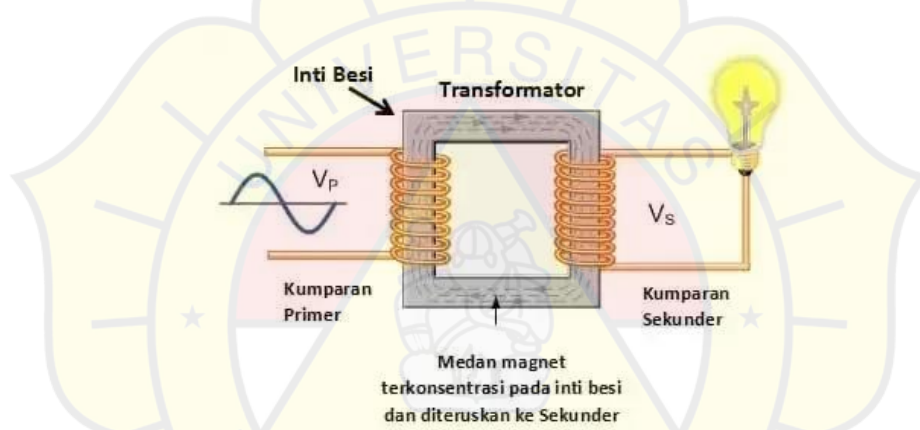


BAB II

TRANSFORMATOR DAN RUGI DAYA TRANSFORMATOR

2.1 Transformator

Trafo adalah salah satu jenis mesin listrik statis yang beroperasi dengan prinsip induksi elektromagnetik untuk mentransfer energi listrik dari satu rangkaian ke rangkaian lainnya tanpa mengubah frekuensi. Biasanya trafo terdiri dari 2 lilitan yaitu lilitan primer dan lilitan sekunder, dan ada juga trafo khusus yang lilitan tersiernya jadi ada 3 lilitan. Bagian utama trafo terdiri dari dua gulungan kawat, keduanya dililitkan pada inti besi lunak. Kedua kumparan mempunyai jumlah lilitan yang berbeda. Kumparan dihubungkan ke sumber listrik AC. (Zuhal, 2000)



Gambar 2. 1 Susunan Transformator

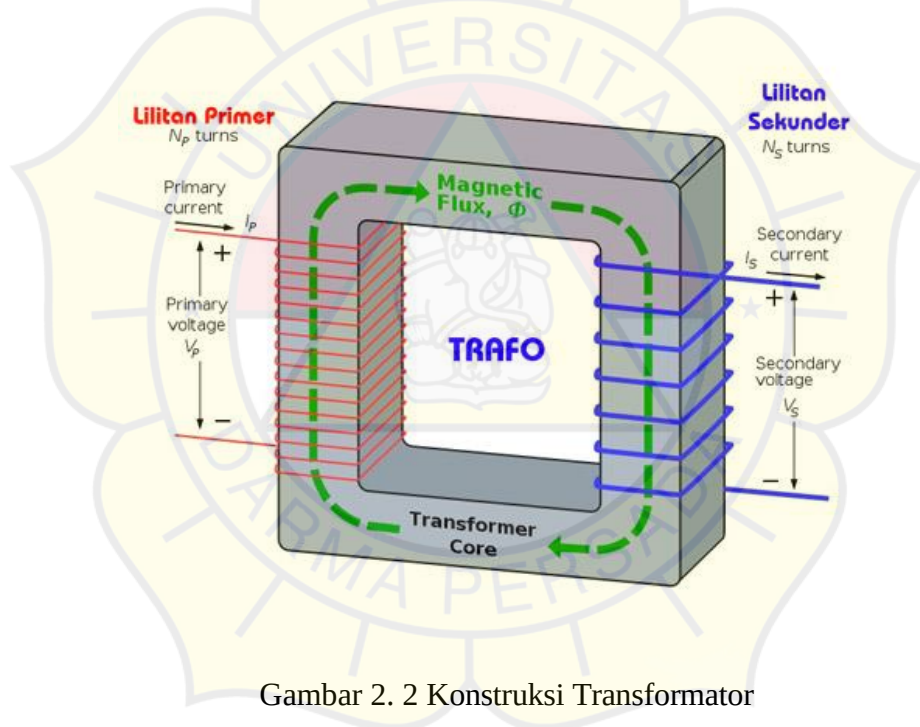
Ditunjukkan secara sederhana pada Gambar 2.1, trafo dibagi menjadi 3 bagian yaitu kumparan primer, kumparan sekunder dan inti besi. Kumparan primer akan dihubungkan ke rangkaian catu daya. Kumparan sekunder dihubungkan ke rangkaian beban. Dan inti besi merupakan bagian dari trafo listrik yang fungsinya untuk mengarahkan seluruh fluks magnet dari kumparan primer ke kumparan sekunder. (Zuhal, 2000)

