

BIDANG PENDIDIKAN DAN PENGAJARAN

BERITA ACARA PERKULIAHAN

KULIAH ONLINE/OFF LINE

(LEARNING)

PERIODE SEMESTER GANJIL 2023-2024

MATA KULIAH

TRANSFORMATOR

LAMPIRAN BERITA ACARA PERKULIAHAN

- 1. SK DEKAN FTI SEMESTER GANJIL 2023-2024*
- 2. PRESENSI KEHADIRAN DOSEN DAN MATERI AJAR*
- 3. NILAI KOMULATIF : KEHADIRAN, TUGAS, UTS DAN UAS*
- 4. CONTOH HAND OUT MATERI AJAR*

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTROFAKULTAS

TEKNOLOGI INDUSTRI

**INSTITUT SAINS DAN TEKNOLOGI NASIONAL
2023/2024**



YAYASAN PERGURUAN CIKINI
INSTITUT SAINS DAN TEKNOLOGI NASIONAL

Jl. Moh. Kahfi II, Bhumi Srengseng Indah, Jagakarsa, Jakarta Selatan 12640
Telp. 021-7270090 (hunting), Fax. 021-7866955, hp. 081291030024
Email : humas@istn.ac.id Website : www.istn.ac.id

SURAT PENUGASAN TENAGA PENDIDIK

Nomor : 282 / 03.1 - G / IX / 2023

SEMESTER **GANJIL**, TAHUN AKADEMIK 2023 / 2024

Nama	: Sugiarto,Ir,MT	Status Pegawai	: Edukatif Tetap / Tidak Tetap			
NIK	: 186489	Program Studi	: Teknik Elektro			
Jabatan Akademik	: Lektor					
Bidang	Perincian Kegiatan	Tempat	Jam/ Minggu	Kinerja (sks)	Keterangan	
I PENDIDIKAN Dan PENGAJARAN	MENGAJAR DI KELAS (KULIAH / RESPONSI DAN LABORATORIUM)					
	1.Penggunaan Mesin Listrik (A)			2	Senin,13.00-14.40	
	2.Teknologi Sistem Tenaga Listrik (Kls A)			2	Senin,08.00-09.40	
	3.Trasformator(Kls A)			2	Selasa, 10.00-11.40	
	4.Penggunaan Mesin Listrik (Kls K)			2	Selasa,19.00-20.40	
	5.Teknologi Sistem Tenaga Listrik (Kls K)			2	Sabtu, 10.00 - 11.40	
	6.Transformator (Klas K)			2	Sabtu, 08.00-09.40	
	7.					
	8.					
	9.					
	10.					
	11.					
	12.					
	13.					
	14.					
	15.					
	16.					
	17. Membimbing Skripsi / Tugas Akhir				1	
18. Menguji Skripsi / Tugas Akhir				1		
II PENELITIAN	1. Penelitian Ilmiah					
	2. Penulisan Karya Ilmiah			1		
	3. Penulisan Diktat Kuliah					
	4. Menerjemahkan Buku					
	5. Pembuatan Rancangan Teknologi					
	6. Pembuatan Rancangan & Karya Pertunjukan					
III PENGABDIAN DAN MASYARAKAT	1. Menduduki Jabatan di Pemerintahan					
	2. Pengembangan Hasil Pendidikan Dan Penelitian					
	3. Memberikan Penyuluhan/Pelatihan/Ceramah pada masyarakat				1	
	4. Memberikan Pelayanan Kepada Masyarakat Umum					
	5. Menulis Karya Pengabdian Pada Masyarakat yang tidak dipublikasikan					
	6. Komersial / Kesepakatan					
IV UNSUR-UNSUR PENUNJANG	1. Jabatan Struktural					
	2. Penasehat Akademik					
	3. Berperan serta aktif dalam pertemuan ilmiah / seminar					
	4. Pengembangan program kuliah / Kelompok Ilmu Elektro					
	5. Menjadi anggota panitia / Badan pada suatu Perguruan Tinggi					
	6. Menjadi anggota Badan Lembaga Pemerintah					
	7. Menjadi Anggota Organisasi Profesi					
	8. Mewakili PT / Lembaga Pemerintah duduk dalam Panitia antar Lembaga					
	9. Menjadi Anggota Delegasi Nasional ke Parlemen – Parlemen Internasional					
Jumlah Total				16		

Kepada yang bersangkutan akan dibenarkan gaji / honorarium sesuai dengan peraturan penggajian yang berlaku di Institut Sains dan Teknologi Nasional
Penugasan ini berlaku dari tanggal 25 September 2023 sampai dengan tanggal 31 Maret 2024



Jakarta, 3 Oktober 2023
Dekan,

(Dr. Mufirah Cahya F.T.S.Si.,M.Si.)

Tembusan :

1. Direktur Akademik – ISTN
2. Direktur Non Akademik – ISTN
3. Ka. Biro Sumber Daya Manusia – ISTN
4. Kepala Program Studi Fak.
5. Arsip



Berita Acara Perkuliahan
(Presentasi Kehadiran Dosen)
SEMESTER GENAP TAHUN AKADEMIK 2023/2024
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO D3/ S1 FTI - ISTN

Nama Dosen			: 1. Ir. Sugianto ,MT/Ir. Iriandi Ilyas, MT				Hari
Mata Kuliah			: Transformator				Jam
Kelas			K				Ruang
No.			Hari /Tanggal	Materi Pembelajaran	Metode Belajar	Jml Mhs	Paraf
1			30/09/2023	Teori Dasar Transformator	elearning istn dan Google Meet	8	
2			07/10/2023	KEADAAN Transformator tanpa beban dan berbeban serta kuat arusnya	elearning istn dan Google Meet	8	
3			14/10/2023	Rangkaian eqivalen transformator dan vektor diagram	elearning istn dan Google Meet	8	
4			21/10/2023	Menentukan parameter pengukuran hubung singkat	elearning istn dan Google Meet	8	
5			28/10/2023	Pengaturan tparameter dan hubung singkat	elearning istn dan Google Meet	8	
6			04/11/2023	Pengaturan Tegangan dan kerja paralel	elearning istn dan Google Meet	8	
7.			11/11/2023	Rugi2 dan efisiensi, transf.3 fasaa dan hubungn star delta	elearning istn dan Google Meet	8	
8.			18/11/2023	UJIAN TENGAH SEMESTER (UTS) SEMESTER GASAL 2023/2024	elearning istn dan Google Meet	8	

Jakarta, Noveml
 Dosen Teknik Elekt



**Berita Acara Perkuliahan
(Presentasi Kehadiran Dosen)
SEMESTER GANJIL TAHUN AKADEMIK 2023/2024
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S1 FTI - ISTN**

Nama Dosen		: 1. Ir. Sugianto ,MT/Iriandi Ilyas Ir.MT				Hari	
Mata Kuliah		: Transformator				Jam	
Kelas		:K				Ruang	
No.		Hari /Tanggal	Materi Pembelajaran	Metode Belajar	Jml Mhs	Paraf	
9		25-11-2023	Transformator arus dan tegangan, serta contoh2nya	elearning istn dan Google Meet	8		
10		2-12-2023	transformator dan pengukuran , serta bgmn penggambaran diagram lingkara	elearning istn dan Google Meet	8		
11		9-12-2023	Polaritas Transf. dan ggm	elearning istn dan Google Meet	8		
12		16-12-2023	Cara penyambungan transf.3 fase dan hubungan transf.	elearning istn dan Google Meet	8		
13		23-12-2023	Tegangan efektif dan rugi2	elearning istn dan Google Meet	8		
14		30-12-2024	Transformator fasa tunggal pada jaringan dua fasa	elearning istn dan Google Meet	8		
15		6-1-2024	Latihan , contoh2 soal dan tugas	elearning istn dan Google Meet	8		
16		20-1-2024	UJIAN AKHIR SEMESTER GASAL 2023/2024	elearning istn dan Google Meet	8		

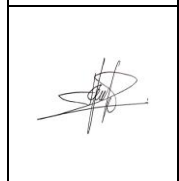
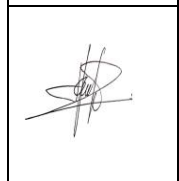
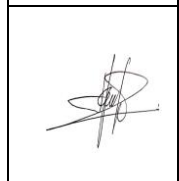
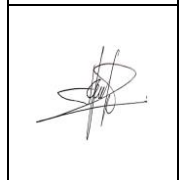
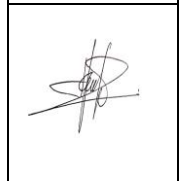
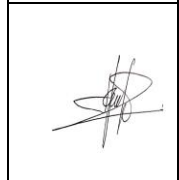
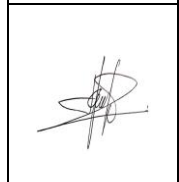
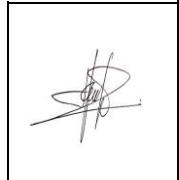
Jakarta, . Jakarta, Janua

Kaprodi : Dosen Teknik Elektro FTI









Sugianto, Ir.

Sabtu
: 10.00-11.40
:

Dosen



: MT }

Selasa
: 10.00-11.40
:
Dosen









ri 2024

I-ISTN



.MT

DAFTAR NILAI

SEMESTER GANJIL REGULER TAHUN 2023/2024

Program Studi : Teknik Elektro S1

Matakuliah : Transformator

Kelas / Peserta : K

Perkuliahan : Kampus ISTN Bumi Srengseng P2K - Kelas

Dosen : Sugianto, Ir.MT.

