)$

Dan K adalah faktor penguatan bilangan yang sangat besar (antara  $10^6 - 10^8$ ), kita peroleh persamaan berikut dengan mengabaikan dua suku pertama pada ruas kanan persamaan yang diperoleh :

$$E_0 (s) = \frac{Z_0 (s)}{Z_i (s)} E_i (s)$$
 ..... (2.22)

Persamaan ini adalah persamaan dasar yang merelasikan  $e_i$  dan  $e_0$  dari penguatan operasional arus searah penguatan tinggi yang ditunjukkan pada Gambar 2.16 b.

**II.8.2 Penguat Integrator.**

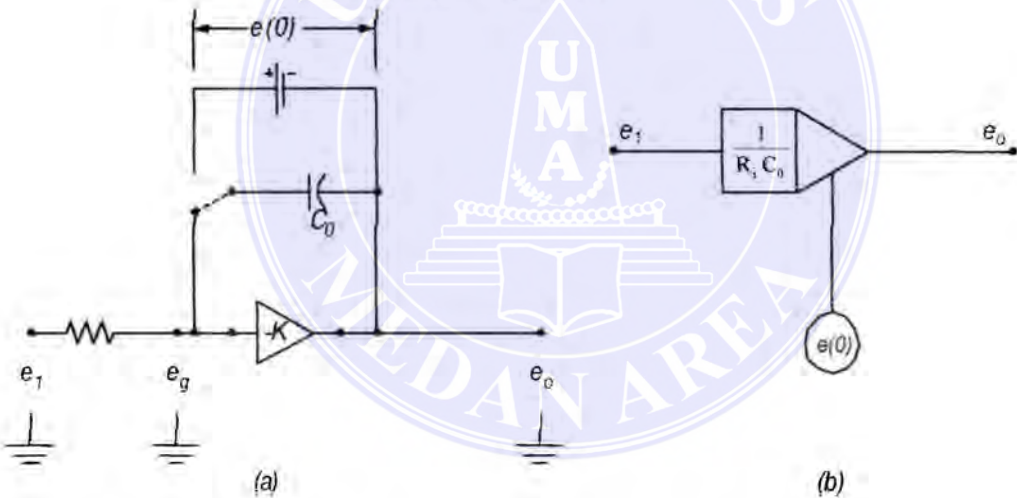
Penguat integrator adalah penguat operasional yang mempunyai aksi kontrol penundaan waktu (*time delay*) atau penahanan (*holding*) terhadap arus yang mengalir ke beban.

Jika kapasitor digunakan sebagai impedansi umpan balik pada rangkaian penguat operasional dan suatu tahanan sebagai impedansi masukan, maka persamaan menjadi

$$E_o^s = -\frac{1}{R_i C_o s} E_i (s) \dots\dots\dots (2.23)$$

$$e_o = -\frac{1}{R_i C_o} \int e_i dt$$

Dimana  $R_i$  = Tahanan input  
 $C_o$  = Kapasitor untuk integrasi  
 $-K$  = Konstanta penguat operasi IC



Gambar 2.16 (a) Diagram skematik sebuah integrator (b) Simbol integrator.

Dalam mengintegrasikan masukan  $e_i$  untuk keluran  $e_o$ , harus diberi bias tegangan arus searah untuk memberikan syarat awal. Jika syarat awal tersebut dinyatakan sebagai  $e(0)$ , maka akan didapat persamaan berikut :

$$e_o (t) = -\frac{1}{R_i C_o} \int e_i (t) dt + e(0)$$

Dari transformasi laplace yang dihasilkan yaitu :

$$E_0(s) = -\frac{1}{R_i C_0 s} E_i(s) \dots\dots\dots (2.24)$$

Dengan fungsi alih menjadi :

$$\frac{E_0(s)}{E_i(s)} = \frac{1}{R_i C_0 s}$$

Jika tegangan masukan  $E_i$  dibuat dalam step masukan maka :

$$E_0(s) = -\frac{1}{R_i C_0 s} E_i(s) \times \frac{1}{s}$$

$$E_0(s) = -\frac{1}{R_i C_0 s} E_i$$

Inverse :

$$L^{-1}\{E_0(s)\} = L^{-1}\left\{-\frac{1}{R_i C_0} \cdot \frac{1}{s}\right\} E_i$$

$$e_0(t) = -\frac{1}{R_i C_0} \cdot T e_i$$

Dengan membuat  $R_i C_0 = K$ , maka fungsi step yang diasumsikan menjadi step masukan :

$$T = \frac{K}{E_i} \dots\dots\dots (2.25)$$

Dimana :  $T$  = *Perioda waktu yang lama untuk step dari tegangan penggerak (aksi).*

