

Pemetaan Detail Bahan Tambang Galian C Kabupaten Situbondo Tahun 2008

Kajian Hidrograf Banjir Rancangan Sungai Bedadung Menggunakan Metode Nakayasu, Gamma I dan Snyder

Perancangan Prosesor Sederhana dengan *Field Programmable Gate Array*

Analisa Efisiensi Transformator Daya 20 MVA Gardu Induk 150 KV Jember Terhadap Perkembangan Beban *Feeder*

Studi Perancangan *Rapid Sand Filter* Sebagai Pengolahan Lanjutan dalam Menurunkan Kadar Besi Air Tanah

Pengaruh dari Kecepatan Pemakanan Terhadap Getaran Torsional dari Sebuah Benda Kerja dengan Merujuk pada Satu Lokasi Kontak.

Desain Analisa Kebutuhan Kendaraan Angkutan Umum di Kabupaten Jember

Analisi Plastik dengan *Linier Programming*

Pengaruh Variabel-Variabel dalam *Setting* Mesin Extruder Terhadap Kualitas Pita Plastik *Polypropelene*

Jurnal  
Teknologi

Volume :  
02

Nomor :  
10

Halaman :  
1 - 104

Desember  
2009

ISSN  
1858-0092

# ANALISA EFFISIENSI TRANSFORMATOR DAYA 20 MVA Gardu Induk 150 KV Jember Terhadap Perkembangan Beban Feeder

Dodi Setiabudi\*)

## ABSTRAK

Effisiensi suatu transformator antara lain ditentukan oleh besarnya beban yang meningkat baik dari bulan ke bulan maupun dari tahun ke tahun. Oleh karena itu diperlukan suatu studi mengenai optimalisasi efisiensi transformator yang ada di gardu induk 150 KV Jember, sehingga dari studi tersebut dapat ditentukan efisiensi transformator yang optimal sesuai dengan perkembangan beban yang akan datang. Dengan cara mengestimasi beban yang akan datang yang berupa arus (Ampere) di sisi sekunder, maka arus (Ampere) di sisi primer dapat diketahui, sehingga daya masukan (Watt) di sisi primer dan daya keluaran (Watt) di sisi sekunder dapat ditentukan. Jadi rugi-rugi transformator dapat diketahui. Dengan diketahui daya masukan, daya keluaran, rugi-rugi transformator, maka efisiensi transformator dapat ditentukan. Dari hasil estimasi beban diperoleh juga beberapa efisiensi, sehingga dapat ditentukan keadaan efisiensi saat optimal tersebut terjadi terhadap perkembangan beban yang akan datang. Hasil dari penelitian ini adalah pada keadaan efisiensi maksimal aliran daya trafo 20 MVA pd siang hari adalah 6,293313079 MVA dan pada malam hari adalah 9,171572756 MVA dengan nilai efisiensi = 88,83340979 % saat siang hari dan 88,83400525 % saat malam hari, sedang efisiensi nominalnya yaitu sebesar 99,91341995 %.

Kata kunci : gardu induk, transformator, rugi-rugi, beban feeder

## PENDAHULUAN

Pembangunan yang pesat di segala bidang dewasa ini khususnya kebutuhan akan tenaga listrik baik untuk industri, perumahan maupun untuk komersial merupakan salah satu kebutuhan yang utama. Kabupaten Jember dengan masyarakat yang terus berkembang menyebabkan beban yang harus dipenuhi P.T. PLN (Persero) Distribusi dan Transmisi cabang Jember meningkat pula. Nilai efisiensi suatu transformator pada umumnya ditentukan oleh faktor besarnya beban, Dengan demikian peningkatan beban dari tahun ke tahun turut mempengaruhi efisiensi ini. Perubahan beban puncak maupun rata – rata yang terjadi tidak diikuti dengan perkembangan Gardu Induk akan menimbulkan ketidakseimbangan. Oleh karena itu perubahan beban harus senantiasa dipantau untuk mengetahui apakah trafo – trafo pada gardu Induk masih cukup mampu menanggung beban yang ada. Berdasarkan alasan diatas, maka penelitian ini dilakukan guna menganalisa seberapa besar tingkat optimal penggunaan trafo terhadap beban yang ada di Gardu Induk , dengan harapan dari analisa ini dapat ditentukan penjaminan kualitas dan kuantitas untukantisipasi perkembangan beban-beban pada masa yang akan datang. Antisipasi yang dilakukan dengan menambah jaringan distribusi dengan tetap menjaga kualitas dan kuantitas pelayanan kepada konsumen dalam arti aman, handal dan seekonomis mungkin. Transformator daya sebagai salah satu komponen penting dalam hal transmisi tenaga listrik yang berfungsi untuk menyalurkan energi listrik ke konsumen memiliki faktor yang mempengaruhinya yaitu :

1. Beban listrik baik beban puncak maupun rata-rata yang ditanggung Gardu Induk khususnya Transformator setiap tahunnya meningkat.
2. Terjadi ketidakseimbangan antara kemampuan efisiensi transformator dengan beban listrik yang ada.

## TINJAUAN PUSTAKA

### Transformator daya

Transformator daya merupakan suatu alat listrik statis, yang dipergunakan untuk memindahkan daya dari satu rangkaian ke rangkaian lain, dengan mengubah tegangan, tanpa mengubah frekuensi (Kadir.,1998). Pada umumnya transformator ditempatkan di gardu induk (GI) dan diperlukan untuk meningkatkan tegangan listrik dari tegangan generator menjadi tegangan transmisi, biasanya generator mempunyai tegangan menengah (TM) sedangkan saluran.

