

PERHITUNGAN EFISIENSI TRANSFORMATOR 60 MVA DI PT. PLN (PERSERO) GARDU INDUK PRABUMULIH

MUTIAR

(Mutiar.tiar @ gmail.com)

*Dosen Teknik Elektro Program Studi Teknik Listrik
Politeknik Negeri Sriwijaya Palembang*

ABSTRAK

Untuk mengetahui nilai daya input, rugi-rugi dan efisiensi transformator 60 MVA di PT. PLN (Persero) Gardu Induk Prabumulih dilakukan perhitungan secara manual. Perhitungan dengan cara manual dilakukan dengan mengumpulkan data-data berupa daya output dan arus beban terpakai transformator. Berdasarkan hasil perhitungan manual, daya input berdasarkan beban puncak siang sebesar 19336,18 KW, daya input beban puncak malam sebesar 26798,05 KW . Rugi-rugi total terkecil pada saat beban terendah sebesar 156,38 KW dan rugi-rugi total terbesar pada saat beban tertinggi adalah 507,95 KW. Sedangkan efisiensi tertinggi pada saat beban terendah sebesar 98,988 %, dan efisiensi terendah didapat pada saat beban tertinggi sebesar 98,335 %.

Kata kunci : *Rugi-rugi, Efisiensi, Transformator*

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring bertambahnya masyarakat maka semakin besar pula daya konsumtif energy listrik yang dibutuhkan. Agar energy listrik dapat disalurkan secara terus menerus maka efisiensi peralatan harus tetap terjaga, salah satunya adalah Transformator. Dalam penyaluran daya listrik transformator digunakan sebagai alat penurun tegangan (*step down transformer*) dan penaik tegangan (*step up transformer*) dan biasanya terletak pada Gardu Induk ataupun Gardu distribusi. Pada transformator terdapat rugi-rugi, baik rugi yang disebabkan arus mengalir pada kawat tembaga, rugi yang disebabkan fluks bolak balik pada inti besi, maupun rugi yang disebabkan arus pusar pada inti besi yang mengakibatkan kurangnya efisiensi pada transformator. Berdasarkan hal inilah judul penelitian ini adalah “Perhitungan Efisiensi Transformator 60MVA 1 di PT. PLN (Persero) Gardu Induk Prabumulih”. Adapun perhitungan efisiensi transformator bagi PT. PLN (Persero) Gardu Induk Prabumulih adalah untuk menjaga kestabilan sistem dan meningkatkan efektifitas pelayanan beban.

1.2 Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui rugi-rugi transformator 60 MVA PT. PLN (Persero) Gardu Induk Prabumulih
2. Untuk mengetahui efisiensi transformator 60 MVA PT. PLN (Persero) Gardu Induk Prabumulih

1.3 Manfaat

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dapat menjelaskan rugi-rugi yang dihasilkan transformator 60 MVA PT. PLN (Persero) Gardu Induk Prabumulih
2. Dapat menjelaskan efisiensi yang dihasilkan oleh transformator 60 MVA PT. PLN (Persero) Gardu Induk Prabumulih.

1.4 Perumusan Masalah

Dari latar belakang diatas dapat dirumuskan masalahnya sebagai berikut :

1. Bagaimana rugi-rugi yang dihasilkan transformator 60 MVA PT. PLN (Persero) Gardu Induk Prabumulih pada saat pembebanan.
2. Bagaimana efisiensi yang dihasilkan oleh transformator 60 MVA PT. PLN (Persero) Gardu Induk Prabumulih pada saat pembebanan.