$e_i$  = *Besarnya step dari tegangan masukan.*

$K$  = *Konstanta  $R_i C_0$*

## BAB III

### PENGUBAH TAP TRANSFORMATOR

#### DALAM KEADAAN BERBEBAN

##### III.1 Pengubah Tap Transformator Dalam Keadaan Berbeban.

Dengan semakin bertambahnya permintaan pemakaian daya listrik, penggunaan pengubah tap dalam keadaan berbeban (OLTC) bagi transformator digunakan karena kemampuannya untuk menstabilkan tegangan out put, maka secara konsekuen mutu dari peralatan OLTC ini perlu ditingkatkan.

Peralatan ini merupakan ciri yang menyatakan suatu alat yang baik sekali dari peggunann listrik dan juga mempunyai susunan yang serasi dan sekaligus dapat dipercaya untuk perawatan dan penggunaan yang mudah. Pengubah tap (*Tap Changer*) terdiri dari dua bagian utama yaitu : mekanisme pengubah tap dan mekanisme pengubah kendali atau kontrol dari OLTC. Pengubah tap dapat dilakukan secara manual dan otomatis serta dioperasikan oleh sebuah motor listrik arus bolak-balik (AC) yang beroperasi menaikkan dan menurunkan tegangan input untuk menghasilkan tegangan out put yang konstan 400 volt. Pengubah tap dengan respon dari relay pengatur tegangan (*voltage regulating relay*), yang diatur untuk mempertahankan tegangan pada setting yang telah ditentukan. Rangkaian-rangkaian kontrol dari *tap changer* dibuat secara khusus untuk memungkinkan bekerjanya *tap changer* tanpa adanya gangguan arus yang mengalir ke beban.

### III.2. Tujuan Pemakaian Peralatan *OLTC* Pada Transformator

Tujuan pemakaian peralatan *OLTC* pada transformator adalah :

- Untuk mengatur perbandingan transformator guna mendapatkan tegangan operasi yang lebih baik dan stabil pada tegangan sisi sekunder dari tegangan sisi primer yang berubah-ubah.
- Untuk mempertahankan tegangan yang tepat dalam saluran penghubung antara dua saluran stasiun pembangkit.

Transformator yang menggunakan *OLTC* dalam saluran penghubung seperti ini memungkinkan masing-masing stasiun pembangkit mempertahankan tegangan yang tepat pada busnya sendiri untuk mencatu beban-beban lokal dengan mempertahankan tegangan saluran penghubung pada tegangan yang tepat untuk pertukaran daya antara kedua stasiun. Pada banyak interkoneksi yang seperti ini, ternyata bahwa telah terjadi pertukaran yang besar dari arus daya buta atau reaktif dari saluran penghubung, jika saluran penghubung tersebut dioperasikan tanpa *OLTC*. Transformator yang perbandingan lilitannya dapat diubah-ubah untuk melengkapi interkoneksi ini dilengkapi dengan kapasitor bank.

### III.3. Transformator Dengan Pengubah Tap.

Transformator dengan pengubah tap adalah transformator yang disadap dan dihubungkan dengan saklar pilih (*selector switch*) dengan mengubah pengaturan tap dan berarti pula mengubah perbandingan transformasi lilitan primer dan sekunder.