### Hubungan Rugi – rugi dengan Transformator Berbeban

Bila beban dihubungkan ke rangkaian sekunder yang mengalirkan suatu arus  $I_s$ , suatu ggm (gaya gerak magnet) sekunder sebesar  $I_s N_s$  amper gulungan dibangkitkan dan arus dialirkan dari primer (Neidle.,1982)

Dengan kata lain, apabila kumparan sekunder dihubungkan dengan beban  $Z_L$ , arus  $I_2$  mengalir pada kumparan sekunder, dimana  $I_2 = \frac{V_2}{Z_L}$  dengan  $\phi_2 =$  faktor kerja beban. Arus yang mengalir ke beban  $I_2$  akan menimbulkan gaya gerak magnetik (ggm)  $N_2 \times I_2$  yang cenderung menentang fluks ( $\phi$ ) bersama yang telah ada akibat arus permagnetan  $I_m$ . Agar fluks bersama itu tidak berubah nilainya, pada kumparan primer harus mengalir arus  $I'_2$ , yang menentang fluks yang dibangkitkan oleh arus beban  $I_2$ , hingga keseluruhan arus yang mengalir pada kumparan primer menjadi :

$$I_1 = I_0 + I'_2 \dots\dots\dots(1)$$

bila rugi besi diabaikan ( $I_c$  diabaikan) maka  $I_0$  sama dengan  $I_m$  maka  $I_0$  sama dengan  $I_m$  maka :

$$I_1 = I_m + I'_2 \dots\dots\dots(2)$$

Untuk menjaga agar fluks tetap tidak berubah sebesar ggm yang dihasilkan oleh arus pemagnetan  $I_m$  saja, berlaku hubungan :

$$N_1 \times I_m = N_1 \times I_1 - N_2 \times I_2 \dots\dots\dots(3)$$

$$N_1 \times I_m = N_1 (I_m + I'_2) - N_2 \times I_2 \dots\dots\dots(4)$$

sehingga :

$$N_1 \times I'_2 = N_2 \times I_2 \dots\dots\dots(5)$$

Karena nilai  $I_m$  dianggap kecil maka  $I'_2 = I_1$

Jadi :

$$N_1 \times I_1 = N_2 \times I_2 \dots\dots\dots(6)$$

atau

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} \dots\dots\dots(7)$$

## METODOLOGI PENELITIAN

Transformator yang diamati adalah yang penggunaan untuk beban puncaknya mendekati kapasitas dayanya, dan penulis memilih transformator II kapasitas 20 MVA dengan tingkat pembebanan yang paling tinggi diantara kedua transformator lainnya yaitu sebesar 87,002%.

Adapun berikut langkah – langkah penelitian yang penulis lakukan adalah:

### 1. Pengambilan data

Data – data yang diambil adalah :

- a. Arus beban puncak sisi sekunder ( $I_s$ ).
- b. Daya aktif beban (MW).
- c. Daya reaktif beban (MVAR).
- d. Arus setting beban total outgoing transformator II yang masuk ke feeder Tegal Boto dan Pakusari.
- e. Tegangan aktual primer dan sekunder transformator II pada pukul 10.00 dan 19.00 dengan nilai rata – rata sebesar :
  1. Tegangan aktual primer ( $V_p$ ) pukul 10.00 dan 19.00 = 150 KV.
  2. Tegangan aktual sekunder ( $V_s$ ) pukul 10.00 = 20,1 KV dan pada pukul 19.00= 20,45 KV.
- f. Data harga nominal transformator II yang ada meliputi :
  1. Tegangan sisi primer.
  2. Tegangan sisi sekunder.
  3. Arus nominal sisi primer.
  4. Arus nominal sisi sekunder.
  5. Impedansi.

### 2. Optimasi Data

#### a. Estimasi

1. Mengestimasi data arus beban puncak pada sisi sekunder transformator untuk lima tahun ke depan dengan parameter berikut yaitu:
  - a. Transformator yang telah ditentukan (Transformator II).
  - b. Siang hari.
  - c. Malam hari.
2. Mengestimasi data monitoring beban puncak, faktor daya, daya reaktif per trafo G.I. dan feeder sebagai referensi untuk analisa optimalisasi efisiensi transformator daya terpasang.

#### b. Perhitungan

1. Analisa perhitungan dilakukan dari data spesifikasi transformator II untuk memperoleh :
  - a. Impedansi sisi tegangan tinggi.
  - b. Impedansi sisi tegangan rendah.
  - c. Tegangan induksi (Emf) pada sisi sekunder.

d. Nilai transformasi trafo terpasang. (K)

2. Perhitungan dengan nilai transformasi untuk optimasi transformator II yang ada diperoleh :

a. Arus sisi primer ( $I_p = K \cdot I_s$ ) dimana  $I_s$  didapat dari hasil estimasi parameter – parameter berikut yaitu Transformator II, siang hari, dan malam hari.

b. Nilai daya input di sisi primer.

c. Nilai daya output di sisi sekunder.

d. Nilai rugi – rugi total.

e. Nilai efisiensi.