Biasanya trafo yang digunakan pada stasiun trafo adalah trafo daya 3 fasa, sehingga trafo jenis ini dapat disambung berbentuk bintang, segitiga, atau zigzag. Penggunaan trafo listrik 3 fasa sebaiknya dipertimbangkan karena lebih ekonomis. Karena bobot dan sasisnya jauh berkurang, harganya akan lebih murah dibandingkan trafo listrik satu fasa yang digabungkan menjadi satu. Kerugian dari

trafo daya tiga fasa adalah jika salah satu fasa rusak maka harus diperiksa atau diganti seluruhnya. (Zuhal, 2000)

2.2 Prinsip Kerja Transformator

Trafo 3 fasa pada dasarnya adalah trafo satu fasa yang tersusun dalam 3 blok dan mempunyai 2 kumparan yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder. Ada dua metode utama penyambungan belitan primer, yaitu sambungan delta dan bintang (delta dan bintang). sedangkan belitan sekunder dapat dihubungkan dalam konfigurasi segitiga bintang dan zigzag (Delta, Wye dan zigzag). Ada pula sambungan yang bentuknya khusus, yaitu sambungan segitiga terbuka (sambungan dsb). (Zuhal, 2000)



Gambar 2. 2 Konstruksi Transformator

Trafo tiga fasa banyak digunakan dalam sistem transmisi dan distribusi tenaga karena alasan ekonomis. Trafo tiga fasa secara signifikan mengurangi berat, sehingga biaya dapat dikurangi dibandingkan dengan menggabungkan tiga trafo satu fasa dengan kapasitas pengenalan yang sama. Namun trafo tiga fasa juga mempunyai kelemahan yaitu apabila salah satu fasanya rusak maka harus dipindahkan (mengganti seluruh trafo), namun jika trafo tersebut terdiri dari tiga

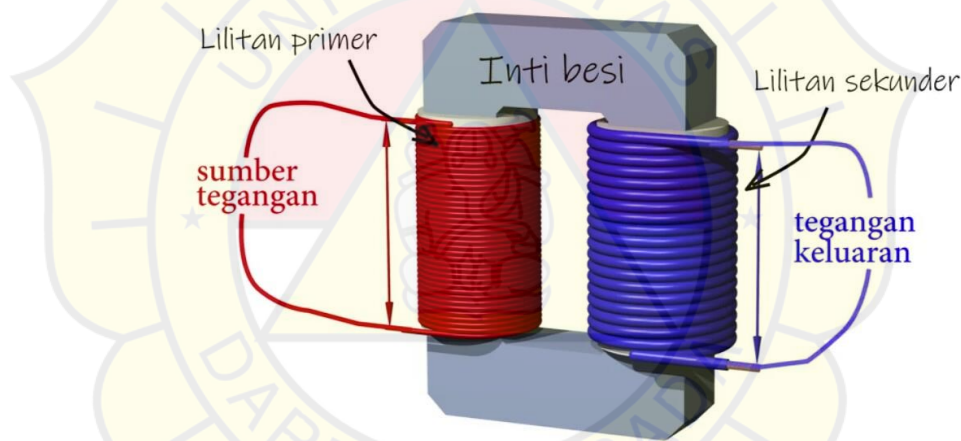
trafo satu fasa maka jika salah satu fasa trafo tersebut rusak, sistem masih dapat beroperasi menggunakan sistem “open delta”. (Zuhal, 2000)

2.3 Kontruksi Dan Komponen Transformator

Berdasarkan KEPDIR No: 0520/K/DIR/2014 buku pedoman trafo tenaga menjelaskan bahwa trafo tenaga terdiri dari beberapa bagian.