Hal. 1/1

No	NIM	N A M A	ABSEN	TUGAS	UTS	UAS	MODEL	PRESENTASI	NA	HURUF
			10%	20%	30%	40%	0%	0%		
1	23224301	Muhammad Rijal Cahyadi	100	78	95	70	0	0	82.1	A
2	23224701	Muhammad Elvan Rafif Najiyah	100	78	90	75	0	0	82.6	A
3	23224702	Mayharani Jasiska Dini Daud	100	75	90	75	0	0	82	A
4	23224703	Rio Fadhillah	100	78	90	75	0	0	82.6	A
5	23224704	Rusydan Siswantoro Galih Aji	100	75	90	70	0	0	80	A
6	23224707	Dimas Rahmat Prasetya	100	78	90	80	0	0	84.6	A
7	23224708	Syarif Maulana	100	78	90	75	0	0	82.6	A
8	23224712	Karina Trie Rizkikha	100	78	95	70	0	0	82.1	A

Rekapitulasi Nilai							
A	8	B+	0	C+	0	D+	0
A-	0	B	0	C	0	D	0
		B-	0	C-	0	E	0

Jakarta, 24 January 2024

Dosen Pengajar

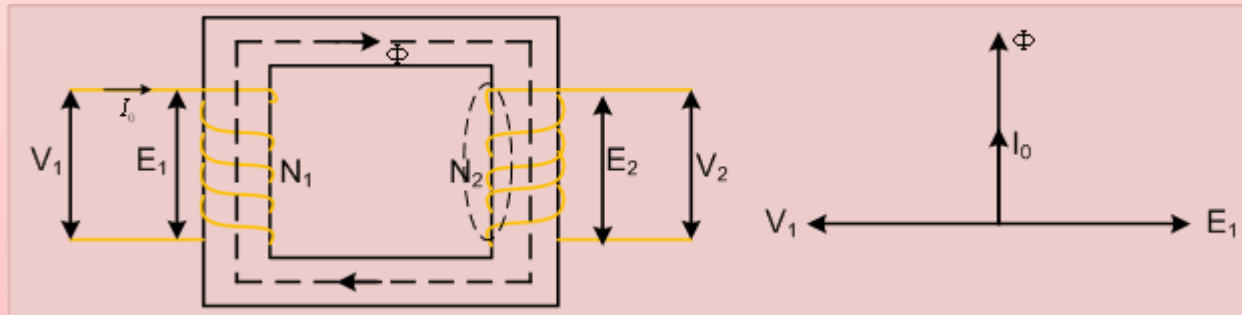


Sugianto, Ir.MT.

TRANSFORMATOR

TRANSFORMATOR

- Transformator adalah gandengan magnet antara rangkaian primer dan sekunder.
- Rangkaian transformator tanpa beban seperti gambar.1



Gambar1. Rangkaian transformator tanpa beban

- Jika kumparan primer transformator dihubungkan dengan V_1 sinusoidal mengalir arus I_0 belitan N_1 relatif murni maka I_0 tertinggal 90° dari V_1 arus primer I_0 menimbulkan fluks (Φ) fasa dan berbentuk sinusoidal

- Maka fluks (Φ):

$$\Phi = \Phi_m \sin \omega t \quad \dots 1$$

- Menurut hukum Faraday fluks yang dihasilkan menimbulkan tegangan induksi (e_1):

$$e_1 = -N_1 \frac{d\Phi}{dt}$$

$$e_1 = -N_1 \frac{d\Phi_m \sin \omega t}{dt} = -\omega N_1 \Phi_m \cos \omega t$$

$$e_1 = -\omega N_1 \Phi_m \cos \omega t = \omega N_1 \Phi_m \sin(\omega t - 90^\circ) \quad \dots 2$$

- Dari persamaan (2) tegangan induksi sudut fasa tertinggal 90° adalah

$$e_1 = 2\pi f N_1 \Phi_m \quad \dots 3$$

- Maka tegangan efektif adalah

$$E_1 = N_1 \frac{2\pi f \Phi_m}{\sqrt{2}} = 4,44 N_1 f \Phi_m \quad [\text{Volt}] \quad \dots 4$$

- Atau

$$E_1 = 4,44 N_1 f B_m \cdot A \quad [\text{Volt}] \quad \dots 5$$

- Dengan cara sama tegangan induksi (e_2) untuk sisi sekunder adalah

$$e_2 = -N_2 \frac{d\Phi}{dt}$$

$$e_2 = -N_2 \frac{d\Phi_m \sin \omega t}{dt} = -\omega N_2 \Phi_m \cos \omega t$$

$$e_2 = -\omega N_2 \Phi_m \cos \omega t = \omega N_2 \Phi_m \sin(\omega t - 90^\circ)$$

$$e_2 = 2\pi f N_2 \Phi_m \quad \dots 6$$

- Maka tegangan efektif adalah

$$E_2 = N_2 \frac{2\pi f \Phi_m}{\sqrt{2}} = 4,44 N_2 f \Phi_m \quad [\text{Volt}] \quad \dots 7$$

- Atau

$$E_2 = 4,44 N_2 f B_m \cdot A \quad [\text{Volt}] \quad \dots 8$$

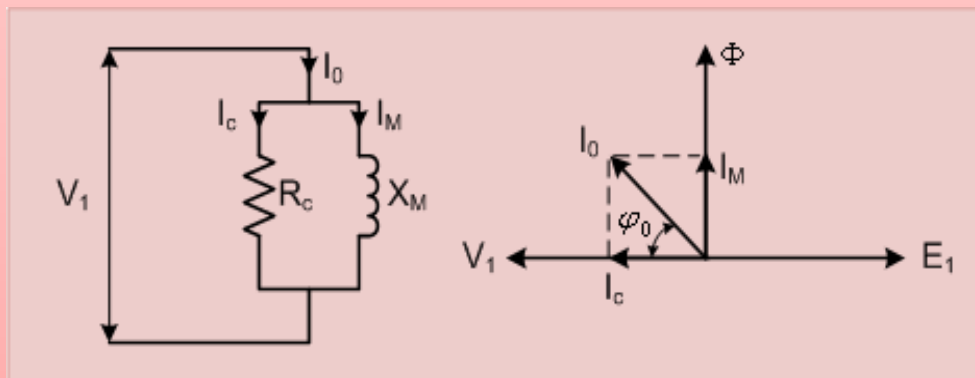
- Dari persamaan (4) dan (7) diperoleh

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{4,44 N_1 f \Phi_m}{4,44 N_2 f \Phi_m} \rightarrow \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{V_1}{V_2} = a \quad \dots 9$$

- Dimana (a) disebut dengan perbandingan transformator
- Jika $N_2 > N_1$ transformator jenis step-up (penaik tegangan)
 $N_2 < N_1$ transformator jenis stepdown (penurun tegangan)
- Untuk transformator ideal input sama dengan output dengan satuan transformator (VA)

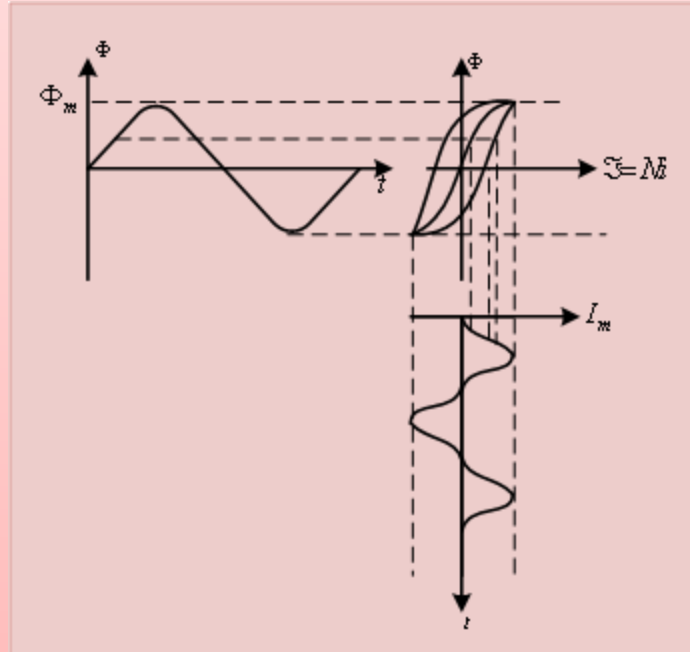
$$V_1 I_1 = V_2 I_2 \rightarrow \frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{1}{a} \quad \dots 10$$

- Arus yang mengalir pada kumparan sekunder pada beban nol disebut arus penguatan, bahwa arus primer (I_0) bukan merupakan arus induktip murni seperti gambar.2



Gambar.2.Rangkaian suatu transformator beban nol dan digram fasornya

▪Komponen arus pemagnetan I_M menghasilkan fluks (Φ), karena sifat besi yang nonlinier lihat kurva ($\Phi - \mathfrak{F}$) ternyata I_M dan juga fluks (Φ) tidak berbentuk sinusoidal seperti gambar.3



Gambar.3.Kurva pemagnetan

▪Arus rugi tembaga (I_c) menyatakan daya yang hilang akibat adanya rugi histeresis (rugi panas) dan arus pusar, I_c sefasa dengan V_1 .