3. Menghitung nilai efisiensi transformator II pada keadaan nominal.

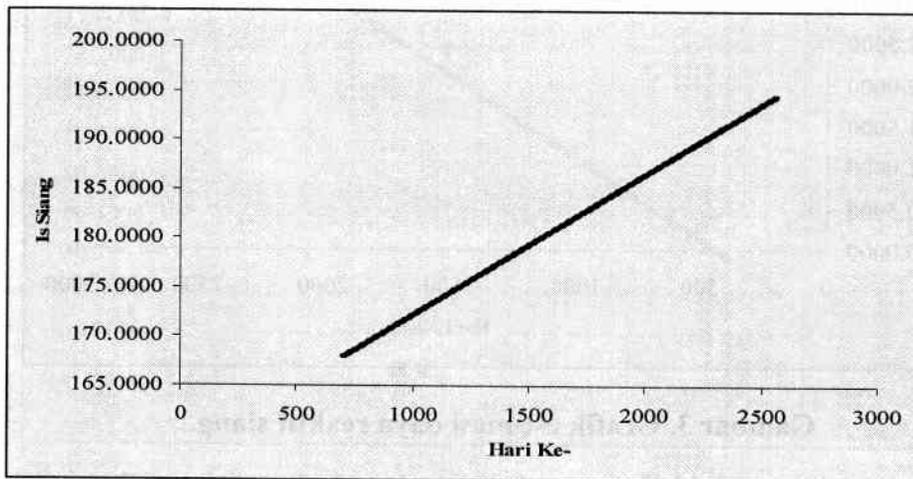
### c. Analisa

1. Menganalisa hasil nilai efisiensi transformator II pada keadaan nominal dan hasil estimasi dalam rangka optimalisasi transformator gardu induk untuk perkembangan beban feeder mendatang.

2. Menentukan kapan saat efisiensi transformator II mencapai nilai paling optimal berdasarkan hasil perhitungan diatas.

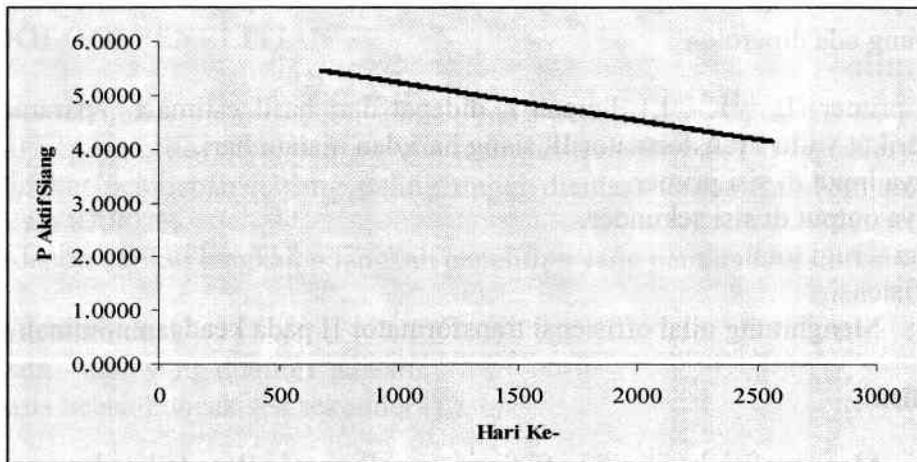
3. Dengan diketahui kapan terjadinya nilai paling optimal dapat ditentukan aliran daya pada keadaan optimal.

## HASIL DAN PEMBAHASAN



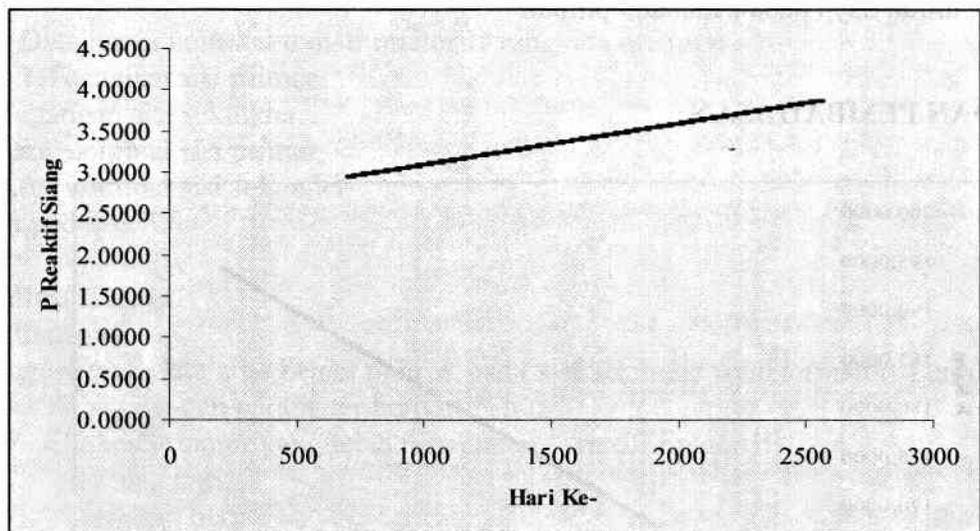
Gambar 1. Grafik estimasi arus sekunder.

Dari data arus sekunder siang hari untuk lima tahun kedepan didapatkan nilai yang semakin naik dengan nilai minimum adalah 167,9443 ampere dan nilai maksimumnya 194,4708 ampere.