2.3.1 Inti Besi

Fungsi inti besi adalah untuk memperlancar arus yang dihasilkan oleh arus yang mengalir melalui kumparan. Terbuat dari lembaran tipis atau pelat komposit besi khusus yang mengandung sedikit silikon. Panel-panel tersebut diisolasi satu sama lain untuk mengurangi panas (seperti kehilangan besi) yang dihasilkan oleh "arus eddy" dan dijepit erat untuk mencegah getaran. (Zuhal, 2000)

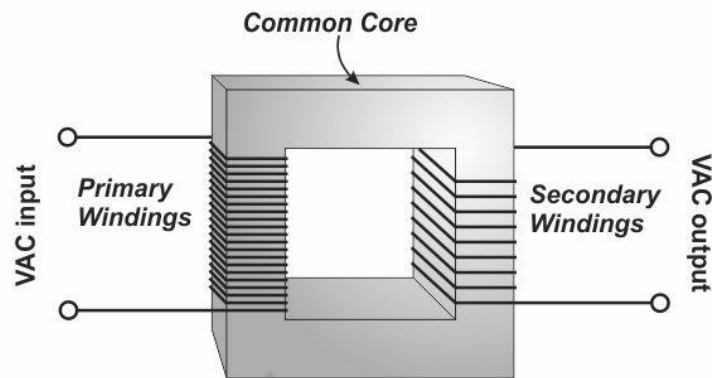


Gambar 2. 3 Inti Besi Transformator

2.3.2 Kumparan Trafo

Beberapa lilitan kawat berinsulasi membentuk kumparan. Kumparan tersebut diisolasi baik dengan inti besi maupun kumparan isolasi padat lainnya seperti karton, pertinax dan lain-lain. (Zuhal, 2000)

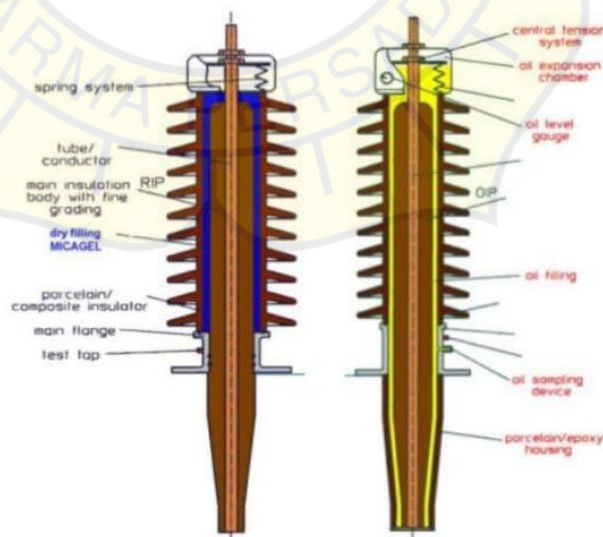
Biasanya, transformator mempunyai kumparan primer dan kumparan sekunder. Jika kumparan primer dihubungkan dengan tegangan atau arus bolak-balik, maka akan muncul arus pada kumparan sehingga menimbulkan tegangan. Jika beban diterapkan pada rangkaian sekunder, arus akan mengalir melalui kumparan untuk mengubah tegangan dan arus. (Zuhal, 2000)



Gambar 2. 4 Kumparan Transformator

2.3.3 Bushing

Bushing merupakan cara menghubungkan kumparan dengan jaringan luar, seperti terlihat pada Gambar 2.5. Busing terdiri dari konduktor berinsulasi. Insulator berperan sebagai insulasi listrik antara konduktor umpan dan badan tangki utama transformator daya. Bahan isolasi yang digunakan pada trafo tegangan 150 kV adalah isolasi minyak dan kertas. Sambungan antara belitan trafo dengan jaringan luar dilakukan melalui bushing yaitu suatu konduktor yang dilapisi lapisan insulasi yang berfungsi sebagai isolator antara konduktor dengan tangki trafo. (Zuhal, 2000)



Gambar 2. 5 Bushing Transformator

2.3.4 Minyak isolasi transformator

Kebanyakan transformator daya, belitan dan intinya direndam dalam minyak transformator, terutama transformator daya daya besar, karena minyak transformator memiliki perpindahan panas dan cairan isolasi listrik (tegangan) yang tinggi) harus berfungsi sebagai cairan pendingin dan isolasi. Oleh karena itu, minyak trafo harus memenuhi persyaratan sebagai berikut: (Mismail & Press, 2011b)

- Memiliki kekuatan isolasi yang tinggi.
- Penyalur panas yang baik dan memiliki berat jenis yang kecil, sehingga partikel-partikel dalam minyak dapat mengendap dengan cepat.



