

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Relevan

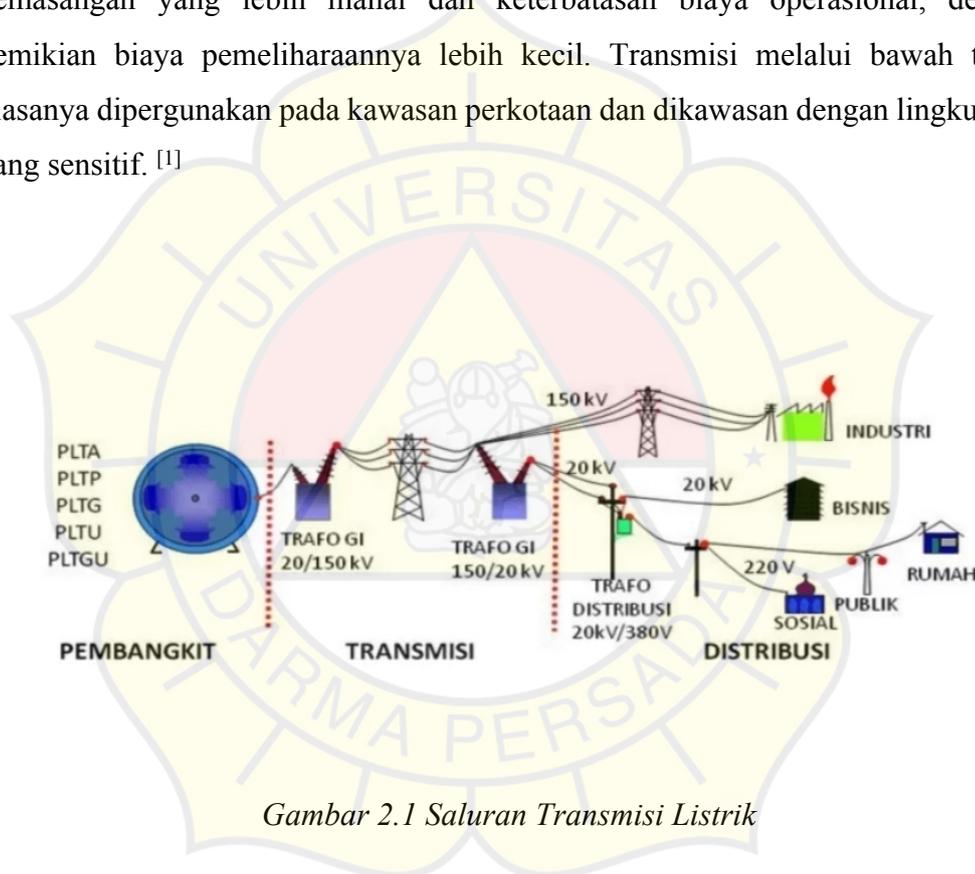
Untuk mendukung skripsi ini penulisan mengambil beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, diantaranya:

Dalam skripsinya Ledi Oktaviani (2017) dari Fakultas Teknik Elektro Ketenaga Listrikan Dan Energi Terbarukan Institut Teknologi PLN yang berjudul Analisis Pengaruh Beban Puncak Transformator Daya di Gardu Induk 150 KV Purbalingga. Hasil penelitian yang dilakukan mendapat dengan hasil, di Gardu Induk 150 KV Purbalingga pada Transformator 1, 2, dan 3. Beban puncak tertinggi pada transformator daya 1 sebesar 27.5 MW, dan efisiensi transformator yaitu 99.68%. Beban Puncak tertinggi pada transformator 2 sebesar 28.5 MW, dan efisiensi transformator yaitu 99.81%. Beban puncak tertinggi pada transformator daya 3 sebesar 16.5 MW, dan efisiensi transformator yaitu 99.80%. Masing-masing transformator memiliki karakteristik ketika terjadi kenaikan beban puncak maka akan terjadi pula kenaikan efisiensi transformator tersebut, namun pada beban puncak tertentu, efisiensi transformator akan mengalami penurunan. ^[2]