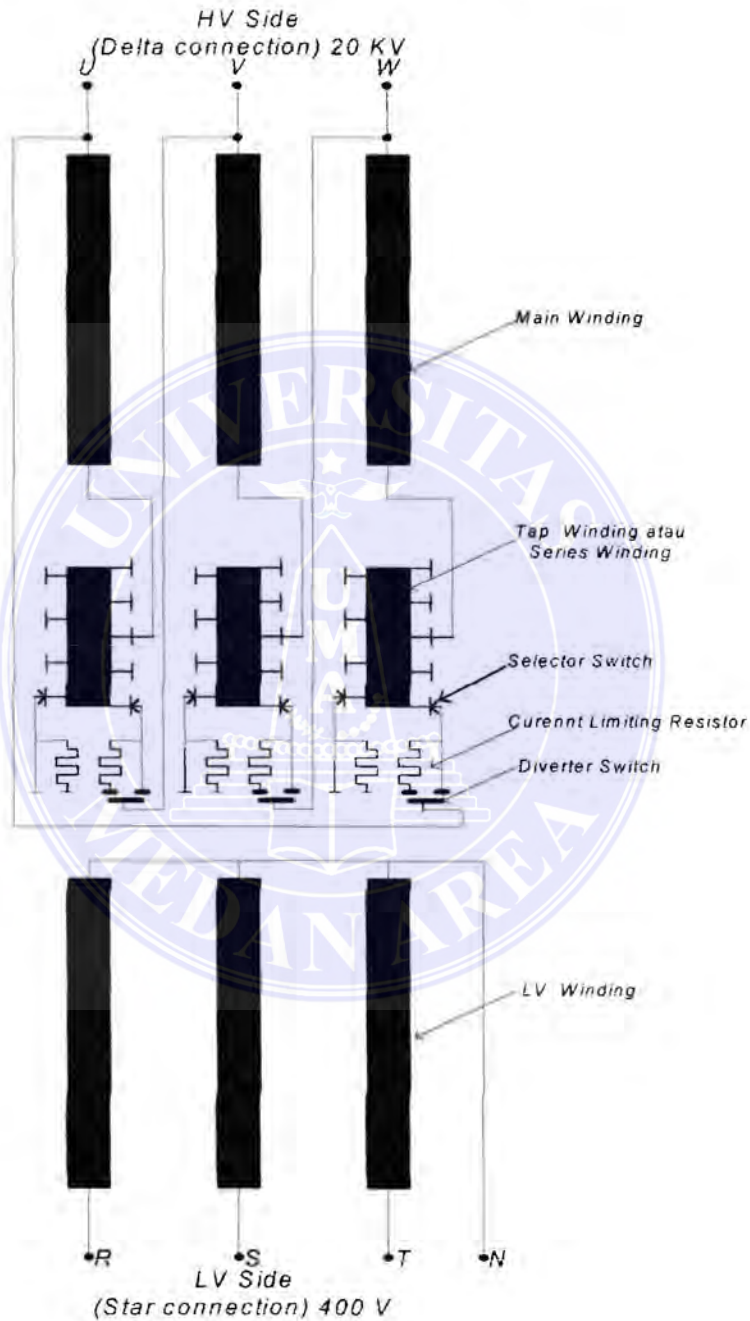
Pada Gambar 3.1 terlihat hubungan lilitan dari transformator daya penurun tegangan 20 KV/400V, dimana pada sisi primer tegangan tinggi (*HV side*) terhubung secara delta dan pada sisi sekunder tegangan rendah (*LV side*) terhubung secara bintang. Pengubah tap dilakukan pada sisi primer tegangan tinggi. Untuk mengubah perbandingan transformasi, pada sisi tegangan tinggi digunakan transformator konvensional, yaitu transformator yang mempunyai dua buah belitan, belitan utama (*main winding*) dan belitan seri (*series winding*) atau (*Tap winding*), yang dililitkan pada inti besi (*core*) yang sama.

Pada belitan seri dibuat tap dengan *interval* yang teratur, dan banyaknya tap adalah sembilan buah dengan daerah pengaturan tegangan  $\pm 1,25\%$  sampai  $\pm 5,0\%$  dari tegangan masukan transformator daya (20 KV). Tap pada lilitan utama dihubungkan pada panel terisolasi minyak dalam mekanisme pengubah tap. Dua kontak dari saklar pilih (*selector switch*) yang berjarak tetap pada lengan yang dapat digerakkan berjarak sedemikian sehingga untuk setiap posisi kerja, keduanya dapat berada pada saklar pengalih yang sama atau salah satu dari kedua kontak tersebut berada pada salah satu kontak yang berdekatan.