▪Daya yang hilang beban nol

$$P_0 = I_0 V_1 \cos \varphi_0 \quad [\text{Watt}] \quad \dots 12$$

▪Rugi inti besi

$$I_C = I_0 \cos \varphi_0 \quad \dots 13$$

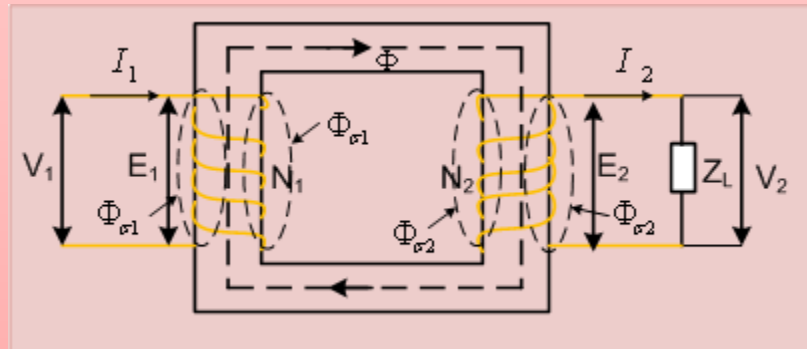
▪Rugi tembaga

$$I_M = I_0 \sin \varphi_0 \quad \dots 14$$

$$I_0^2 = I_M^2 + I_C^2 \quad \dots 15$$

$$I_0 = \sqrt{I_M^2 + I_C^2}$$

▪Rangkaian transformator berbeban seperti gambar.4



Gambar.4.Rangkaian transformator berbeban

▪ Bila kumparan sekunder dihubungkan dengan beban Z_L , maka mengalir arus I_2 pada kumparan sekunder dengan faktor kerja sama dengan φ

▪ Arus I_2 akan menimbulkan gaya gerak magnet (ggm) $N_2 I_2$ yang cenderung menentang fluks bersama yang telah ada akibat arus pemagnetan I_M . Agar fluks bersama tidak berubah nilainya pada kumparan primer harus mengalir arus I_2' , yang menentang fluks yang dibangkitkan oleh arus beban I_2 sehingga keseluruhan arus yang mengalir pada kumparan primer menjadi :

$$I_1 = I_0 + I_2' \quad \dots 16$$

▪ Bila rugi besi diabaikan (I_C diabaikan) maka $I_M = I_0$

$$I_1 = I_M + I_2' \quad \dots 17$$

▪ Agar fluks tidak berubah sebesar ggm yang dihasilkan oleh arus pemagnetan I_M maka

$$N_1 I_M = N_1 I_1 - N_2 I_2$$

▪Atau

$$N_1 I_M = N_1 (I_M + I_2') - N_2 I_2$$

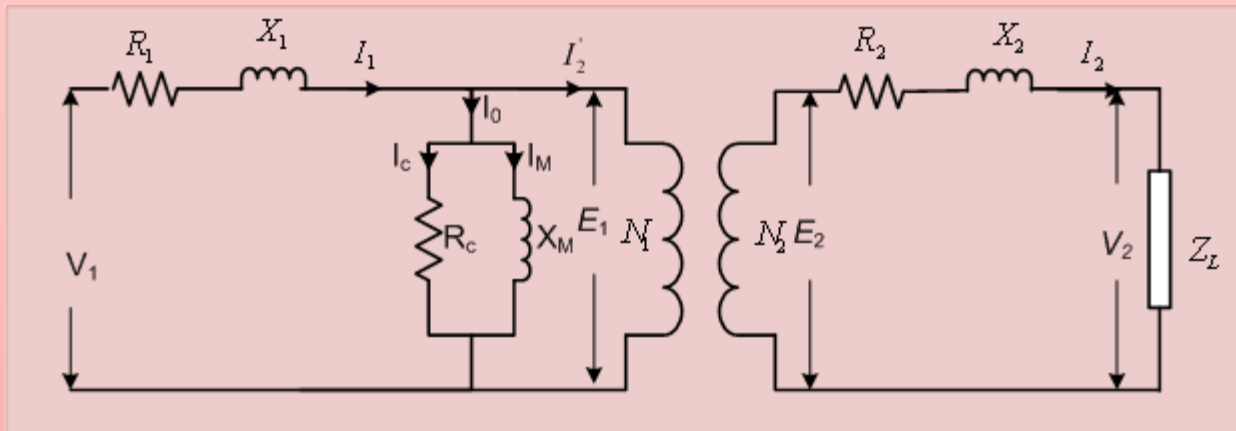
$$N_1 I_2' = N_2 I_2$$

...18

▪Karena I_M dianggap kecil maka $I_2' = I_1$ jadi

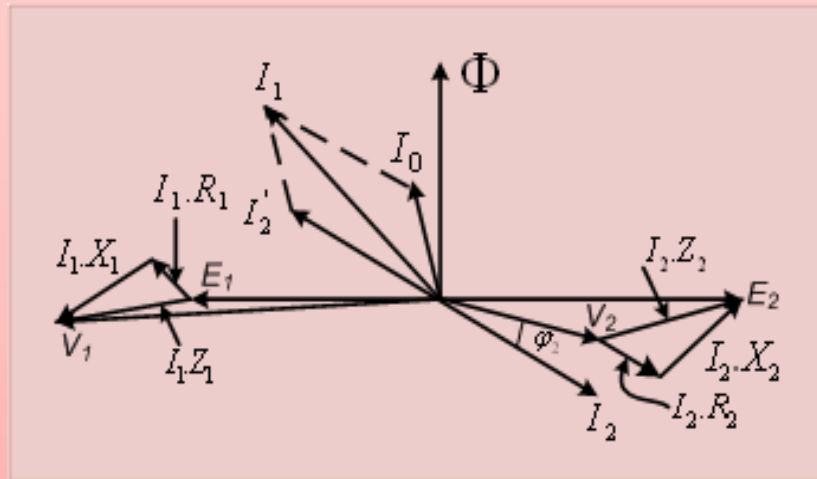
$$N_1 I_1 = N_2 I_2 \text{ atau } \frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} \rightarrow \frac{I_2'}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{a} \text{ atau } I_2 = a I_2' \quad \dots 19$$

▪Rangkaian ekivalen transformator seperti gambar .5



Gambar.5.Rangkain ekivalen transformator

- Rangkain transformator terdiri dari kumparan primer dan kumparan sekunder setiap kumparan terdiri dari tahanan dan induktansi dengan simbol R_1 , X_1 , R_2 dan X_2
- Dalam gambar 4 ditunjukan fluks boor transformator disisi primer dan sekunder yaitu Φ_{σ_1} dan Φ_{σ_2} ditunjukan sebagai reaktansi X_1 dan X_2 dan tahanan ditunjukan oleh R_1 serta R_2
- Dari gambar.5 dapat dibuat digaram vektor dari transformator seperti gambar.6



Gambar.6.diagram vektor transformator

▪ Dari diagram vektor diatas dapat diturunkan secara matematis

$$V_1 = E_1 + I_1 R_1 + I_1 X_1 \quad \dots 20$$

$$E_2 = V_2 + I_2 R_2 + I_2 X_2 \quad \dots 21$$

▪ Impedansi belitan perimer :

$$Z_1 = R_1 + jX_1 = \sqrt{R_1^2 + X_1^2} \angle \tan^{-1} \frac{X_1}{R_1} \quad \dots 22$$

▪ Impedansi belitan sekunder

$$\blacksquare Z_2 = R_2 + jX_2 = \sqrt{R_2^2 + X_2^2} \angle \tan^{-1} \frac{X_2}{R_2} \quad \dots 23$$

▪ Substitusi persamaan 21 ke persamaan 9

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = a \text{ atau } E_1 = aE_2$$

$$E_1 = a(V_2 + I_2 R_2 + I_2 X_2) \quad \dots 24$$

Atau

$$E_1 = a(I_2 Z_L + I_2 R_2 + I_2 X_2) \quad \dots 25$$

- Substitusi persamaan 19 ke persamaan 25 :