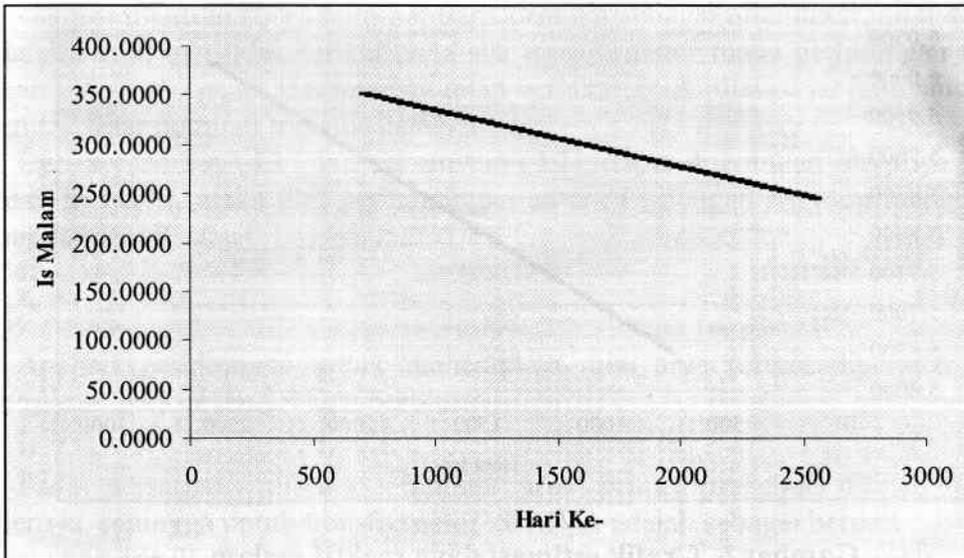
**Gambar 2. Grafik estimasi daya aktif siang.**

Dari data daya aktif siang untuk lima tahun kedepan didapatkan nilai yang semakin turun dengan nilai minimum adalah 4,1422 MW dan nilai maksimumnya 5,4407 MW.



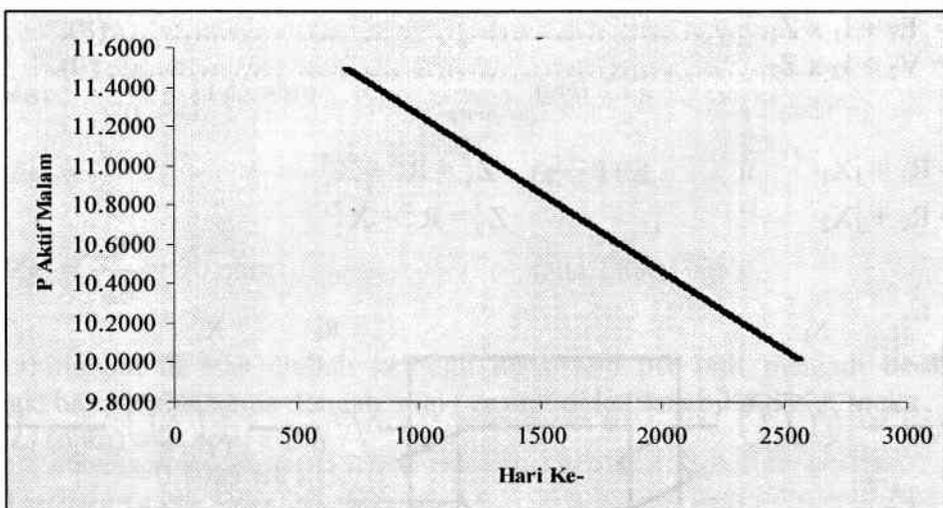
**Gambar 3. Grafik estimasi daya reaktif siang.**

Dari data daya reaktif siang untuk lima tahun kedepan didapatkan nilai yang semakin naik dengan nilai minimum adalah 2,9371 MVAR dan nilai maksimumnya 3,8646 MVAR.



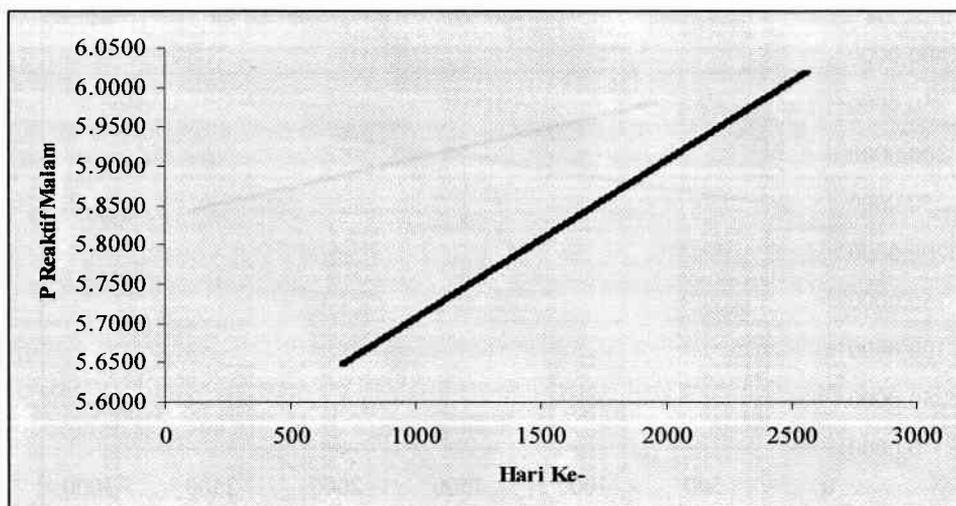
**Gambar 4. Grafik estimasi arus sekunder malam.**

Dari data arus sekunder malam untuk lima tahun kedepan didapatkan angka yang semakin turun dengan nilai minimum adalah 244,3125 ampere dan angka maksimumnya 351,1605 ampere.



**Gambar 5. Grafik estimasi daya aktif malam.**

Dari data daya aktif malam untuk lima tahun kedepan didapatkan angka yang semakin turun dengan angka minimum adalah 10,0097 MW dan angka maksimumnya 11,4937 MW.



**Gambar 6. Grafik estimasi daya reaktif malam.**

Dari data daya reaktif malam untuk lima tahun kedepan didapatkan nilai yang semakin naik dengan nilai minimum adalah 5,6475 MVAR dan nilai maksimumnya 6,0185 MVAR.