Gambar 2. 6 Minyak Trafo

2.4 Jenis – jenis Transformator

Jenis - jenis transformator yaitu :

2.4.1 Transformator Daya

Trafo daya adalah trafo yang digunakan untuk menyuplai listrik. Transformator daya mempunyai dua fungsi yaitu menaikkan tegangan (step-up) dan menurunkan tegangan (step-down). Trafo daya tidak dapat digunakan langsung untuk mentenagai suatu beban, karena sisi tegangan rendah selalu lebih tinggi dari tegangan beban, sedangkan sisi tegangan tinggi merupakan tegangan transmisi. (Sulasno, 2009)

Trafo dengan fungsi step-up Pada sistem yang tegangan keluarannya lebih tinggi dari tegangan masukan (misalnya pada saat mengirim/mendistribusikan daya) dan sebaliknya, transformator bertindak sebagai step-down jika tegangan

keluaran lebih rendah dari tegangan masukan (misalnya mendistribusikan listrik). (Sulasno, 2009)

2.4.2 Transformator Distribusi

Trafo distribusi pada dasarnya sama dengan trafo daya, bedanya tegangan rendah pada trafo daya versus tegangan tinggi pada trafo distribusi bahkan lebih tinggi. Kedua tegangan pada trafo distribusi tersebut merupakan tegangan distribusi, yaitu distribusi tegangan menengah (TM) dan distribusi tegangan rendah (TR). Trafo distribusi digunakan untuk mendistribusikan energi listrik langsung ke pelanggan. (Sulasno, 2009)

Trafo distribusi yang umum digunakan adalah trafo step down 20.000 V, tegangan fasa sistem JTR adalah 400/380 Volt, karena drop tegangan maka tegangan TR dibuat stabil diatas 400/380 Volt agar tegangannya pada akhir pengisian adalah 380 Volt. (Sulasno, 2009)

2.4.3 Transformator Ukur

Umumnya trafo ini digunakan untuk mengukur arus (I) dan tegangan (V). Trafo ini dirancang khusus untuk mengukur arus dan tegangan yang tidak dapat diukur secara langsung dengan amperemeter atau voltmeter. (Sulasno, 2009)

2.4.4 Transformator Elektronik

Trafo ini mempunyai prinsip yang sama dengan trafo tenaga daya namun mempunyai daya reaktif yang sangat rendah yaitu kurang dari 300 VA dan digunakan untuk keperluan pembuatan rangkaian elektronika. (Sulasno, 2009)

2.5 Ketidakseimbangan Beban Transformator

Yang dimaksud dengan keadaan seimbang adalah suatu keadaan dimana:

- Ketiga vektor arus / tegangan sama besar.
- Ketiga vektor saling membentuk sudut 120° satu sama lain.

Sedangkan yang dimaksud dengan keadaan tidakseimbang adalah keadaan dimana salah satu atau kedua syarat keadaan seimbang tidak terpenuhi. Kemungkinan keadaan tidak seimbang ada 3 yaitu: (Zuhal, 2000)

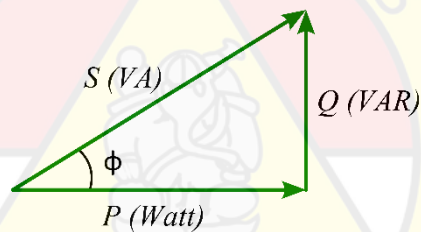
- Ketiga vektor sama besar tetapi tidak membentuk sudut 120° satu sama lain.

- Ketiga vektor tidak sama besar tetapi membentuk sudut 120° satu sama lain.
- Ketiga vektor tidak sama besar dan tidak membentuk sudut 120° satu sama lain.

Ketidakseimbangan antara tiga fasa mengakibatkan arus mengalir pada kabel netral trafo, Karena pada kabel netral trafo mengalir arus, maka rugi daya yang terjadi pada jaringan distribusi sekunder akan makin meningkat. Kerugian yang terjadi akibat beban yang tidak seimbang akan berdampak besar pada pihak konsumen maupun pihak PLN. (Zuhal, 2000)

2.6 Daya Listrik

Daya listrik adalah jumlah energi yang dikonsumsi dalam suatu rangkaian listrik atau rangkaian listrik. Kapasitas listrik menunjukkan jumlah energi listrik yang digunakan per detik. Satuan daya listrik adalah Watt. (Zuhal, 2000)



Gambar 2. 7 Segitiga Daya

Dalam suatu sistem kelistrikan, daya adalah energi yang digunakan untuk melakukan usaha atau kerja, misalnya panas, bunyi, mekanika, cahaya. Jenis daya pada sistem tenaga AC tiga fasa dengan bentuk gelombang sinusoidal adalah daya semu, daya aktif, dan daya reaktif. (Zuhal, 2000)