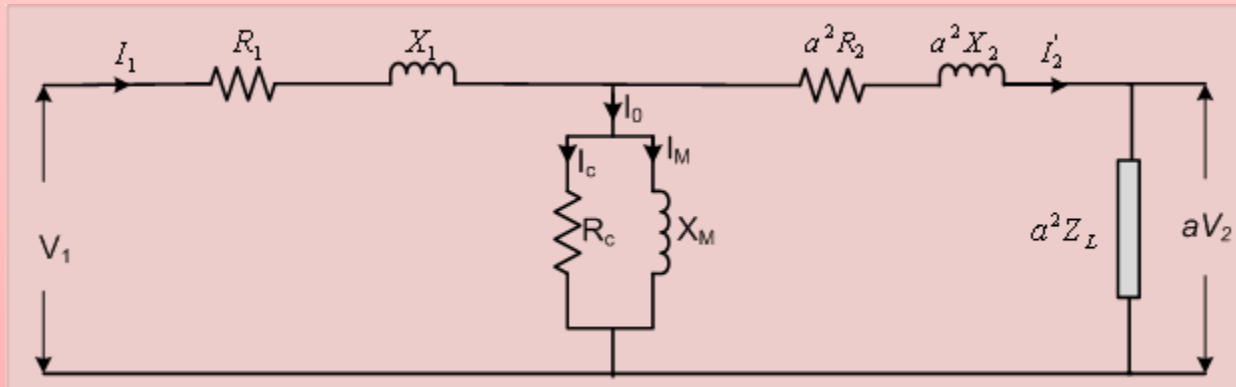
$$E_1 = a(aI_2'Z_L + I_2R_2 + I_2X_2)$$

$$E_1 = a^2I_2'Z_L + a^2I_2R_2 + a^2I_2X_2 \quad \dots 26$$

- Substitusi persamaan 26 ke persamaan 20

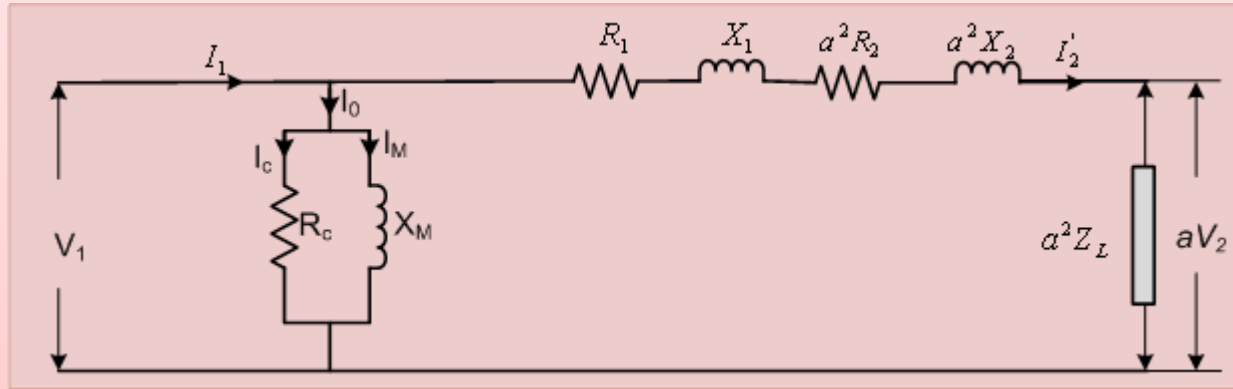
$$V_1 = a^2I_2'Z_L + a^2I_2R_2 + a^2I_2X_2 + I_1R_1 + I_1X_1 \quad \dots 27$$

- Dari persamaan 27 dibuat model rangkaian trnsformator seperti gambar.7



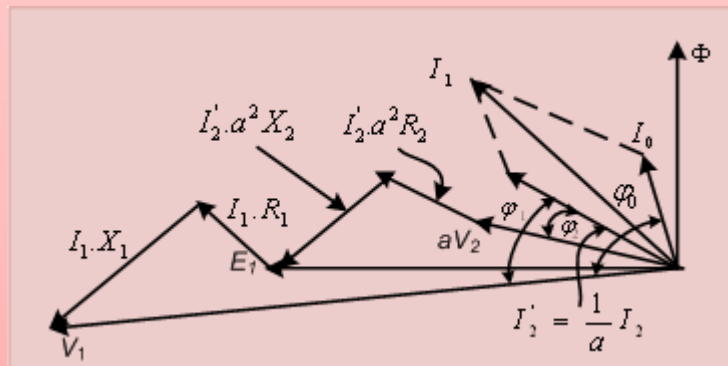
Gambar.7.Model rangkaian trnsformator

▪ Atau dapat dibuat seperti gambar 8



Gambar.8.Model rangkaian trnsformator

▪ Diagram vektor transformator dilihat sisi primer seperti gambar.9



Gambar.9.Diagram vektor trnsformator

▪ Diagram vektor transformator dilihat disisi sekunder

$$E_1 = V_1 - I_1 R_1 - I_1 X_1 \quad \dots 28$$

$$E_2 = V_2 + I_2 R_2 + I_2 X_2 \quad \dots 29$$

▪ Persamaan 28 ke persamaan 9

$$E_2 = \frac{1}{a} [V_1 - I_1 R_1 - I_1 X_1]$$

$$E_2 = \frac{1}{a} V_1 - \frac{1}{a} I_1 R_1 - \frac{1}{a} I_1 X_1 \quad \dots 30$$

$$N_1 I_1 = N_2 I_1' \text{ atau } \frac{I_1}{I_1'} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{a} \text{ atau } I_1 = \frac{1}{a} I_1' \quad \dots 31$$

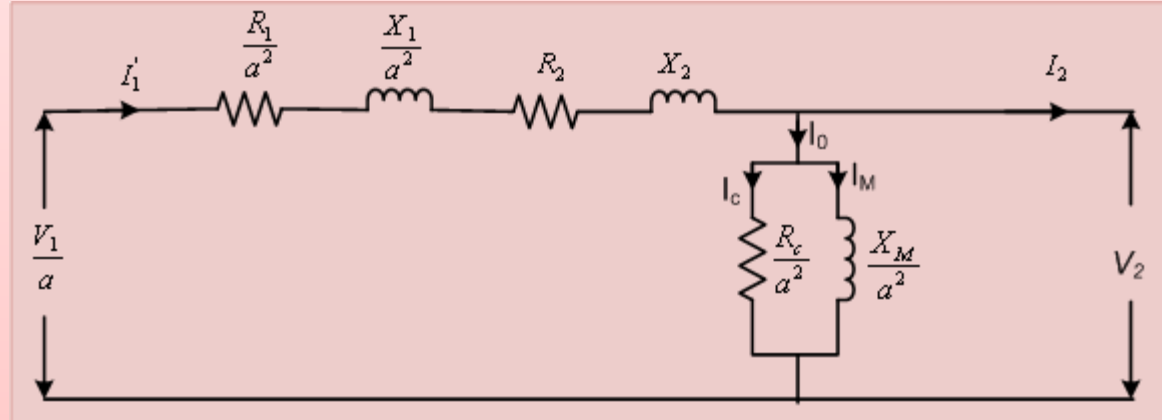
▪ Substitusi persamaan 31 ke persamaan 30

$$E_2 = \frac{V_1}{a} - \frac{1}{a^2} I_1' R_1 - \frac{1}{a^2} I_1' X_1 \quad \dots 32$$

▪ Substitusi persamaan 32 ke persamaan 29 :

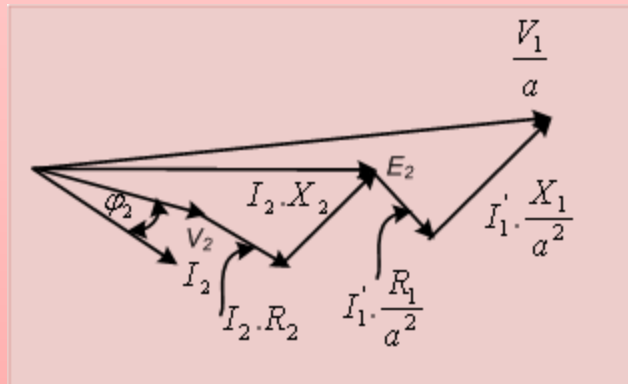
$$V_2 = \frac{V_1}{a} - \frac{1}{a^2} I_1' R_1 - \frac{1}{a^2} I_1' X_1 - I_2 R_2 - I_2 X_2 \quad \dots 33$$

- Dari persamaan 33 dapat dibuat rangkai transformator dilihat disisi sekunder



Gambar.10.Rangkaian transformator dilihat sisi sekunder

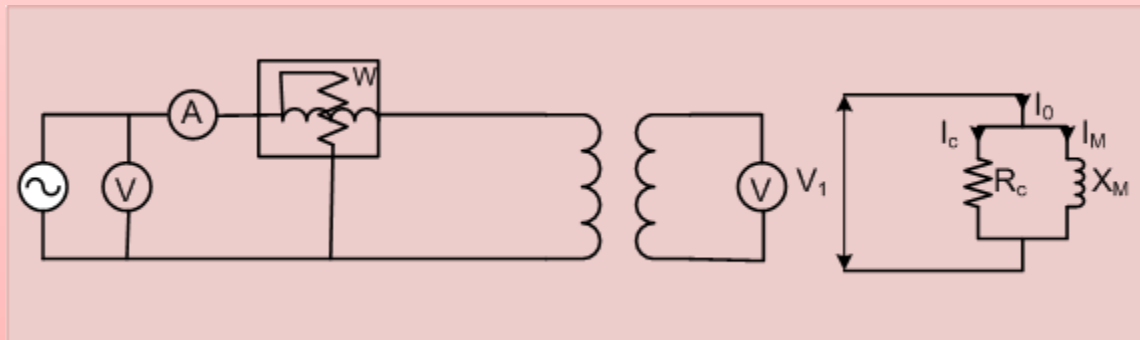
- Diagram vektor transformator disisi sekunder



Gambar.11.Diagram vektor transformator dilihat sisi sekunder

PENGUKURAN TRANSFORMATOR

- Pengukuran transformator adalah menentukan parameter-parameter transformator yang terdiri dari R_C , X_M , R_{eq} dan X_{eq}
- Pengukuran transformator dapat dilakukan dua pengukuran yaitu pengukuran beban nol dan pengukuran hubung singkat
- Pengukuran beban nol (open circuit)