**Analisis Perhitungan Arus Listrik di Sisi Primer**

Adapun beban transformator pada sisi sekunder atau pada lingkaran kedua selalu berubah-ubah baik di siang hari maupun malam hari, hal ini dapat dilihat dari data arus siang maupun malam hari yang selalu berubah-ubah.

Dengan menggunakan persamaan tegangan :

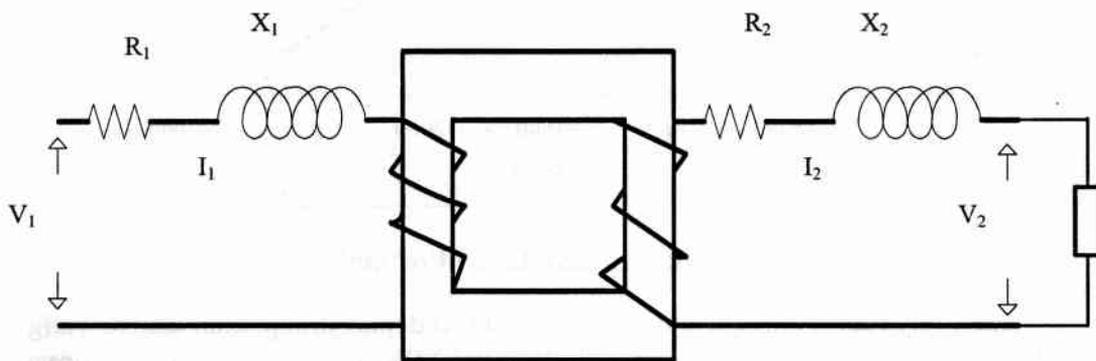
$$V_1 = E_1 + I_1 \times Z_1 \dots\dots\dots (8).$$

$$E_2 = V_2 + I_2 \times Z_2 \dots\dots\dots (9).$$

dimana :

$$Z_1 = R_1 + jX_1 \quad u \quad ; \quad Z_1^2 = R_1^2 + X_1^2$$

$$Z_2 = R_2 + jX_2 \quad ; \quad Z_2^2 = R_2^2 + X_2^2$$



**Gambar 7. Transformator berbeban.**

Dengan memilih harga nominal transformator sebagai nilai dasar, nilai dasar per unit adalah sama, dan tidak terikat pada sisi transformator mana perhitungan tersebut dilakukan ( $Z_{L(pu)} = Z_{H(pu)}$ ). Hal tersebut tetap berlaku untuk nilai dasar lain yang dipilih (selain nilai dasar nominal transformator).

Dari persamaan (4.1) dan persamaan (4.2), dapat ditentukan besarnya nilai  $E_1$  (volt) dan  $E_2$  (volt), maka dari perbandingan antara  $E_2$  dengan  $E_1$  yang menghasilkan nilai transformasi K atau :

$$K = \frac{E_2}{E_1} \dots\dots\dots(10).$$

Analisis perhitungan untuk menentukan nilai arus primer diperoleh dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$I_1 = I_2^1 = K \times I_2 \dots\dots\dots(11).$$

Pada persamaan di atas, dimana arus primer tersebut dilihat dari sisi sekundernya, sehingga untuk transformator 20 MVA adalah sebagai berikut :

Dari data yang ada di peroleh :

- Kapasitas = 20 MVA.
- Tegangan sisi primer = 150 KV.
- Tegangan sisi sekunder = 20 KV.
- Arus nominal primer = 77 Ampere.
- Arus nominal sekunder = 577 Ampere.
- Impedansi = 10,25 %.
- = 0,1025 pu.

maka :

$$Z_{B1} = \frac{V_1}{V_2} \quad \text{(sisi TT).}$$

$$Z_{B1} = \frac{150^2}{20} = 1125 \text{ ohm} \quad \text{(sisi TT).}$$

$$Z_{B2} = \frac{V_1}{V_2} \quad \text{(sisi TR).}$$

$$Z_{B2} = \frac{20^2}{20} = 20 \text{ ohm} \quad \text{(sisi TR).}$$

hasil perhitungan di atas diubah kembali ke sistem per unit menjadi besaran ohm mengingat bahwa nilai sama dengan nilai per unit di kalikan nilai dasar, maka :

$$\begin{aligned} Z_1 \text{ (ohm)} &= Z_1 \text{ (pu)} \times Z_{B1} \\ &= 0,1025 \times 1125 \\ &= 115,3125 \text{ ohm (sisi TT)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_2 \text{ (ohm)} &= Z_2 \text{ (pu)} \times Z_{B2} \\ &= 0,1025 \times 20 \\ &= 2,05 \text{ ohm (sisi TR).} \end{aligned}$$

dengan demikian :

$$\begin{aligned} V_1 &= E_1 + I_1 \times Z_1 \\ E_1 &= V_1 - I_1 \times Z_1 \\ &= 150000 \text{ V} - 77 \text{ amp} \times 115,3125 \text{ ohm} \\ &= 150000 - 8879,0625 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 141120,9375 \text{ volt.} \\
 E_2 &= V_2 + I_2 \times Z_2 \\
 &= 20000 \text{ V} + 577 \text{ amp} \times 2,05 \text{ ohm} \\
 &= 20000 + 1182,85 \\
 &= 21182,85 \text{ volt.}
 \end{aligned}$$

Sehingga nilai transformasi dari transformator adalah :

$$\begin{aligned}
 K &= \frac{E_2}{E_1} \\
 &= \frac{21182,85}{141120,9375} \\
 &= 0,1501
 \end{aligned}$$

maka arus primer dapat dihitung seperti dibawah ini :

Untuk siang hari dimana arus sekunder ( $I_s$ ) sama dengan 167,9443 ampere, maka arus primer ( $I_p$ ) sebesar :

$$\begin{aligned}
 I_p &= K \times I_s \\
 I_p &= 0,1501 \times 167,9443 \text{ amp} \\
 &= 25,20843943 \text{ ampere.}
 \end{aligned}$$

Untuk malam hari dimana arus sekunder ( $I_s$ ) sama dengan 351,1605 ampere, maka arus primer ( $I_p$ ) sebesar :

$$\begin{aligned}
 I_p &= K \times I_s \\
 I_p &= 0,1501 \times 351,1605 \text{ amp} \\
 &= 52,70919105 \text{ ampere.}
 \end{aligned}$$

Dengan cara perhitungan yang sama dengan diatas dapat diperoleh besarnya arus disisi primer keseluruhan yang sesuai dengan peramalan atau estimasi arus beban puncak pada sisi sekunder baik siang hari maupun malam hari.