Untuk membatasi arus sirkulasi pada saat saklar pengalih melakukan pengoperasian terhadap saklar pilih dalam melakukan perubahan setiap tap dipasang resistor yang dihubungkan paralel dengan kontak saklar pilih. Tegangan yang diinduksikan oleh lilitan primer transformator dapat ditambahi atau dikurangi. Saklar pilih (*selector switch*) akan bekerja untuk mengubah besarnya tegangan yang diinduksikan oleh lilitan primer dengan sedikit penambahan ataupun pengurangan lilitan, yaitu dengan mengubah posisi tap pada belitan tap.



Sehingga memungkinkan untuk mempertahankan tegangan keluaran dari transformator ke sisi sekunder transformator hampir konstan.



Gambar 3.1 Hubungan lilitan transformator dengan pengubah tap.

Ada berbagai persoalan yang timbul sehubungan dengan pemakaian pengubah tap, karena saklar pengalih ini melaksanakan perpindahan hubungan (*switching over*) di dalam minyak, maka minyak ini akan cepat memburuk. Karena itu minyak ini harus dipisahkan dari minyak isolasi gulungan utama transformator dengan dinding pemisah. Minyak yang telah memburuk ini perlu dimurnikan, untuk mencegah turunnya kemampuan isolasi. Hal ini dapat dilakukan dengan melakukan proses pemurnian minyak yang dapat dilakukan dalam keadaan transformator bertegangan. Karena frekwensi bekerjanya saklar pengalih ini tinggi maka keausan kontak harus menjadi perhatian penting dalam pelaksanaan perawatannya.

Penggantian saklar pengalih dilakukan sekali dalam beberapa tahun , karena dalam pengujian jenis (*type test*) dilakukan pengujian fungsi kelistrikan (*elctrical duty test*) beratus ribu kali (200 – 300 ribu kali). Gangguan- gangguan pada pengubah mekanis dari tap ini lebih sering terjadi dari pada gangguan transformatornya. Usaha- usaha untuk meningkatkan keandalan dilakukan dengan pengujian mekanis (*mechanical duty test*) sebagai bagian dari pengujian jenis dari pabriknya. Meskipun demikian, sebaiknya dilakukan pemeriksaan dan pemeliharaan yang cermat untuk menjamin kestabilan bagian mekanis yang rumit.

### III.4 Mekanisme Pengubah Tap.

#### III.4.1 Data Peralatan Pengubah Tap Pada PT. Semen Andalas Indonesia

##### Belawan.

Merek	: SHIKOKU TRANSFORMER CO.,LTD.
Type	: RST – 6D9
Kelas Isolasi	: A
Rating Tegangan Step	: 200 volt
Rating Arus Mengalir	: 200 A
Nomor Maksimum Sadapan	: 9

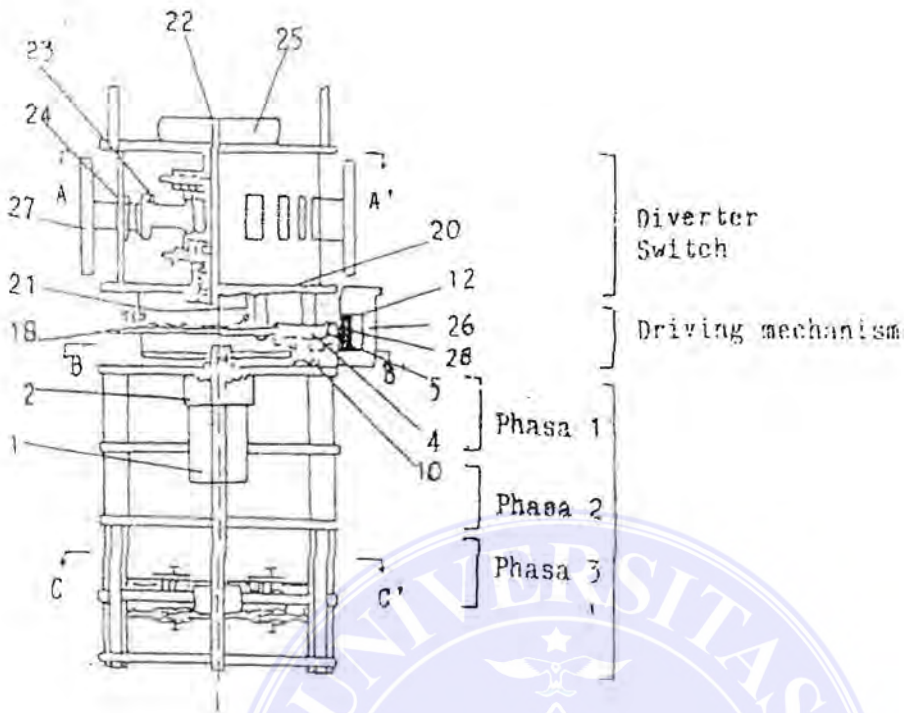
#### III.4.2 Peralatan Pengubah Tap dan Susunannya.