Gambar.12 .Pengukuran beban nol

- Nilai R_C dan X_m ditentukan yaitu

$$Y = \frac{1}{R_C} - \frac{1}{X_M} \quad \dots 34$$

- Admittansi rangkaian terbuka

$$Y = \frac{I_{oc}}{V_{oc}} \quad \dots 35$$

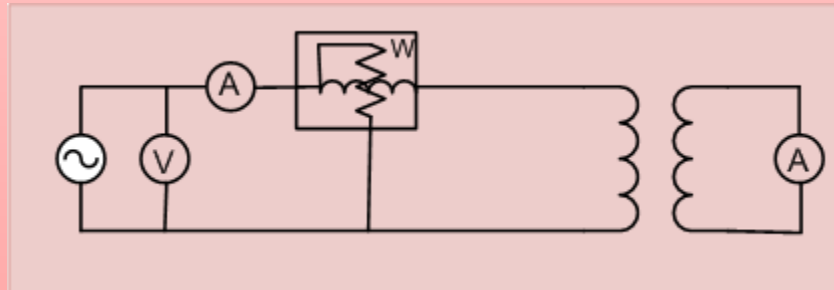
- Sudut rangkaian terbuka ditentukan menggunakan faktor kerja yaitu

$$\cos \varphi = \frac{P_{oc}}{V_{oc} I_{oc}}$$

$$\varphi = \cos^{-1} \frac{P_{oc}}{V_{oc} I_{oc}}$$

$$Y = \frac{I_{oc}}{V_{oc}} \angle -\varphi \quad \dots 36$$

- Pengukuran hubung singkat (short circuit) transformator



Gambar.13 .Pengukuran hubung singkat

▪ Impedansi transformator

$$Z_{eq} = \frac{V_{sc}}{I_{sc}} \quad \dots 37$$

▪ Faktor kerja

$$\begin{aligned} \cos \varphi &= \frac{P_{sc}}{V_{sc} I_{sc}} \\ \varphi &= \cos^{-1} \frac{P_{sc}}{V_{sc} I_{sc}} \quad \dots 38 \end{aligned}$$

$$Z_{eq} = \frac{V_{sc} \angle 0}{I_{sc} \angle -\varphi} = \frac{V_{sc}}{I_{sc}} \angle \varphi \quad \dots 39$$

▪ Pengaturan tegangan transformator ialah perubahan tegangan sekunder anatar beban nol dan beban penuh pada suatu faktor daya tertentu dengan tegangan perimer konstan

$$\text{Pengaturan (VR)} = \frac{V_2 \text{ beban nol} - V_2 \text{ beban penuh}}{V_2 \text{ beban penu}} \times 100\%$$

- Atau pengaturan tegangan transformator dapat digunakan dengan model rangkaian ditunjukkan gambar.8

$$\text{Pengaturan (VR)} = \frac{aV_2 \text{ beban nol} - aV_2 \text{ beban penuh}}{aV_2 \text{ beban penu}} \times 100\%$$

- Dimana : aV_2 beban nol = V_1
 aV_2 beban penuh yaitu harga tegangan nominal sisi primer

- Atau

$$\text{Pengaturan (VR)} = \frac{V_1 - aV_2 \text{ nominal}}{aV_2 \text{ nominal}} \times 100\%$$

- Perngaturan tegnagan dilihat disisi sekunder

$$\text{Pengaturan (VR)} = \frac{\frac{V_1}{a} - V_2 \text{ beban penuh}}{V_2 \text{ beban penu}} \times 100\% \quad \dots 40$$

- Dimana V_2 beban nol = V_1/a

EFFISIENSI TRANSFORMATOR

EFFISIENSI TRANSFORMATOR :

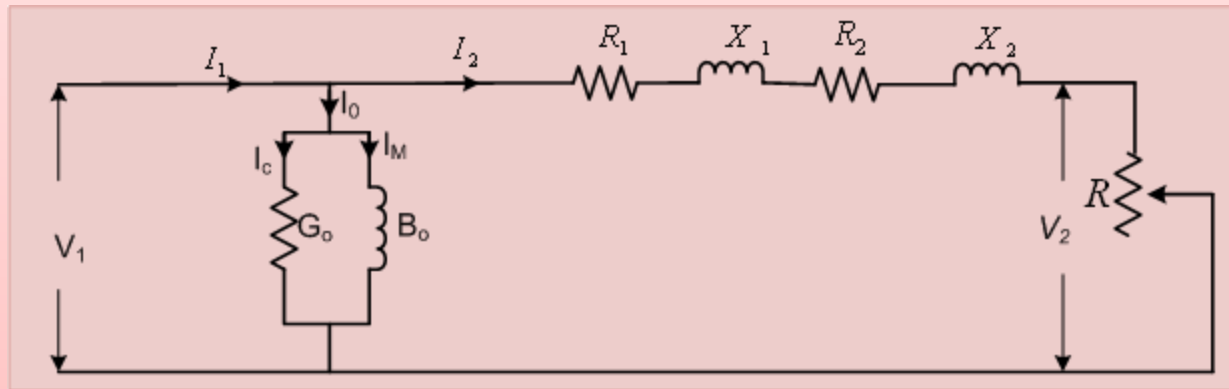
$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{cu} + P_i + P_{out}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{V_2 I_2 \cos \phi}{I_2^2 R_{eq} + \frac{(V_1 / a)^2}{R_c} + V_2 I_2 \cos \phi} \times 100\% \quad \dots 41$$

DIAGRAM LINGKARAN TRANSFORMATOR

- Suatu rangkaian ekuivalen transformator dengan beban R seperti gambar 14



Gambar.14 Rangkaian ekuivalen transformator

- Arus I_2 :

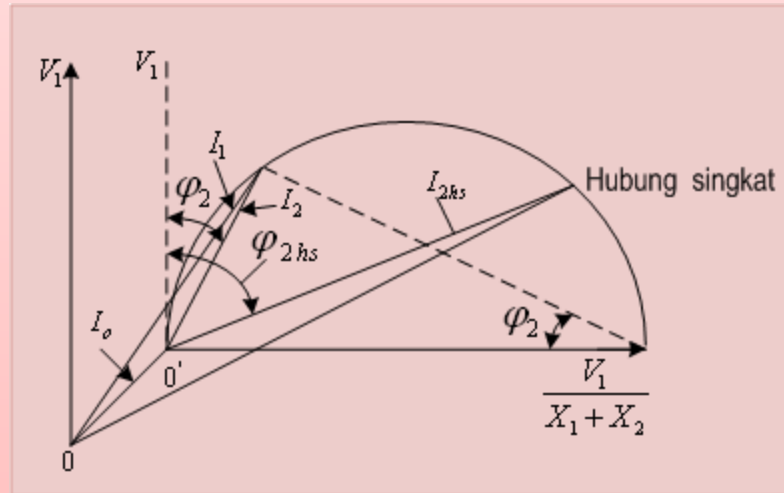
$$I_2 = \frac{V_1}{\sqrt{(R_1 + R_2 + R)^2 + (X_1 + X_2)^2}} \quad \dots,42$$

$$\sin \varphi_2 = \frac{X_1 + X_2}{\sqrt{(R_1 + R_2 + R)^2 + (X_1 + X_2)^2}}$$

- Maka

$$I_2 = \frac{V_1}{X_1 + X_2} \sin \varphi_2 \quad \dots 43$$

- Digram lingkaran transformator ditunjukkan gambar 15



Gambar.15. Digram lingkaran transformator

- Dari persamaan 43 bahwa letak arus I_2 berada setengah busur lingkaran
- Arus hubung singkat $(I_2)_{hs}$:

$$I_{2hs} = \frac{V_1}{\sqrt{(R_1 + R_2)^2 + (X_1 + X_2)^2}} \quad \dots 44$$

- Sudut hubung singkat

$$\tan \varphi_{2hs} = \frac{X_1 + X_2}{R_1 + R_2} \quad \dots 45$$

- Arus I_0 :

$$I_0 = V_1 \sqrt{(G_o)^2 + (B_o)^2} = V_0 \cdot Y \quad \dots 46$$

- Dengan sudut

$$\tan \varphi_0 = \frac{B_o}{G_o} \quad \dots 47$$

- Arus primer $I_1 = I_0 + I_2$ letaknya pada busur lingkaran yang ditarik dari titik 0
- Untuk rangkain percobaan beban nol seperti gambar 12

$$P_0 = V_1 I_0 \cos \varphi_0 = I_0^2 R_C$$

$$R_C = \frac{P_0}{I_0^2}$$

$$X_M = R_C \tan \varphi_0$$

$$G_o = \frac{R_C}{R_C^2 + X_M^2}$$

$$B_o = \frac{X_M}{R_C^2 + X_M^2}$$

- Untuk rangkaian percobaan hubung singkat seperti gambar 13

$$P = I^2 (R_1 + R_2) \quad \cos \varphi_{hs} = \frac{P}{V_e I}$$

$$V_e = I \sqrt{(R_1 + R_2)^2 + (X_1 + X_2)^2}$$

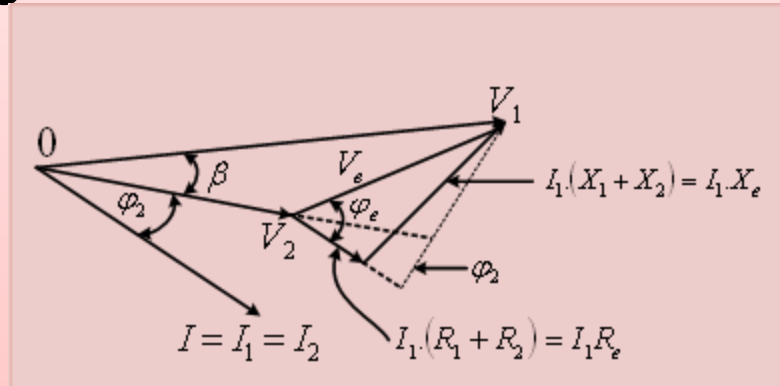
$$X_1 + X_2 = (R_1 + R_2) \tan \varphi_{hs}$$