### Analisis Perhitungan Rugi-Rugi Total di Transformator Berbeban

$$V_1 = E_1 + I_1 (R_1 + j X_1) = E_1 + I_1 \times Z_1.$$

$$E_2 = V_2 + I_2 (R_2 + j X_2) \quad \text{atau}$$

$$V_2 = E_2 - I_2 (R_2 + j X_2) = E_2 - I_2 \times Z_2.$$

Bila kedua persamaan diatas dikalikan dengan arus pada sisi masing-masing transformator, maka diperoleh persamaan daya atau energi baik disisi primer transformator maupun disisi sekunder transformator, yaitu :

$$V_1 \times I_1 = E_1 \times I_1 + I_1^2 \times Z_1 \dots \dots \dots (12).$$

$$V_2 \times I_2 = E_2 \times I_2 + I_2^2 \times Z_2 \dots \dots \dots (13).$$

Sehingga daya masukan ( $P_{input}$ ) transformator dapat dinyatakan menurut persamaan dibawah ini :

$$P_{input} = \sqrt{3} \times V_1 \times I_1 \times \cos \phi \text{ (watt).}$$

Sedangkan daya keluaran atau output yang di dimanfaatkan oleh beban dapat dinyatakan menurut persamaan di bawah ini :

$$P_{output} = \sqrt{3} \times V_2 \times I_2 \times \cos \phi \text{ (watt).}$$

Dengan demikian rugi-rugi total transformator dapat dihitung besarnya dengan menggunakan persamaan dibawah ini :

Rugi-rugi total = daya masukan – daya keluaran.

### **Analisis Perhitungan Daya Masukan Transformator di Sisi Primer dengan Tegangan 150 KV**

Untuk transformator 20 MVA pada siang hari ialah :

$$P_{\text{input}} = \sqrt{3} \times V_1 \times I_1 \times \cos \phi \text{ (watt).}$$

$$P_{\text{input}} = \sqrt{3} \times 150 \text{ KV} \times 25,20843943 \text{ amp} \times 0,8 \\ = 5239,475744 \text{ kilo watt.}$$

Sedangkan untuk malam hari ialah :

$$P_{\text{input}} = \sqrt{3} \times V_1 \times I_1 \times \cos \phi \text{ (watt).}$$

$$P_{\text{input}} = \sqrt{3} \times 150 \text{ KV} \times 52,70919105 \text{ amp} \times 0,8 \\ = 10955,39963 \text{ kilo watt.}$$

Dengan cara perhitungan yang sama dengan diatas dapat diperoleh besarnya daya masukan transformator 20 MVA baik siang hari maupun malam hari.

### **Analisis Perhitungan Daya Keluaran Transformator di Sisi Sekunder dengan Tegangan 20 KV**

Untuk transformator 20 MVA pada siang hari ialah :

$$P_{\text{output}} = \sqrt{3} \times V_2 \times I_2 \times \cos \phi \text{ (watt).}$$

$$P_{\text{output}} = \sqrt{3} \times 20 \text{ KV} \times 167,9443 \text{ amp} \times 0,8 \\ = 4654,208967 \text{ kilo watt}$$

Sedangkan untuk malam hari ialah :

$$P_{\text{output}} = \sqrt{3} \times V_2 \times I_2 \times \cos \phi \text{ (watt).}$$

$$P_{\text{output}} = \sqrt{3} \times 20 \text{ KV} \times 351,1605 \text{ amp} \times 0,8 \\ = 9731,645241 \text{ kilo watt.}$$

Dengan cara perhitungan yang sama dengan diatas dapat diperoleh besarnya daya keluaran transformator 20 MVA baik siang hari maupun malam hari

### **Analisis Perhitungan Rugi-Rugi Total Transformator**

Dengan menggunakan persamaan di bawah ini :

$$\text{Rugi-rugi total} = \text{daya input } (P_{\text{input}}) - \text{daya keluaran } (P_{\text{output}})$$

maka :

Untuk transformator 20 MVA, dari perhitungan di atas pada siang hari diperoleh

$$\text{Daya masukan } (P_{\text{input}}) = 5239,475744 \text{ kilo watt.}$$

$$\text{Daya keluaran } (P_{\text{output}}) = 4654,208967 \text{ kilo watt}$$

jadi :

$$\text{Rugi-rugi total} = \text{daya input } (P_{\text{input}}) - \text{daya keluaran } (P_{\text{output}})$$

$$\text{Rugi-rugi total} = 5239,475744 - 4654,208967 \\ = 585,2667776 \text{ kilo watt.}$$

Sedangkan untuk transformator 20 MVA pada malam hari diperoleh :

$$\text{Daya masukan } (P_{\text{input}}) = 10955,39963 \text{ kilo watt.}$$

$$\text{Daya keluaran } (P_{\text{output}}) = 9731,645241 \text{ kilo watt.}$$

jadi :

$$\text{Rugi-rugi total} = \text{daya input } (P_{\text{input}}) - \text{daya keluaran } (P_{\text{output}})$$

$$\begin{aligned} \text{Rugi-rugi total} &= 10955,39963 - 9731,645241 \\ &= 1223,754389 \text{ kilo watt.} \end{aligned}$$

Dengan cara perhitungan yang sama dengan diatas dapat diperoleh besarnya rugi-rugi total transformator 20 MVA baik siang hari maupun malam hari.