Suatu pengubah tap berbeban (*OLTC*) mempunyai mekanisme hubung yang dapat mengubah tap dalam keadaan berbeban, jenis peralatannya terdiri dari

:

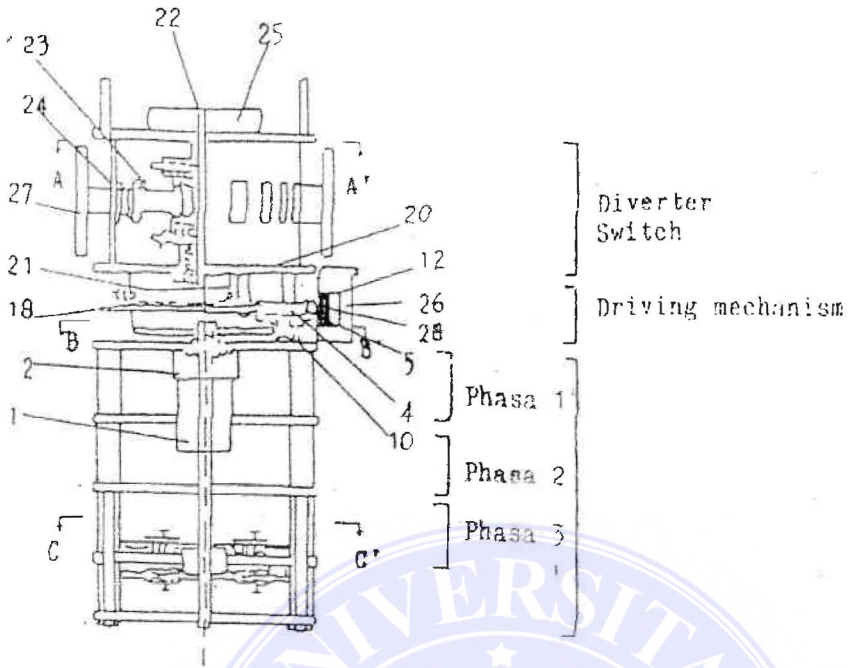
- Saklar pengalih (*diverter switch*)
- Saklar pilih (*selector switch*)
- Mekanisme kemudi (*Driving mechanism*)
- Saklar pengendali (*Control switch*)

Pada Gambar 3.2 dan Gambar 3.3 menunjukkan susunan keseluruhan dari pengubah tap ini.