- Dimana : $I = I_1 = I_2$
- Arus hubung singkat

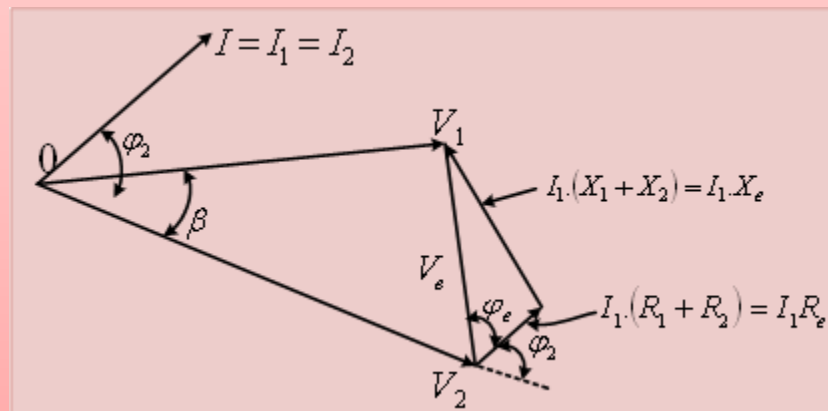
$$I_{hs} = I_1 \frac{V_1}{V_e}$$

PENGATURAN TEGANGAN (VR)

- Digram vektor untuk beban induktip dan kapasitip ditunjukan gambar 16 dan 17



Gambar.16. Vektor beban induktip

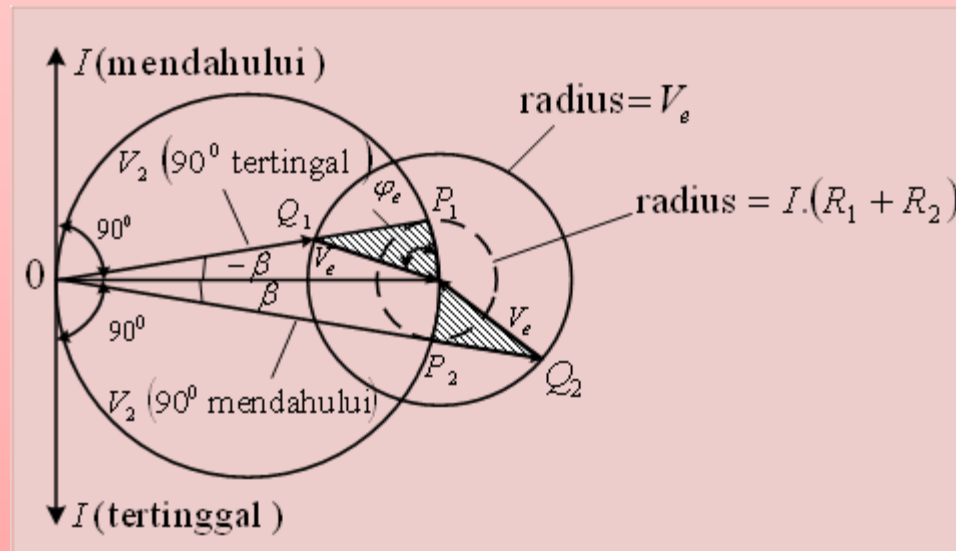


Gambar.17. Vektor beban kapasitip

- Jatuh tegangan pada impedansi transformator:

$$V_e = I \sqrt{(R_1 + R_2)^2 + (X_1 + X_2)^2} \quad \dots 48$$

- Tegangan fasa V_1 dan V_2 pada gambar 16 dan 17 ditentukan oleh jatuh tegangan V_e berbanding lurus dengan I
- Panjang Vektor V_1 tetap maka letak titik awal $0V_2$ pada nilai arus beban tertentu merupakan busur lingkaran yang jari-jari V_e dengan pusat titik awal $0V_1$ seperti gambar 18



Gambar .18 .Variasi V_2 dengan perubahan faktor daya tertinggal dan mendahului

- Pada gambar 16 dan 17 sudut fasa V_1 dan V_2 :

$$\sin \beta = \frac{V_e \sin(\varphi_e - \varphi_2)}{V_1} \quad \dots 49$$

- Untuk φ_2 positif faktor daya sekunder tertinggal menjadi negatif apabila faktor daya sekunder mendahului
- Dari persamaan 49 untuk $\varphi_2 = 90^\circ$ tertinggal

$$\sin \beta = \frac{V_e \sin(\varphi_e - 90^\circ)}{V_1}$$

$$\sin \beta = -\frac{V_e \cos \varphi_e}{V_1} - \frac{I(R_1 + R_2)}{V_1} \quad \dots 50$$

- Dari persamaan 49 untuk $\varphi_2 = 90^\circ$ mendahului

$$\sin \beta = \frac{V_e \sin(\varphi_e + 90^\circ)}{V_1}$$

$$\sin \beta = \frac{V_e \cos \varphi_e}{V_1} = \frac{I(R_1 + R_2)}{V_1} \quad \dots 51$$

- Persamaan 51 dasar dari dalam penyusunan gambar 18 ;
- Titik awal vektor V_1 dibuat lingkaran-lingkaran dengan jari-jari $l(R_1+R_2)$ dan V_e
- $0V_1$ diameter lingkaran $0Q_1$ dan $0Q_2$ masing -masing merupakan nilai V_2 beban indukti dan bean kapasitip
- V_2 hampir sama dengan V_1-V_e untuk faktor daya tertinggal dan V_1+V_e untuk faktor daya mendahului
- Pengaturan Tegangan (VR)

$$VR = \frac{\frac{V_1}{a} - (V_2)_1}{V_1} \times 100\% \quad \text{atau} \quad VR = \frac{V_1 - V_2}{V_1} \times 100\%$$

- Dimana $V_2 = a(V_2)_1$ adalah tegangan terminal sekunder pada saat dibebani dinyatakan dalam primer
- Berdasarkan gambar 16 dan 17

$$V_1^2 = [V_2 + V_e \cos(\varphi_e - \varphi_2)]^2 + [V_e \sin(\varphi_e - \varphi_2)]^2 \quad ..52$$

- Dengan menggunakan persamaan trigonometri dari persamaan 52 $V_e \cos \varphi_e = I_1 R_e$ dan $V_e \sin \varphi_e = I_1 X_e$ menjadi :

$$V_1^2 = [V_2 + I_1 R_e \cos \varphi_2 + I_1 X_e \sin \varphi_2]^2 + [I_1 X_e \cos \varphi_2 - I_1 R_e \sin \varphi_2]^2 \quad \text{..53}$$

RUGI-RUGI TRANSFORMATOR

- Rugi-rugi transformator :
 1. Rugi tembaga ($I^2 R$) terdiri rugi tahanan murni dan rugi akibat tidak merata distribusi rapat arus penghantar
 2. Rugi histerisis rugi disebabkan adanya gesekan molekuler partikel-partikel pada inti transformator akibat perubahan fluks magnet yang periodik.
 3. Rugi arus eddy disebabkan oleh arus induksi yang mengalir pada inti transformator (arus yang terinduksi pada belitan)

RUGI-RUGI TRANSFORMATOR

- Rugi Tembaga :

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad 54$$

dimana : ρ = resistivitas , R=resistansi penghantar
A= luas penghantar

- Resistivitas merupakan fungsi suhu penghantar :

$$\rho = \rho_0 \left(1 + \frac{t}{234,5} \right) \quad 55$$

- Dimana : t= suhu dalam derajat Celcius
 ρ_0 = resistivitas suhu 0°C

RUGI-RUGI TRANSFORMATOR

- Nilai ρ_0 dalam Ohm :

Satuan	ρ_0 (Ohm)
Meter kubik	$1,7241 \times 10^{-8}$
Centimeter kubik	$1,7241 \times 10^{-6}$
Inci kubik	$0,6787 \times 10^{-8}$
Circularmi-foot	9,56

pada suhu kerja 75°C resistivitas $\gg 12$ Ohm per cir mil-ft
 atau kira-kira 1 Ohm per cir.mil- ft

- Persmaan untuk mencari harga R bila R_{t_1} dan R_{t_2} masing-masing resistansi penghantar pada suhu t_1 dan t_2 :

$$t_2 - t_1 = \frac{R_{t_2} - R_{t_1}}{R_{t_1}} (t_1 - 234,5) \quad 56$$

RUGI-RUGI TRANSFORMATOR

- Atau

$$\frac{R_{t2}}{R_{t1}} = \frac{t_2 + 234,5}{t_1 + 234,5} \quad 57$$

Contoh

1. Rugi total tembaga dari transformator diperoleh pengujian 630 watt pada suhu 20°C , sedangkan rugi tembaga dihitung menurut nilai resistansi belitan transformator pada suhu yang sama 504 watt. Berapa rugi beban pada suhu 75°C