### **Analisis Perhitungan Effisiensi Transformator 20 MVA terhadap Perkembangan Beban Puncak di Gardu Induk Jember**

Dari analisis perhitungan daya masukan, perhitungan daya keluaran dan perhitungan rugi-rugi total transformator pada siang hari maupun malam hari, dapat ditentukan besarnya effisiensi dengan menggunakan persamaan dibawah ini :

$$\text{Effisiensi} = \frac{\text{Keluaran}}{\text{Keluaran} + \text{Rugi} - \text{Rugi Total}} \times 100 \%$$

Dengan menggunakan persamaan diatas dapat dihitung besarnya effisiensi masing-masing transformator sebagai berikut :

Untuk transformator 20 MVA pada siang hari adalah :

Daya keluaran = 4654,2 kilo watt.

Rugi-rugi total = 585,3 kilo watt.

Jadi besarnya effisiensi adalah :

$$\text{Effisiensi} = \frac{\text{Keluaran}}{\text{Keluaran} + \text{Rugi} - \text{Rugi Total}} \times 100 \%$$

$$\begin{aligned} \text{Effisiensi} &= \frac{4654,2}{4654,2 + 585,3} \times 100 \% \\ &= \frac{4654,2}{5239,5} \times 100 \% \\ &= 88,82908674 \% \end{aligned}$$

Sedangkan untuk transformator 20 MVA pada malam hari adalah :

Daya keluaran = 9731,6 kilo watt.

Rugi-rugi total = 1223,8 kilo watt.

Jadi besarnya effisiensi adalah :

$$\text{Effisiensi} = \frac{\text{Keluaran}}{\text{Keluaran} + \text{Rugi} - \text{Rugi Total}} \times 100 \%$$

$$\begin{aligned} \text{Effisiensi} &= \frac{9731,6}{9731,6 + 1223,8} \times 100 \% \\ &= \frac{9731,6}{10955,4} \times 100 \% \\ &= 88,82925315 \% \end{aligned}$$

Dengan cara perhitungan yang sama dengan diatas dapat diperoleh besarnya effisiensi transformator 20 MVA baik siang hari maupun malam hari.

### **Analisis Perhitungan Effisiensi Transformator 20 MVA pada Keadaan Nominal di Gardu Induk Jember**

Dalam analisis perhitungan pada keadaan nominal ini, cara yang digunakan sama dengan cara sebelumnya, sebagai berikut :

Dari data transformator 20 MVA diperoleh :

Kapasitas = 20 MVA.

Tegangan sisi primer = 150 KV.

Tegangan sisi sekunder	= 20 KV.
Arus nominal primer	= 77 Ampere.
Arus nominal sekunder	= 577 Ampere.
Impedansi	= 10,25 %.
	= 0,1025 pu.

Sehingga dari data yang sudah diketahui diatas, maka dapat dihitung efisiensi pada keadaan nominal, yaitu sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Daya masukan } (P_{\text{input}}) &= \sqrt{3} \times V_1 \times I_1 \times \cos \phi. \\ &= \sqrt{3} \times 150 \text{ KV} \times 77 \text{ amp} \times 0,8. \\ &= 16004,14946 \text{ K watt.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Daya keluaran } (P_{\text{output}}) &= \sqrt{3} \times V_2 \times I_2 \times \cos \phi. \\ &= \sqrt{3} \times 20 \text{ KV} \times 577 \times 0,8. \\ &= 15990,29306 \text{ K watt.} \end{aligned}$$

Sehingga rugi-rugi total dapat dihitung menurut persamaan di bawah ini :

$$\text{Rugi-rugi total} = P_{\text{input}} - P_{\text{output}}.$$

$$\begin{aligned} \text{sehingga rugi-rugi totalnya adalah} &= 16004,14946 - 15990,29306 \\ &= 13,8564 \text{ K watt.} \end{aligned}$$

jadi efisiensi transformator pada keadaan nominal adalah :

$$\begin{aligned} \text{Efisiensi} &= \frac{\text{Keluaran}}{\text{Keluaran} + \text{Rugi} - \text{Rugi Total}} \times 100 \%. \\ &= \frac{15990,29306}{15990,29306 + 13,8564} \times 100 \%. \\ &= \frac{15990,29306}{16004,14946} \times 100 \%. \\ &= 99,91341995 \%. \end{aligned}$$

Pada perhitungan efisiensi transformator 20 MVA pada keadaan nominal ternyata didapatkan nilai yang lebih besar dari perhitungan efisiensi dengan menggunakan metode tidak langsung ini dikarenakan nilai arus sekunder dan primer pada keadaan nominal lebih besar dari keadaan beban hasil estimasi.

### Analisis Perhitungan Aliran Daya pada saat Efisiensi Optimal

Dari analisis perhitungan estimasi dapat diketahui keadaan optimal efisiensi transformator berkapasitas 20 MVA, yaitu :

1. Untuk siang hari optimal pada saat efisiensi sebesar 88,83340979 %.
2. Untuk malam hari optimal pada saat efisiensi sebesar 88,83400525 %.