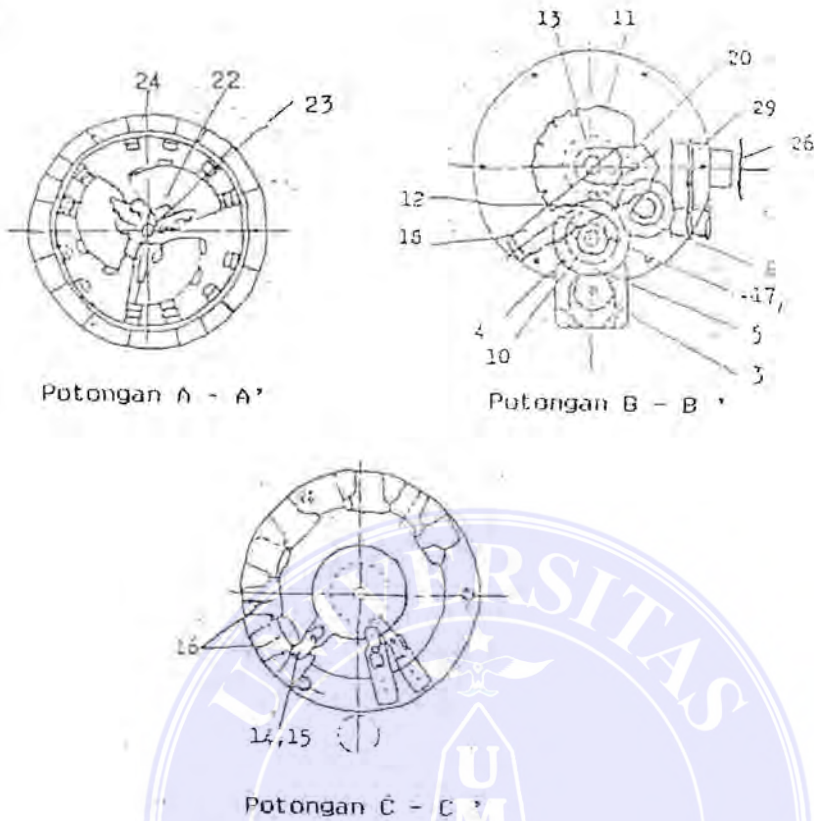
Gambar 3.2 Susunan Peralatan dari OLTC

- |                        |   |
|------------------------|---|
| 1. Motor.              | 23. Moving Contact for Diverter Switch      |
| 2. Reduction Mechanism | 24. Stasionary Contact for Diverter Switch. |
| 4. Driving Gear.       | 25. Oil Damper.                             |
| 10. Driver             | 26. Tap Position.                           |
| 12. Coupling Trunk.    | 27. Current Limiting Resistor               |
| 20. Crank.             | 28. Limit Switch                            |
| 21. Spring.            |   |
| 22. Driving Shaft.     |   |



Gambar 3.2 Susunan Peralatan dari OLTC

- |                        |   |
|------------------------|---|
| 1. Motor.              | 23. Moving Contact for Diverter Switch      |
| 2. Reduction Mechanism | 24. Stasionary Contact for Diverter Switch. |
| 4. Driving Gear.       | 25. Oil Damper.                             |
| 10. Driver             | 26. Tap Position.                           |
| 12. Coupling Trunk.    | 27. Current Limiting Resistor               |
| 20. Crank.             | 28. Limit Switch                            |
| 21. Spring.            |   |
| 22. Driving Shaft.     |   |



Gambar 3.3 Peralatan Kerja dari OLTC

- |  |  |
|--|--|
| 3. Pinion.                                 | 16. Stasionary Contact for Selector Switch (B) |
| 4. Driving Gear.                           | 17. Pin.                                       |
| 5. Pin.                                    | 18. Driving Lever.                             |
| 6. Driving Bevel Gear.                     | 20. Crank.                                     |
| 10. Driver.                                | 22. Driving Shaft.                             |
| 11. Geneva Gear.                           | 23. Moving Contact for Diverter Switch         |
| 12. Coupling Trunk.                        | 24. Stasionary Contact for Diverter Switch.    |
| 13. Insulating Driving Shaft.              | 26. Tap Position Indicating Plate.             |
| 14. Moving Contact for Selector Switch (A) | 29. Control Switch.                            |
| 15. Moving Contact for Selector Switch (B) |  |

a. Sakelar pengalih (*Diverter Switch*)

Saklar pengalih adalah merupakan bagian yang terpenting dari *OLTC* dan berfungsi untuk menghubungkan suatu hubungan tertentu dengan pemilih tap, dengan cara menarik keluar pengubah tap (*Tap Changing*) dari suatu tap ke tap yang lain tanpa mempengaruhi arus beban.