Jawab

Rugi arus eddy pada suhu $20^{\circ}\text{C} = (630 - 504) = 126$ watt

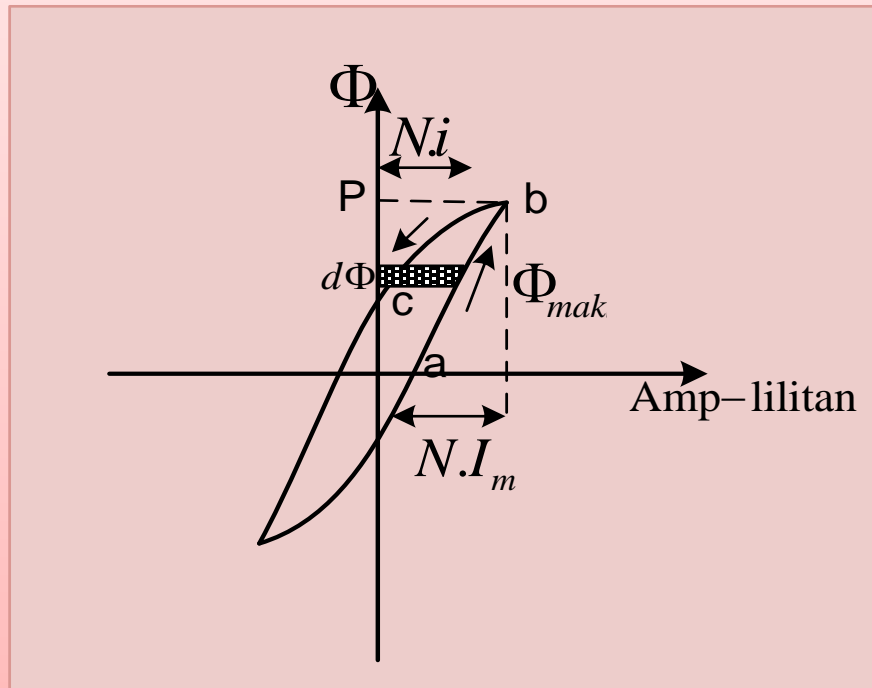
Rugi tembaga pada suhu $75^{\circ}\text{C} = 504 \times \frac{75 + 234,5}{20 + 234,5} = 613$ watt

Rugi arus eddy pada suhu $75^{\circ}\text{C} = 126 \times \frac{20 + 234,5}{75 + 234,5} = 104$ watt

Rugi beban pada suhu $75^{\circ}\text{C} = (613 + 104) = 717$ watt

RUGI-RUGI TRANSFORMATOR

- RUGI HISTERISIS



Gambar 19. Jerat histerisisi

- Misal Penampang lintang inti besi transformator A panjang rangkaian magnet l belitan N belitan

RUGI-RUGI TRANSFORMATOR

- Arus eksitasi periodic berubah dari $-I_m$ menjadi $+I_m$ fluks berubah dari $-\Phi_m$ menjadi $+\Phi_m$ seperti gambar 19.
- Kurva naik a-b eksitasi berubah dari Ni menjadi $N(i+di)$ dalam waktu dt kenaikan fluks $d\Phi$ maka ggl terinduksi pada belitan :

$$e = -N \frac{d\Phi}{dt} \quad 58$$

- Daya sesaat rangkain eksitasi ($-e$)i maka energy dala selang waktu :

$$dW = (-e)idt = Nid\Phi \quad \text{jaule} \quad 59$$

- Enersi dalam lingkup kurva gambar 19

$$W = \int_{-\Phi_m}^{+\Phi_m} Nid\Phi \quad \text{jaule} \quad 60$$

- Untuk $d\Phi = AdB$ dan $Ni = Hl$ maka enersi

$$W = Al \int_{-B_m}^{+B_m} HdB \quad \text{jaule} \quad 61$$

RUGI-RUGI TRANSFORMATOR

- Volume inti transformator adalah $A l$ luas jerat histerisis B - H
- Menurut Charles P Steinmetz dari percobaan histerisis sebanding dengan B_m^x bilangan pangkat x untuk baja karbon rendah nilai 1,6 sedangkan untuk baja silicon 1,7 hingga sedikit lebih besar 2.0
- Nilai Al persamaan 61 diganti dengan M/δ dimana M masa inti transformator δ rapat masa inti transformator.
- Jika frekuensi perubahan fluks adalah f Herz maka rugi histerrisis :

$$P_h = \eta \frac{M}{\delta} f B_m^x \quad \text{watt} \quad 62$$

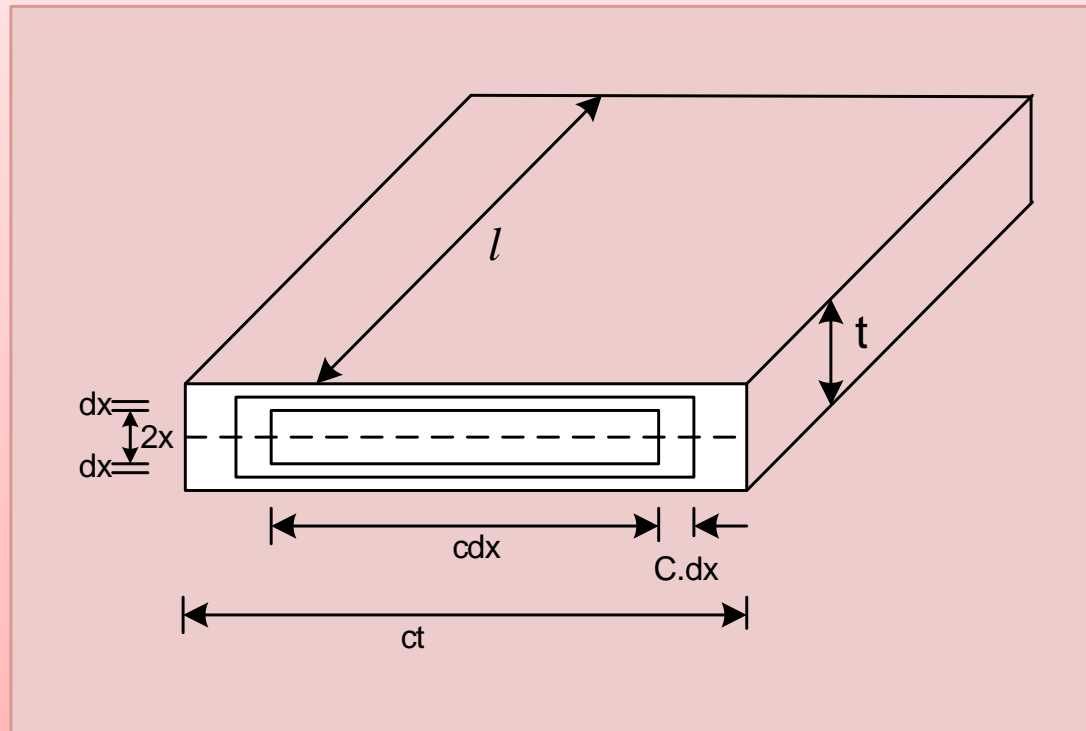
Dimana η =konstata dari karaktristik bahan inti besi besarnya tergantung dari M , δ dan B_m

- Atau rugi histerisis

$$P_h = K_h f B_m^x \quad \text{watt} \quad 63$$

RUGI-RUGI TRANSFORMATOR

- RUGI ARUS EDDY (EDDY CURRENT LOSS)



Gambar 20. Aliran arus eddy

RUGI-RUGI TRANSFORMATOR

- Penampang inti transformator berlapis-lapis tebal t lebar ct , c kontanta nilai lebih besar dari 1
- Empat persegi panjang dengan sisi-sisi bagian dalam $2x$ dan $2cx$ dan sisi-sisi luar $2(x+dx)$ dan $2c(x+dx)$.

- Fluks maksimum yng melingkupi setiap elemen belitan :

$$4 B_m c x^2 \quad 64$$

- Perubahan fluks total setiap periode :

$$16 B_m c x^2 \quad 65$$

- Fluks total yang terpotong setiap detik

$$16 f B_m c x^2 \quad 66$$

RUGI-RUGI TRANSFORMATOR

- Ggl rata-rata :

$$E_{rata-rata} = 16fB_m c x^2 \quad 67$$

- Ggl efektif :

$$E = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} E_{rata-rata} = \frac{8\pi}{\sqrt{2}} f B_m^x c x^2 \quad \text{volt} \quad 68$$

- Ggl bekerja sepanjang jalu elemen mempunya resistansi:

$$R = \rho \left(\frac{4cx}{dx} + \frac{4x}{cdx} \right) = \frac{4\rho x}{dx} \frac{c^2+1}{c} \quad 69$$

- Rugi tiap elemen :

$$dP = \frac{E^2}{\frac{4\rho x}{dx} \frac{c^2+1}{c}} = \frac{8\pi^2 f^2 B^2 x^2}{\rho} \frac{c^3}{c^2+1} \quad 70$$

RUGI-RUGI TRANSFORMATOR

- Rugi total :

$$P_e = \frac{8\pi^2 f^2 B_m^2}{\rho} \frac{c^3}{c^2+1} \int_0^{t/2} x^2 dx \quad 71$$

$$P_e = \frac{8\pi^2 f^2 B_m^2}{8\rho} \frac{c^3 t^4}{c^2+1}$$

- Volume rugi $V = M/\delta = t \times ct \times l$ maka:

$$P_e = \frac{8\pi^2 M f^2 B_m^2 t^2}{8\rho\delta} \frac{c^2}{c^2+1} \quad 72$$

- Untuk $\frac{c^2}{c^2+1} = 1$

$$P_e = \epsilon \frac{M}{\delta} f^2 B_m^2 t^2 \quad 73$$

RUGI-RUGI TRANSFORMATOR

- Atau rugi arus eddy :

$$P_e = K_e f^2 B_m^2 \quad 74$$

- Rugi total transformator

$$P_{h+e} = \frac{M}{\delta} (\eta f B_m^x + \epsilon \frac{M}{\delta} f^2 B_m^2 t^2) \dots 75$$

- **Atau**

$$P_{h+e} = k_h f B_m^x + k_e f^2 B_m^2) \dots \quad 76$$

- Diman harga M, δ dan t telah ditetapkan pada persamaan diatas
- Koefisen k_h dan k_e dan pangkat x rugi diurai menjadi P_h dan P_e