Jika pernyataan fasor untuk tegangan dan arus diketahui, perhitungan daya nyata dan reaktif dapat diselesaikan dalam bentuk kompleks sehingga dari keadaan optimal efisiensi dapat dihitung besarnya aliran daya pada keadaan optimal, yaitu :

$$S_{\text{out}} = V_s \times I_s^* = P_{\text{out}} + j Q_{\text{out}}.$$

1. Untuk transformator 20 MVA pada siang hari :

$$\begin{aligned} P_{\text{out}} &= \sqrt{3} \times V_s \times I_s \times \cos \phi. \\ &= \sqrt{3} \times 20 \times 181,6723 \times 0,8 \\ &= 5034,650463 \text{ K watt.} \end{aligned}$$

$$Q_{\text{out}} = \sqrt{3} \times V_s \times I_s \times \sin \phi.$$

$$= \sqrt{3} \times 20 \times 181,6723 \times 0,6$$

$$= 3775,987847 \text{ KVAR.}$$

jadi :

$$S_{\text{out}} = V_s \times I_s^* = P_{\text{out}} + j Q_{\text{out}}$$

$$S_{\text{out}} = 5034,650463 + j 3775,987847$$

$$= 6293,313079 \angle 36,86989764 \text{ KVA.}$$

$$= 6,293313079 \text{ MVA.}$$

2. Untuk transformator 20 MVA pada malam hari :

$$P_{\text{out}} = \sqrt{3} \times V_s \times I_s \times \cos \phi.$$

$$= \sqrt{3} \times 20 \times 264,7605 \times 0,8$$

$$= 7337,258205 \text{ K watt.}$$

$$Q_{\text{out}} = \sqrt{3} \times V_s \times I_s \times \sin \phi.$$

$$= \sqrt{3} \times 20 \times 264,7605 \times 0,6$$

$$= 5502,943654 \text{ KVAR.}$$

jadi :

$$S_{\text{out}} = V_s \times I_s^* = P_{\text{out}} + j Q_{\text{out}}$$

$$S_{\text{out}} = 7337,258205 + j 5502,943654$$

$$= 9171,572756 \angle 36,86989764 \text{ KVA.}$$

$$= 9,171572756 \text{ MVA.}$$

Meskipun dalam kenyataannya transformator masih dapat dibebani lebih dari kapasitasnya akan tetapi lebih baik dioperasikan pada keadaan optimal effesiensinya, dimana keadaan optimal tersebut aliran daya bebannya di transformator pada saat siang hari adalah 6,293313079 MVA dan pada malam hari adalah 9,171572756 MVA, sehingga pada keadaan ini dapat diharapkan transformator II di gardu induk Jember dengan kapasitas 20 MVA optimal efesiensi transformatornya dipertahankan pada nilai 88,83340979 % pada siang hari dan 88,83400525 % pada malam hari untuk keadaan normalnya sehingga masa pakai transformator tersebut dapat lebih terjamin.

## KESIMPULAN

Dari analisa perhitungan yang dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa :

- 1) Estimasi arus beban puncak sisi sekunder dua tahun ke terakhir dilakukan dengan analisa regresi linear untuk mencari formula garis regresi untuk kemudian digunakan untuk estimasi lima tahun ke depan.
- 2) Nilai optimal prediksi effesiensi lima tahun ke depan untuk transformator 20 MVA adalah 88,83340979 % untuk siang hari dan 88,83400525 % pada malam hari. Dengan menggunakan metode tak langsung, besarnya nilai effesiensi transformator 20 MVA tersebut ternyata lebih kecil dari nilai effesiensi nominalnya yaitu sebesar 99,91341995 %.
- 3) Nilai pembebanan pada kondisi effesiensi transformator optimal adalah 6,293313079 MVA untuk siang hari dan 9,171572756 MVA untuk malam hari.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anonym. 2004. *Kurva Beban Harian Sistem Jawa-Bali*. [http://fiskal.depkeu.go.id/center for energy and power studies](http://fiskal.depkeu.go.id/center%20for%20energy%20and%20power%20studies).
- Arismunandar, A dan Kuwahara, S. 1997. *Teknik Tenaga Listrik jilid III : Gardu Induk*. Jakarta : Pradnya Paramita.
- Gonen, T. 1986. *Electric Power Distribution System Engineering*. United States of America : McGraw-Hill series in electrical engineering.
- Halliday, D., Resnick, R., Silaban, P., dan Sucipto, E. *Fisika Jilid II edisi ketiga*. Jakarta : Erlangga.
- Hardijanto, T. 2003. *Diktat Kuliah Transformator*. Jember : Universitas Jember.
- Fitzgerald, A.E., Kingsley Jr, C., Umans, S.D., dan Djoko, A. 1997. *Mesin-mesin listrik*. Jakarta: Erlangga.
- Kadir, A. 1998. *Transmisi Tenaga Listrik*. Jakarta : Universitas Indonesia Pers.
- Kadir, A. 1981. *Transformator*. Jakarta : Pradnya Pramita.
- Marappung, M. 1998. *Teori-Soal-Penyelesaian Teknik Tenaga Listrik*. Bandung : Armico.
- Marsudi, D. 2003. *Pembangkitan Energi Listrik*. Jakarta : STT YPLN.
- Neidle, M. 1982. *Teknologi Instalasi Listrik edisi III*. Jakarta : Erlangga.
- Pabla, AS dan Hadi, A. 1994. *Sistem Distribusi Daya Listrik*. Jakarta : Erlangga.
- Theraja, BL. 1997. *Fundamental of Electrical Engineering and Electronics*. Ram Nagar, New Delhi : S. Chanel and Company Ltd.
- Zuhal. 1988. *Dasar Teknik Tenaga Listrik Dan Elektronika Daya*. Jakarta : Gramedia.