Dalam Jurnal yang dilakukan oleh Sheto Pemungkas yang berjudul “Pengaruh Beban Puncak Terhadap Efisiensi Transformator 60 MVA 150/20 kv Unit 1 dan 2 di Gardu Induk Kaliwungu”, dengan hasil penelitian yang didapat yaitu nilai efisiensi transformator pada unit 1 Pembebanan Puncak pada siang hari dengan nilai pembebanan 25,6 Mega Watt adalah 95,61%, pembebanan 42,6 Mega Watt adalah 93,27 % dan beban puncak pada malam hari dengan pembebanan 37 Mega Watt adalah 94,46%, pembebanan 40,7 Mega Watt adalah 93,23%. Dan untuk transformator pada unit 2 Beban Puncak di siang hari dengan pembebanan 8,7 Mega Watt adalah 96,24 %, pembebanan 11,2 Mega Watt adalah 96,24% dan beban puncak pada malam hari dengan pembebanan 8,9 Mega Watt adalah 96,41%, pembebanan 10,7 Mega Watt adalah 96,23%. Maka semakin besar pembebanan transformator maka nilai efisiensi akan makin menurun. ^[1]

2.2 Saluran Transmisi

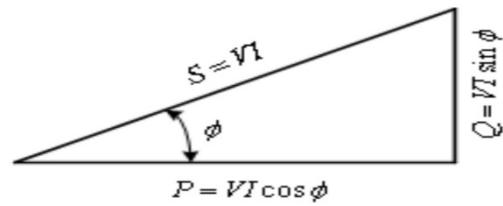
Transmisi tenaga listrik adalah proses penghantaran tenaga listrik dari pusat-pusat pembangkit listrik ke gardu-gardu listrik. Jalur yang terkoneksi untuk memfasilitasi penghantaran ini dikenal sebagai jaringan transmisi listrik. Listrik di transmisikan pada tegangan tinggi antara 70 kv hingga 500 kv untuk meminimalisir kehilangan listrik pada saat akan disalurkan pada jarak tempuh yang sangat jauh dan panjang. Listrik biasanya di transmisikan lewat saluran listrik udara, karena pada jaringan transmisi listrik melewati bawah tanah yang membutuhkan biaya pemasangan yang lebih mahal dan keterbatasan biaya operasional, dengan demikian biaya pemeliharannya lebih kecil. Transmisi melalui bawah tanah biasanya dipergunakan pada kawasan perkotaan dan dikawasan dengan lingkungan yang sensitif. [1]



Gambar 2.1 Saluran Transmisi Listrik

2.3 Daya Listrik

Pengertian dari daya ialah tenaga yang memindahkan melalui upaya. Pada sistem ketenagalistrikan, daya adalah jumlah tenaga listrik yang dipakai untuk melakukan upaya. Daya listrik menjadi dalam satuan watt.



Gambar 2.2 Segitiga Daya

$$P = V \times I$$

Dan daya menjadi 3 macam yaitu:

a) Daya Nyata (P)

Daya Nyata adalah daya yang digunakan untuk melakukan upaya atau tenaga yang sebenarnya. Satuan dari daya nyata ialah watt

$$P = V \cdot I \cdot \cos \phi$$

b) Daya Reaktif (Q)

Daya Reaktif ialah daya yang dikirim oleh suatu komponen reaktif. Satuan pada daya reaktif ialah Var.

$$Q = V \cdot I \cdot \sin \phi$$

c) Daya Semu (S)

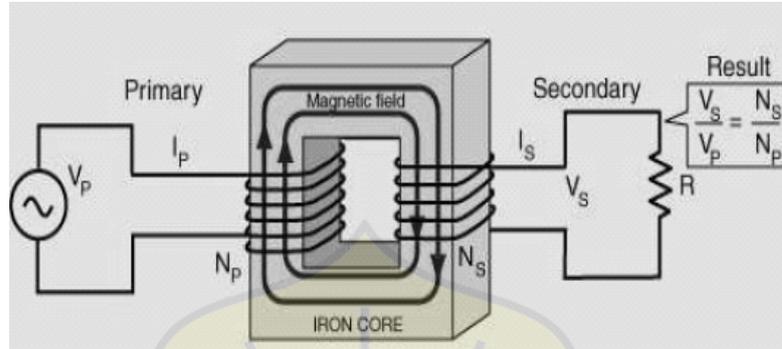
Daya Semu adalah daya yang diperoleh dari hasil perkalian dengan tegangan efektif (V) dan aliran efektif (I).

$$S = V \cdot I$$

Daya Semu juga biasa di sebut daya total atau yang disebut tertulis di nameplate suatu peralatan listrik dengan satuan volt ampere (VA). ^[14]

2.4 Transformator

Transformator merupakan suatu alat listrik yang mengubah tegangan arus bolak-balik dari suatu tingkat ke tingkat yang lain melalui suatu gandingan magnet. Transformator terdiri dari dua belitan kawat yang terpisah satu sama lain yaitu



Gambar 2.3 Teori Dasar Transformator

bagian primer dan bagian sekunder, Yang dibelitkan pada inti besi yang sama. Berdasarkan prinsip-prinsip induksi magnetik dimana perbandingan tegangan antara sisi primer dan sisi sekunder berbanding lurus dengan perbandingan jumlah lilitan dan berbanding dengan perbandingan arusnya [3].