Seperti yang diperlihatkan dalam Gambar 3.2 saklar pengalih terdiri dari mekanisme pemutus cepat (*Quick Break Mechanism*), alat pemutusan (*Breaking*), tahanan pembatas arus (*Current Limiting Resistor*) dan pengatur minyak (*Oil Damper*)

Alat *Quick break mechanism* terdiri dari : spring (21) dan kemudi pengangkat (*Driving Lever*) (18) yang dibuat untuk menghemat desakan alat dengan kecepatan *breaking* yang tinggi dari mekanisme pemutus dan kemudi mengadakan pergantian dengan secepat mungkin. *Oil damper* (25) disesuaikan untuk mengontrol pergantian dari desakan mekanis yang berlawanan secara beraturan.

Mekanisme *breaking* terdiri dari hubungan pusat (*Stationary contact*) (24) yang disusun pada dinding bagian dalam. Kontak putar (*Moving Contact*) (23) disusun pada sector penggerak yang memutar dalam pusat penghubung. Mekanisme pemutus dihubungkan dengan mekanisme pemutus cepat melalui poros kemudi isolasi (*Insulating Driving Shaft*). Dengan demikian sector penggerak dioperasikan dengan segera oleh adanya pergantian dari penghematan daya dari mekanisme pemutus cepat dan *OLTC* dilakukan antar hubungan penggerak dan poros penghubung. Meskipun

belitan tap (*Tap Winding*) merupakan hubungan singkat (*Short Circuit*) selama perubahan arus sirkulasi yang dibatasi oleh tahanan pembatas arus yang dihubungkan dengan masing-masing kontak resistor sehingga pengubahan tap dilakukan tanpa arus breaking beban. Pada masing-masing kontak yang berapi (*Arching Contact*), perpindahan hubungan (*Switching Over*) dilakukan di dalam minyak isolasi sebagai peredam percikan api (*Arching Proof*)

b. Saklar Pilih (*Selector Switch*)

Seperti yang terlihat pada Gambar 3.2 dan Gambar 3.3 diperlihatkan hubungan saklar pilih (*Selector Switch*) dan saklar pengalih (*Diverter Switch*). Hubungan dilakukan dengan mekanisme kemudi melalui poros penggerak yang terisolasi (13) dan mengemudi masing-masing hubungan penggerak (14) dan (15).

Poros penggerak yang terisolasi dikemudikan oleh *geneva gear* (11) ke pengemudi (10) dengan suatu hubungan segitiga tertentu pada pengubah tap (*Tap Changing*). Pusat penghubung disusun di sekeliling bagian luar pada permukaan putaran dari hubungan penggerak dan disesuaikan secara terpisah terhadap dudukan piringan yang terisolasi. Ketika pemulihan tap dilakukan terhadap arah yang sama hubungan penggerak bergerak dalam rangkaian terhadap pusat penghubung yang dihubungkan terhadap tap berikutnya, akan tetapi pada arah yang berlawanan dengan pengubah tap yang pertama, tanpa hubungan dari posisi tap dengan pemilih tap tidak berfungsi terhadap kerja dari *geneva gear* dan *driving gear*. Pengubahan tap dilakukan hanya dengan adanya fungsi dari saklar pengalih, sebagai contoh dengan



mengubah tap dari nomor 9, kenomor 8 yang dilakukan setelah pengubahan dari 8 ke 9

c. Mekanisme Kemudi (*Driving Mechanism*)

Mekanisme kemudi berfungsi sebagai pengemudi saklar pengalih dan seleksi tap pada hubungan tertentu, dengan cara memakai peralatan roda kemudi (*Driving Gear*) (4) dan *Geneva Gear* (11), dan ditempatkan diantara keduanya. Mekanisme kemudi terdiri dari penggerak (motor) (1), mekanisme reduksi (*Reduction Mechanism*) (2), roda gigi dan lain-lain. Seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3.1 dan Gambar 3.2, mekanisme reduksi dari penggerak kemudi akan melalui *driving lever*, dimana *spring* akan berlawanan dengan desakan mekanis yang terjadi.

d. Saklar Pengendali (*Control Switch*)

Saklar pengendali adalah saklar yang bekerja untuk mengendalikan setiap perubahan tap. Saklar pengendali terdiri dari :

- 1) Saklar tap lampu tanda (29) adalah saklar yang berputar dengan satu putaran setiap pengubah tap. Adapun fungsi saklar tap lampu tanda adalah untuk mengirim suatu tanda pada panel kontrol agar melakukan suatu perubahan tap. Tindakan dari saklar tersebut disebabkan oleh adanya kemudi *level gear* dan saklar dibuka pada posisi normal dan ditutup selama perubahan dari posisi pengoperasian tap

2) Saklar pilot bagi lampu tanda.