2.6.1 Daya Aktif (Watt)

Daya aktif adalah daya aktual yang diperlukan untuk beban dan pada umumnya nilai daya aktif lebih kecil dari daya semu. Daya aktif dihasilkan dengan mengalikan daya semu dengan faktor daya ($\cos\phi$). Daya aktif akan berkurang nilainya karena beban listrik menimbulkan daya reaktif. (Zuhal, 2000)

$$P = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos\theta \dots\dots\dots(2-1)$$

Dimana :

P = Daya Aktif (Watt)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus Listrik (Ampere)

$\cos\theta$ = Faktor Daya

2.6.2 Daya Semu (VA)

Daya semu adalah daya yang diperoleh dari perhitungan kelistrikan sebelum diisi muatan listrik. Satuan daya sebenarnya adalah VA (Volt.ampere). Beban yang mempunyai daya semu adalah beban yang mempunyai hambatan (R). Peralatan listrik atau beban resistif pada rangkaian listrik tidak dapat dihemat karena tegangan dan arus mempunyai faktor daya sebesar 1. (Zuhal, 2000)

$$S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \dots\dots\dots(2-2)$$

Dimana :

S = Daya semu (VA)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

2.6.3 Daya Reaktif (VAR)

Daya reaktif merupakan daya yang menyebabkan hilangnya daya, sehingga daya dapat menyebabkan nilai faktor daya (Cosphi) menurun. Satuan daya reaktif adalah VAR. Untuk menghemat daya reaktif, Anda dapat memasang kapasitor pada rangkaian dengan beban induktif. (Zuhal, 2000)

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} \dots\dots\dots(2-3)$$

Dimana :

Q = Daya reaktif (VAR)

S = Daya semu (VA)

P = Daya Aktif (Watt)

2.6.4 Faktor Daya

Faktor daya Umumnya dipahami sebagai sudut fasa atau $\cos\theta$ yang merupakan perbandingan antara daya aktif (W) dan daya semu (VA), yaitu arus dalam rangkaian dibandingkan dengan total arus yang masuk dalam rangkaian. Sudut fasa θ adalah perbedaan fasa antara fasa tegangan dan fasa arus. Misalnya, jika arus tertinggal dari tegangan dan tegangan mendahului arus dengan sudut fasa, maka kita berbicara tentang rangkaian dengan beban induktif, dan jika arus mengalir terlebih dahulu maka kita berbicara tentang rangkaian dengan beban kapasitif dan jika arus sefasa dengan tegangan maka kita berbicara tentang rangkaian dengan beban resistif, dimana $\cos\theta$ sama dengan 1. (Zuhal, 2000)

$$\cos\theta = \frac{P}{\sqrt{3} VI} \dots\dots\dots(2-4)$$

Dimana :

$\cos\theta$ = Faktor Daya

P = Daya Aktif (Watt)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

Pada persamaan di atas di dapat faktor daya yaitu cosinus dari besar sudut fasa θ . Nilai dari faktor daya tidak akan lebih besar dari satu dan semakin mendekati 1 maka akan semakin baik. (Zuhal, 2000)

2.7 Rugi Sistem Daya Transformator

Rugi daya suatu transformator terjadi dalam bentuk rugi-rugi inti atau rugi-rugi besi dan rugi-rugi tembaga pada belitan primer dan sekunder. Untuk mengurangi kehilangan besi maka perlu diambil inti besi yang luas penampangnya cukup besar agar fluks magnet mudah mengalir. Rugi daya merupakan besarnya daya yang hilang pada jaringan, besarnya daya ini sama dengan daya yang ditransmisikan dari sumber dikurangi dengan besarnya daya yang diterima. Pemilihan jenis kabel yang akan digunakan dalam jaringan distribusi merupakan faktor penting yang perlu dipertimbangkan ketika merencanakan suatu sistem kelistrikan. Kabel jenis ini mempunyai nilai resistansi yang rendah sehingga mampu meminimalisir rugi-rugi daya. (Zuhal, 2000)