2.5 Prinsip Kerja Transformator

Pada saat kumparan primer pada trafo dihubungkan pada suatu tegangan arus bolak-balik, pergantian pada arus listrik dikumparan primer memunculkan medan magnet yang berubah. Medan magnet yang mentransfomasikan oleh adanya inti besi disalurkan pada inti besi ke kumparan sekunder, oleh karena itu pada sisi kumparan sekunder akan muncul GGL (Gaya Gerak Listrik) induksi. Efek ini dinamakan induktansi timbal balik. Pada rumus Transformator dibawah, pada saat arus listrik sumber tegangan yang menjalar pada kumparan primer tersebut akan berbalik arah (berubah potensial) medan magnet yang diperoleh pada kumparan sekunder akan mentransfigurasi polaritasnya. interaksi antara sisi tegangan primer, banyaknya lilitan primer, tegangan sekunder, dan dapat dilihat dari persamaan dibawah ini: [4]

$$V_P / V_S = N_P / N_S \dots\dots\dots[1.1]$$

Atau

$$V_P / V_S = N_P / N_S = I_P / I_S \dots\dots\dots [1.2]$$

Dimana:

V_p = Tegangan Primer (Volt)

V_s = Tegangan Sekunder (Volt)

N_p = Jumlah Lilitan Primer

N_s = Jumlah Lilitan Sekunder

I_s = Arus sekunder (ampere)

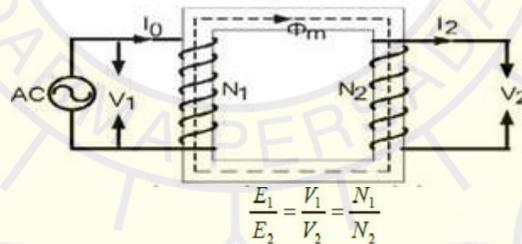
I_p = Arus primer (ampere)

2.6 Karakteristik Transformator

Berdasarkan pada karakteristiknya transformator dapat dibedakan menjadi dua: (1) Keadaan transformator tanpa beban dan (2) Keadaan transformator pada saat beban. Dan juga karakteristik ini harus dapat dipastikan diantara dalam pemilihan karakteristik transformator ini dalam keadaan tanpa beban atau dalam keadaan pada saat beban. [9]

2.6.1 Keadaan Transformator Tanpa Beban

Keadaan transformator tanpa beban seperti pada gambar berikut:



Gambar 2.4 Keadaan Transformator Tanpa Beban

Bila kumparan primer transformator dihubungkan dengan sumber tegangan V_1 yang sinusoidal maka akan mengalir arus primer I_0 yang juga sinusoidal dan dengan menganggap belitan N_1 reaktif murni, I_0 akan tertinggal 90° dari V_1 dan fluks (Φ) sefasa dengan I_0 .

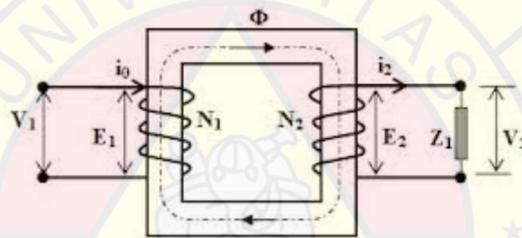
Dengan mengabaikan rugi tahanan dan adanya fluks bocor: Arus primer I_0 yang mengalir dalam kenyataannya bukan merupakan arus induktif murni, tapi terdiri atas komponen:

- Komponen arus pemagnetan (I_m)
- Komponen arus rugi tembaga (I_c)

Fluks yang sinusoidal ini akan menghasilkan tegangan induksi E_1 (hukum Faraday). Dalam hal ini tegangan induksi E_1 mempunyai kebesaran yang sama tetapi berlawanan arah dengan tegangan sumber V_1 . [9]