RUGI-RUGI INTI

- Rugi-rugi inti diukur tiga macam keadaan :
 1. Pada frekuensi f_1 dan rapat fluks B_1
 2. Pada frekuensi f_2 dan rapat fluks B_2
 3. Pada frekuensi f_3 dan rapat fluks B_3
- Bila rugi - rugi inti total masing-masing P_1, P_2 dan P_3 :

$$P_1 = k_h f_1 B_1^x + k_e f_1^2 B_1^2$$

$$P_1 = k_h f_2 B_1^x + k_e f_2^2 B_1^2$$

$$P_1 = k_h f_3 B_1^x + k_e f_3^2 B_1^2$$

RUGI-RUGI TRANSFORMATOR

- Jika $a=f_1/f_2$ maka :

$$x = \frac{\log \left[\frac{B_2^2 (P_2 - a^2 P_3)}{(P_2 - a P_3) B_1^2 - a(a-1) P_1 B_2^2} \right]}{\log \frac{B_2}{B_1}} \dots\dots 77$$

$$k_h = \frac{P_2 - a^2 P_3}{f_2 (1-a) B_2^2} \dots\dots\dots 78$$

$$k_e = \frac{P_2 - a^2 P_3}{f_2^2 B_2^2} \frac{a}{a-1} \dots\dots\dots 79$$

RUGI-RUGI TRANSFORMATOR

Contoh

Dari suatu transformator inti terbuat dari baja 29 lapis dengan data sbb:

Frekuensi (Hz)	Rapat Fluks (kilogauss)	Rugi-Rugi Inti (Watt/lb)
30	8	0,136
60	12	0,75
30	12	0,31

- Dengan memasukkan persamaa 77,78 dan 79

$$x = 2,06$$

$$k_h = 489 \times 10^{-7}$$

$$k_e = 501 \times 10^{-9}$$

RUGI-RUGI TRANSFORMATOR

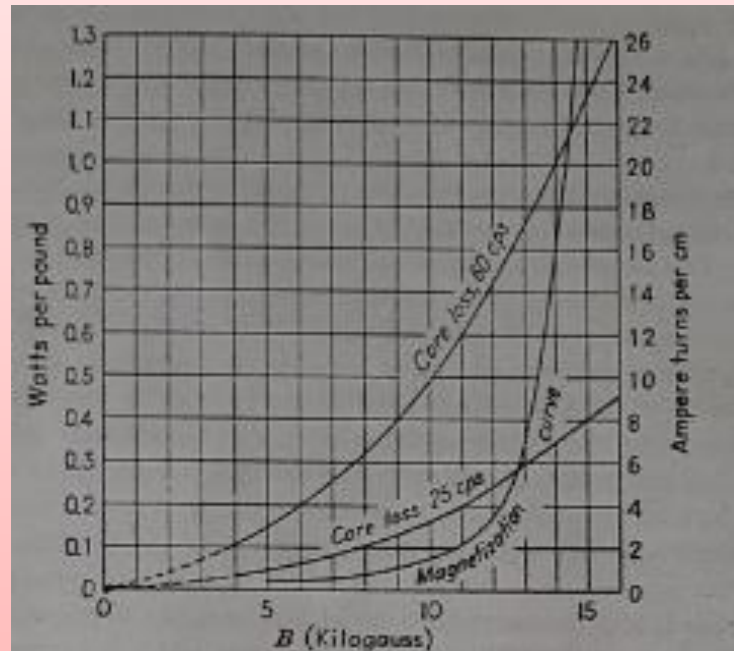
Rugi-rugi histerisis dan arus eddy seperti tabel :

Frekuensi (Hz)	Rapat Flus (kilogauss)	P_h (Watt/lb)	P_e (Watt/lb)
30	8	0,106	0,029
60	12	0,49	0,26
30	12	0,245	0,065

- Catatan dari hasil perhitungan bahwa rugi arus eddy lebih kecil dari rugi histerisis besarnya sekitar 20 – 50 % rugi total inti

RUGI-RUGI TRANSFORMATOR

- Kurva rugi inti dan kurva magnetisasi seperti gambar 21



Gambar 21. Kurva rugi inti dan kurva magnetisasi

- Gambar 21 contoh hubungan antara rugi inti dengan rapat fluks.

RUGI-RUGI TRANSFORMATOR

- Kedua kurva gambar 21 dibuat frekuensi-frekuensi yang umum dipakai di amerika.

- Kedua kuva berbentuk parabola maka variabelny :

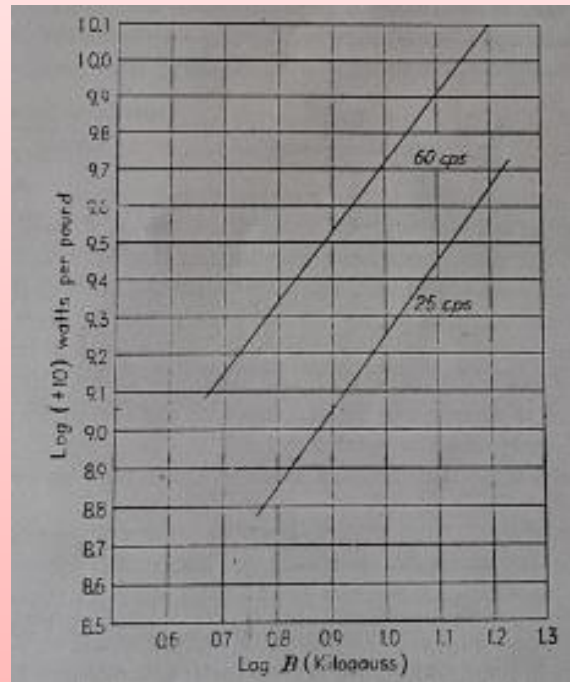
$$P_{h+e} = kB^z \dots\dots\dots 80$$

$$\log P_{h+e} = \log k + z \log B \dots\dots 81$$

- Log P_{h+e} dan log B jika digambarkan berupa garis lurus dengan z sebagai kemiringan (slop).

RUGI-RUGI TRANSFORMATOR

- Gambar 22 kuva ekivalen dari fungsi logaritma gambar 21



Gambar 22. Kurva ekivalen fungsi logaritma gambar 21

RUGI-RUGI TRANSFORMATOR

- Gambar 22 menunjukkan gambar kedua garis dengan nilai z kira-kira sebesar 2.
- Biasanya transformator dirancang bekerja pada tegangan normal pada rapat fluks dititik lengkung kurva magnetisasi transformator.
- Harga rapat fluks maksimum diijinkan :
 - 1.Rugi inti yang ditimbulkan oleh rapat fluks mencapai batas panas yang telah ditentukan.
 - 2.Arus magnetisasi telah melebihi batas titik jenuh inti terlampaui.
- Perancangan transformator setelah nilai rapat fluks (B_m) nilai ditentukan,rugi inti persatuan berat telah diketahui.
- Bila rugi maksimum telah ditetapkan,maka satuan berat transformator telah ditentukan.

RUGI-RUGI TRANSFORMATOR

- Dengan demikian ukuran, volume dan biaya pembuatan inti transformator dapat dihitung.
- Luas penampang inti transformator dan fluks total secara tidak langsung dapat telah dihitung.
- Bila tegangan efektif E dan fluks sudah ditetapkan maka jumlah belitan dapat ditentukan, dengan demikian berat tembaga dan biaya pembuatan belitan dapat dihitung.
- B (rapat fluks), A (luasa penampang inti) dan N (jumlah belitan) tergantung anggaran tersedia dan dibatasi oleh panas yang ditimbulkan oleh rugi inti dan rugi tembaga.

EFISENSI

- Efisiensi transformator :

$$\eta = \frac{\text{Daya keluaran}}{\text{Daya masukan}} \times 100\% \rightarrow \eta = \frac{\text{Daya keluaran}}{\text{Daya masukan} + \text{rugi-rugi}} \times 100\% \dots 82$$

- Rugi-rugi transformator pada suhu 75°C terdiri rugi histerisis dan rugi arus eddy.
- Makin tinggi daya transformator makin besar efisiensinya dan sebaliknya makin kecil daya transformator efisiensinya makin kurang.
- Atau efisiensi dapat ditulis :

$$\eta = \frac{V_2 I_2 \cos \varphi_2}{V_2 I_2 \cos \varphi_2 + P_{h+e} + I_2^2 (R_2 + R_1/a^2)} \times 100\% \dots \dots 83$$

EFISENSI

- Faktor daya beban $\cos\varphi_2$, P_{h+e} rugi histerisis dan rugi arus eddy dan rugi beban $I_2^2(R_2 + R_1/a^2)$.
- Nilai efisiensi maksimum bila $\frac{d\eta}{dI_2} = 0$:

$$[V_2 I_2 \cos\varphi_2 + P_{h+e} + I_2^2(R_2 + R_1/a^2)] V_2 \cos\varphi_2$$

$$= V_2 I_2 \cos\varphi_2 [V_2 \cos\varphi_2 + P_{h+e} + 2I_2(R_2 + R_1/a^2)]$$

$$\text{Dimana } I_2^2 \left(R_2 + \frac{R_1}{a^2} \right) = P_{h+e}$$

- Efisiensi maksimum terjadi jika rugi tembaga (sifatnya variable) dan sama dengan rugi inti (sifatnya tetap)

EFISENSI

- aaa



EFISENSI

- Faktor daya beban