2.8 Rumus Rugi Transformator

Pada sebuah transformator terdapat perbedaan antara energi masukan dan keluaran yang disebabkan oleh rugi-rugi, khususnya rugi tanpa beban (P_{nol}) dan rugi-rugi netral (P_N). Ketika tidak ada beban atau tidak ada beban, yang terjadi hanyalah rugi-rugi inti. Perubahan beban tidak mempengaruhi rugi-rugi inti sehingga nilai rugi-rugi inti tetap sama dari tanpa beban hingga beban penuh. Secara umum rugi-rugi pada suatu transformator dapat dihitung dengan persamaan berikut: (Mismail & Press, 2011a)

$$\sum \text{rugi} = P_{nol} + P_n \dots \dots \dots (2-5)$$

Dimana :

$\sum \text{rugi}$ = Total Rugi-rugi transformator (Watt)

P_{nol} = Rugi Inti besi transformator (Watt)

P_n = Rugi netral transformator (Watt)

2.8.1 Rugi Daya Pada Arus Netral Transformator

Sebagai akibat dari ketidakseimbangan beban antara tiap-tiap fasa pada sisi sekunder trafo (fasa R, fasa S, fasa T) mengalir arus di netral trafo. Arus yang mengalir pada penghantar netral trafo ini menyebabkan *losses* (rugi-rugi). (Mismail & Press, 2011a)

Rugi-rugi pada penghantar netral trafo ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$P_N = I_N^2 R_N \dots \dots \dots (2-6)$$

Dimana :

P_N = Rugi netral penghantar trafo (watt)

I_N = Arus netral trafo (A)

R_N = Tahanan netral penghantar trafo (ohm)

2.8.2 Rugi Daya Tanpa Beban

Susut trafo tanpa beban (beban nol) terdiri dari susut *eddy current* (P_{EC}) dan susut *hysteresis*. Susut *eddy current* adalah besaran dari *eddy current* yang dihasilkan oleh tegangan induksi pada laminasi sebagai respon terhadap

alternating flux yang merupakan proporsional dari kuadrat ketebalan laminasi, kuadrat dari frekuensi dan kuadrat dari nilai efektif (*rms*) kerapatan flux. Menurut SPLN D3.002-1 2007, susut tanpa beban tidak berpengaruh terhadap arus. (Mismail & Press, 2011a)

Untuk menghitung kemampuan transformator menggunakan data desain, mengacu kepada SPLN D3.002-1 2007, maka rugi transformator karena mengalirnya arus beban melalui belitan transformator, Menurut SPLN D3.002-1 2007, rugi daya tanpa beban untuk transformator distribusi biasanya dinyatakan dalam spesifikasi teknis oleh produsen. Secara umum, untuk transformator 1600 KVA, rugi daya tanpa beban berkisar antara: (Mismail & Press, 2011a)

Tabel 2. 1 Rugi Transformator Fase Tiga

Daya	Rugi Tanpa Beban	Rugi Berbeban Pada 75°
KVA	W	W
1	2	3
25	75	425
51	125	800
100	210	1420
160	300	2000
200	355	2350
250	420	2750
315	500	3250
400	595	3850
500	700	4550
630	835	5400
800	1000	6850
1000	1100	8550
1250	1400	10600
1600	1680	13550
2000	1990	16900
2500	2350	21000

Untuk transformator 1600 KVA, standar rugi daya tanpa beban sebesar 1680 watt, tetapi angka pasti harus diperiksa pada spesifikasi pabrikan yang bersangkutan atau berdasarkan standar yang lebih spesifik dari SPLN atau standar regional lainnya. (Mismail & Press, 2011a)

2.9 Efisiensi Transformator

Untuk setiap mesin atau perangkat listrik, efisiensi ditentukan oleh jumlah kerugian selama pengoperasian normal. Efisiensi mesin yang berputar/bergerak biasanya berada pada kisaran 50-60% karena gesekan dan kehilangan angin. Transformator tidak mempunyai bagian yang bergerak/berputar. oleh karena itu kerugian ini tidak terjadi. (Mismail & Press, 2011a)

Trafo tidak bergerak namun tetap mengalami rugi-rugi meskipun lebih kecil dibandingkan peralatan listrik seperti mesin atau peralatan bergerak lainnya. Transformator daya saat ini rata-rata dirancang dengan efisiensi minimal 95%. Efisiensi transformator adalah perbandingan antara daya keluaran dan daya masukan. Tulis dalam bentuk matematika: (Mismail & Press, 2011a)

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{out} + \sum rugi} \times 100\% \dots\dots\dots(2-7)$$

Dimana :

P_{out} = Daya Keluar (watt)

$\sum rugi$ = Total Rugi-rugi transformator (Watt)

P_N = Rugi netral penghantar trafo (watt)

P_{nol} = Rugi Beban Nol (watt)