2.6.2 Keadaan Transformator Berbeban

Kondisi transformator pada saat berbeban seperti pada gambar berikut:



Gambar 2.5 Kondisi Transformator Berbeban

“Apabila kumparan sekunder dihubungkan dengan beban Z_1 , I_2 mengalir pada kumparan sekunder, di mana $I_2 = V_2/Z_1$ dengan $\theta_2 = \text{m factor kerja beban}$. Arus beban I_2 ini akan menimbulkan gaya gerak magnet (GGM) $N_2 I_2$ yang cenderung menentang fluks (Φ) bersama yang telah ada akibat arus pemagnetan I_m ”. Jika ingin fluks bersama itu tidak berbeda nilainya, I_2 harus mengalir pada kumparan primer, I_2 arus beban yang dibandingkan oleh fluks. Sehingga semua arus yang mengalir pada primer menjadi seperti dibawah ini : [9]

$$I_1 = I_0 + I_2 \dots\dots\dots [1.3]$$

Bila rugi besi dihiraukan (I_c dihiraukan) maka: $I_0 = I_m$

$$I_1 = I_m + I_2 \dots\dots\dots [1.4]$$

Supaya fluks tidak berubah dengan sebesar GGL yang diperoleh aliran magnet I_m saja, seperti dibawah ini:

$$N_1 I_n = N_1 I_1 - N_1 I_2 \quad N_1 I_m = N_1 (I_m + I_2) \quad N_2 I_2 \dots \dots \dots [1.5]$$

Sehingga:

$$N_1 I_1 = N_2 I_2 \dots \dots \dots [1.6]$$

$I_0 = I_m$ terbilang kecil

Jadi,

$$N_1 I_1 = N_2 I_2 \text{ atau } I_1 / I_2 = N_2 / N_1^{[9]} \dots \dots \dots [1.7]$$

2.7 Transformator Berdasarkan Fungsinya

a) Transformator Daya

Transformator Daya adalah trafo yang digunakan untuk pemasok daya, Transformator daya mempunyai dua fungsi yaitu menaikkan tegangan listrik (step-up) dan juga menurunkan tegangan listrik (step-down). Transformator Daya digunakan di GI baik itu GI pembangkit dan GI Distribusi dimana trafo tersebut memiliki kapasitas daya yang besar. Di GI Pembangkit, trafo digunakan untuk menaikkan tegangan ke tegangan transmisi (150/500 KiloVolt) bahkan di GI Distribusi trafo dipakai untuk menurunkan pada tegangan transmisi ke tegangan primer (11,6/20 KiloVolt).

b) Transformator Distribusi

Pada dasarnya sama dengan transformator daya, perbedaannya pada trafo daya bila disandingkan pada tegangan tinggi trafo distribusi masih lebih tinggi, yang kedua tegangan pada transformator distribusi merupakan diperuntukan pada tegangan menengah dan tegangan rendah. Trafo distribusi dipakai untuk mendistribusikan energi listrik ke pelanggan langsung.

Trafo distribusi pada umumnya yang dipakai adalah trafo step down dengan tegangan 20/0,4 KV, tegangan perfasa sistem Jaringan Tegangan Rendah adalah 380 volt, karena terjadi penurunan tegangan maka Jaringan Tegangan Rendah dibuat 380 volt supaya tegangan pada ujung beban berubah menjadi 380 volt. [4]

c) Transformator Tegangan (Potensial Transformator)

Merupakan suatu trafo yang dipakai untuk mengambil data masukan seperti besaran tegangan dengan cara melihat dari rasio belitan primer atau sekunder. Trafo Potensial biasanya dipakai untuk pengukuran tidak langsung beban yang mengalir terhadap pelanggan kemudian membatasinya. Dan juga besaran pada tegangannya diambil sebagai data masukkan peralatan protek jaringan.

d) Transformator Arus (Current Transformator)

Trafo yang dipakai untuk mengambil data masukan seperti besaran arus dengan cara melihat dari rasio belitan pada belitan primer atau sekunder. Trafo Arus biasanya dipakai untuk pengukuran tidak langsung beban arus yang mengalir terhadap pelanggan kemudian membatasinya. Dan juga besaran pada arusnya sebagai data masukkan peralatan protek jaringan. [4]