Saklar pilot bagi lampu tanda (29) adalah saklar yang berputar 1/9 putaran setiap perubahan tap. Fungsi dari saklar pilot bagi lampu tanda (29) adalah untuk mendeteksi lampu tanda dari posisi tap.

3) Saklar Pembatas.

Saklar pembatas (28) adalah saklar yang dibuat dengan alasan untuk memutuskan tanda kemudi kearah antara batas sadapan. Saklar pembatas (28) berfungsi sebagai batas antara sadapan, untuk menambah dan mengurangi tegangan sesudah dan sebelum sadapan bekerja.

4) Piringan penunjuk posisi tap.

Pringan penunjuk posisi tap (26) berfungsi untuk mengetahui posisi dari tap, sehingga diletakkan pada tempat yang dapat dilihat, biasanya di depan pintu panel.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### V.1 Kesimpulan.

1. *On load Tap Changer (OLTC)* tepat sekali dipergunakan pada PT. Semen Andalas Indonesia Belawan dalam upaya mengoptimalkan produksi dan mencegah timbulnya kerusakan pada mesin-mesin produksi akibat naik turunnya tegangan sumber.
2. Dalam mengubah perbandingan belitan transformator untuk mempertahankan tegangan keluaran yang konstan dilakukan perubahan jumlah lilitan pada sisi tegangan tinggi.
3. Untuk membatasi arus sirkulasi pada saat saklar pengalih melakukan pengoperasian terhadap saklar pilih dalam melakukan pemilihan setiap tap dipasang resistor yang dihubungkan paralel terhadap kontak saklar pilih.
4. Transformator mempunyai 9 (sembilan) tap untuk mengatasi kenaikan dan penurunan tegangan yang terjadi pada masukan transformator daya (20 KV).
5. Prinsip kerja pengubah tap transformator secara blok diagram adalah sebagai berikut :

##### a. Pengontrol.

Pengontrol berfungsi mendeteksi naik dan turunnya tegangan saluran, dan mengontrol pengoperasian motor pengubah tap untuk berputar ke kiri atau ke kanan.

b. Motor Pengubah Tap

Motor pengubah tap berfungsi untuk menggerakkan mekanisme pengubah tap ke arah kenaikan atau penurunan tegangan.

c. Mekanisme Pengubah Tap.

Mekanisme pengubah tap akan memindahkan posisi tap sesuai dengan pergerakan yang dilakukan oleh motor pengubah tap.

## V.2 Saran.

Untuk menjamin kestabilan bagian mekanis yang rumit, sebaiknya dilakukan pemeliharaan yang cermat, antara lain :

1. Pemeriksaan dan penggantian bagaian-bagaian yang mudah aus.
2. Pemeriksaan dan pemurnian minyak tepat pada waktunya.
3. Pemeriksaan dan pemeliharaan bagian-bagian mekanik pengubah tap secara berkala.
4. Pemeriksaan dan pemeliharaan *Current limiting resistor* sebagai pembatas arus sirkulasi saat terjadi proses tap pada transformator.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Sumanto, M.A. Drs. *Motor Arus Bolak-Balik (Motor AC)*, Andi Offset, Yogyakarta, 1989.
2. A. Arismunandar. DR. S. Kuwahara. DR. *Teknik Tenaga Listrik*, Pradnya Paramita, Jakarta, 1973.
3. Katsuhiko Ogata, *Teknik Kontrol Automatik (Sistem Pengaturan)*, Erlangga, 1988.
4. Zuhail, *Dasar Teknik Listrik dan Elektronika Daya*, Gramedia, Jakarta, 1988.
5. Lister C. Eugene, *Mesin dan Rangkaian Listrik*, Erlangga 1988.
6. Shikoku Transformer, *Instruction Manual of Transformer*.
7. Theraja, B.L. *Electrical Technology*, Twentieth Edition, Nirja Construction and Development. Co.(P) LTD, New Delhi.