2.8 Beban Listrik

2.8.1 Klasifikasi Beban Listrik

Biasanya beban yang disediakan oleh sistem distribusi tenaga Listrik menjadi beberapa sektor, yaitu sektor perumahan, sektor industry, sektor komersial dan sektor usaha. Masing-masing sektor beban yang berbeda, sebab hal ini berkaitan dengan pola konsumsi energi pada masing-masing konsumen disektor tersebut. Berdasarkan jenis konsumsi energi Listrik, secara garis besar , beban Listrik dapat diklasifikasikan ke dalam :

- a) Beban Rumah Tangga
- b) Beban Komersial
- c) Beban Industri
- d) Beban Fasilitas Umum [15]

2.8.2 Karakteristik Beban Litrik

Pada sistem litrik arus bolak-balik (AC) karakteristiknya dapat menjadi 3 macam klasifikasinya, yaitu : [15]

- a) Beban Resistif (R)

Ialah salah satu beban yang termasuk dalam komponen tahanan ohm (Ω) saja, semisal pada elemen pemanas, lampu pijar dan televisi. Beban macam ini hanya memakai beban aktif dan memiliki factor daya yang sama. Tegangan dan arus sefasa. Persamaan daya seperti dibawah ini:

$$P = V \cdot I \dots\dots\dots[1.8]$$

b) Beban Induktif (L)

Merupakan beban yang meliputi suatu kumparan kawat yang dililitkan pada inti besi, sebagaimana koil, transformator, dan selenoida. Beban ini berefek pada perpindah fasa pada setiap arus sehingga bersifat menjauh sebesar 90° terhadap suatu tegangan. Dan ini dapat mengakibatkan energi yang tersimpan sebuah medan magnetis yang akan berefek fasa arus berpindah menjadi menjauh terhadap tegangan. Beban yang type seperti ini mengambil daya aktif dan daya reaktif. Daya aktif dapat dilihat untuk beban induktif seperti dibawah ini :

$$P = V \cdot I \cos \phi \dots\dots\dots[1.9]$$

c) Beban Kapasitif (C)

Beban kapasitif adalah beban yang mempunyai kemampuan kapasitansi atau kemampuan untuk menyimpan tenaga yang dihasilkan dari elektrik pada suatu jaringan. Elemen ini dapat mengakibatkan aliran mendahului pada tegangan. Beban macam seperti ini mengambil daya aktif dan

mengeleminasikan daya reaktif. Persamaan pada daya aktif untuk ke beban induktif adalah sebagai berikut dibawah ini:

$$P = V \cdot I \cos \phi \dots \dots \dots [1.10]$$

2.9 Beban Puncak

Kepadatan beban selalu dipakai sebagai ukuran dalam memastikan keperluan Listrik. Sesuatu daerah kepadatan beban satuannya dapat berupa MVA/km² maupun KVA/m² dan umumnya satuan yang dipakai adalah MVA/km². Beban puncak (kebutuhan maksimum) didefinisikan sebagai beban kebutuhan terbesar yang terjadi selama periode tertentu. Periode tertentu dapat berupa sehari, sebulan maupun setahun. Periode harian, yaitu variasi pembebanan trafo distribusi selama sehari. Selanjutnya beban puncak harus diartikan beban rata-rata selama selang waktu tertentu, Dimana kemungkinan terjadi beban tersebut. Contoh beban puncak harian dari transformator distribusi Dimana beban puncak nya selama selang waktu 1 jam, yaitu jarak pukul 17.00 dan pukul 18.00. nilai rata-rata beban puncak tersebut dapat berbeda-beda sesuai kondisi pada saat beban puncak.

Harus diingat disini bahwa kebutuhan puncak (kebutuhan max) bukan merupakan nilai sesaat, akan tetapi nilai rata-rata selama selang waktu tertentu, biasanya selang waktu tersebut adalah 15 menit, 30 menit atau 60 menit. [15]

2.10 Perhitungan Arus Beban Pada Transformator

Transformator pada daya yang berjalan menandakan bahwa kapasitas transformator tersebut, maka dapat dirumuskan seperti dibawah ini:

$$P = V I \cos \phi \dots \dots \dots [1.11]$$

Dan $\cos \phi$ adalah faktor kerja

Dari persamaan diatas dapat juga sebagai berikut:

$$S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \dots \dots \dots [1.12]$$

Jadi:

$$\cos \phi = \frac{P(W)}{S(VA)} \dots \dots \dots [1.13]$$

Dimana:

$P = \text{Daya (W)}$

$S = \text{daya semu (VA)}$

$V = \text{tegangan (V)}$

$I = \text{arus (A)}$

Menghitung arus beban penuh (I_n) dan arus rata-rata (I_{avr}) dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$I_{\text{beban penuh}} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V} \dots\dots\dots [1.14]$$

$$I_{\text{rata-rata}} = \frac{IS+IR+IT}{3} \dots\dots\dots [1.15]$$

Dimana:

$I_{\text{beban penuh}} = \text{Arus beban penuh (A)}$

$S = \text{Daya semu transformator (VA)}$

$I_{\text{rata-rata}} = \text{Arus rata-rata (A)}$

$I = \text{Arus per fase (A)}. [13]$

Arus dari susunan listrik ialah untuk meminimalisir berbagai macam kerugian walaupun dalam nilai keseluruhan yaitu kecil, dan bisa jadi dengan harga yang sangat besar. Macam-macam rugi-rugi transformator diantaranya: [3]

2.10.1 Rugi-rugi Pada Inti (Besi)

Rugi-rugi inti (P_i) dapat di golongan kepada dua bagian yaitu rugi histerisis dan rugi eddy current (arus pusar), Jadi rugi inti dapat dituliskan dalam persamaan:

$$P_i = P_h + P_e \dots\dots\dots [1.16]$$

Dimana:

$P_i = \text{rugi inti (watt)}$

$P_h = \text{rugi histerisis}$

P_e = rugi eddy current. [3]

Rugi histerisis (P_h) adalah yang berakibatkan oleh arus bolak-balik pada inti besi yang dapat dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut:

$$P_h = K_h \cdot f \cdot B^n \text{ maksimal} \dots\dots\dots [1.17]$$

Dimana:

K_e = konstanta eddy current

F = frekuensi (Hz). [10]

B_{maks} = kepadatan fluks maksimum (weber)

Berdasarkan SPLN TA 1997 tentang spesifikasi Transformator untuk kapasitas 60 MVA memiliki Rugi Besi/inti (P_i) sebesar 38 kw dan Rugi Tembaga Beban Penuh (P_{cu}) 220 kw. [12]

2.10.2 Rugi Eddi Current (Arus Besar)

Rugi yang disebabkan oleh arus pusar pada inti besi yang persamaannya dapat dilihat seperti dibawah ini: [10]

$$P_e = K_e \cdot f^2 \cdot B^n \text{maks} \dots\dots\dots [1.18]$$

Maka :

P_e = rugi eddy current

K_e = konstanta eddy current

F = frkuensi (Hz)

B_{maks} = kepadatan fluks maksimum (weber)

2.10.3 Rugi-rugi Tembaga (PCU)

Rugi-rugi tembaga terjadi karena resistansi dalam belitan, Rugi-rugi tembaga akan berbanding lurus dengan besarnya beban sehingga meningkatnya arus beban akan meningkatkan rugi-rugi tembaga juga (Linsley, 2002), Rugi-rugi tembaga ini dapat di tuliskan dalam persamaan sebagai berikut: [3]

$$P_{cu} = I^2 R \dots\dots\dots [1.19]$$

Dimana: P_{cu} = rugi-rugi tembaga

I = arus (Ampere)

R = tahanan (Ohm)

2.11 Efisiensi Transformator

Transformator tidak bergerak, tetapi tetap memiliki rugi-rugi walaupun tidak sebesar pada peralatan listrik seperti mesin-mesin atau peralatan bergerak lainnya, Transformator daya saat ini rata-rata dirancang dengan besar efisiensi minimal 95%. (Ermawanto, 2013). [3]

Efisiensi transformator adalah perbandingan antara daya output dengan daya input. Secara matematis ditulis :

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{P_{out}}{P_{out} + \sum \text{Rugii}} \times 100\% \dots\dots\dots [1.20]$$

Rugi-rugi Total dapat memakai persamaan dibawah ini:

$$\sum \text{Rugi} = P_{c.u} + P_i \dots\dots\dots [1.21]$$

Dimana:

$\sum \text{Rugi}$ = rugi total

η = efiseinsi

P_{out} = daya out (watt)

P_{in} = daya in (watt)

$P_{c.u}$ = rugii tembaga

P_i = rugi beusi [3]

Standart SPLN TA 1997 untuk seberapa besar yang sesuai standart dari efisiensi yaitu 99.57%. [12]