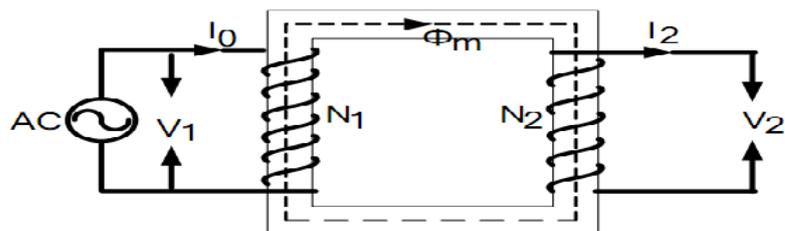
2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Transformator

Transformator adalah suatu alat listrik yang dapat memindahkan dan mengubah energi listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian listrik yang lain melalui suatu gendungan magnet dan berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik. Dalam bidang elektronika, transformator digunakan antara lain sebagai gandengan impedansi (input Impedance) antara sumber dan beban, untuk menghambat arus searah (DC=Direct Current) dan melewatkan arus bolak-balik, dan untuk menaikkan dan menurunkan tegangan AC. Pengelompokkan transformator di dalam bidang Tenaga Listrik, adalah sebagai berikut

2.2. Transformator Tanpa Beban

Transformator disebut tanpa beban jika kumparan sekunder dalam keadaan terbuka (Open Circuit) perhatikan gambar 2.1.



Gambar 2.1 Transformator Tanpa Beban

(sumber : Rijono, Yon, Dasar Teknik Tenaga Listrik, Penerbit ANDI Yogyakarta, 1997, Hal 6-13)

Dalam keadaan ini, arus i_0 yang mengalir pada kumparan primer adalah sangat kecil. Arus ini disebut arus primer tanpa beban atau arus penguat. Arus i_0 adalah terdiri dari arus pemagnet (i_M) dan arus tembaga (i_C). Arus i_M inilah yang menimbulkan flux magnet bersama yang dapat mengakibatkan timbulnya rugi histerisis dan rugi *eddy current* (arus pusar). Rugi histerisis dan rugi eddy current inilah yang menimbulkan rugi inti sedangkan adanya arus tembaga akan menimbulkan rugi tembaga. Adanya arus $i_0 = I_M$.

Sin ωt yang mengalir melalui kumparan primer, pada kumparan primer timbul flux magnet yang sephase dengan i_0 dan secara matematis dituliskan :

$$\Phi = \Phi_M \cdot \sin \omega t \dots\dots\dots(2.1)$$

Menurut Faraday, suatu kumparan (X_M) yang mendapat pengaruh flux magnet yang berubah-ubah, maka di ujung-ujung kumparan tersebut akan timbul gaya gerak listrik (e) yang menentang terhadap tegangan sumber, yaitu sebesar :

$$e = -\frac{d\Phi}{dt} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dengan adanya arus i_0 yang mengalir melalui kumparan primer, pada kumparan primer akan timbul gaya gerak listrik sebesar :

$$-E_M \cdot \sin (90^\circ + \omega t) \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana : e_1 = GGL primer
 E_1 = $E_{M1} = N_1 \cdot 2\pi \cdot f \cdot \Phi_M$
 = GGL Primer maksimum

Besar tegangan efektif dari gaya gerak listrik Primer adalah :

$$(E_{eff})_1 = \frac{N_1 \cdot 2\pi f \cdot \Phi_M}{\sqrt{2}} \\ = 4,44 \cdot N_1 \cdot f \cdot \Phi_M \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana :
 E_{eff} = satuan dalam volt
 f = satuan dalam Hertz atau Cps
 Φ_M =satuan dalam Weber

Pada rangkaian sekunder, fluks (Φ) bersama tadi juga menimbulkan :

$$e_2 = -N_2 \frac{d\Phi}{dt} \\ \text{atau} \\ e_2 = -E_M \cdot \sin (90^\circ + \omega t) \dots\dots\dots(2.5)$$

Harga efektifnya :

$$(E_{eff})_2 = \frac{N_2 \cdot 2\pi f \cdot \Phi_M}{\sqrt{2}} \\ = 4,44 \cdot N_2 \cdot f \cdot \Phi_M \dots\dots\dots(2.6)$$

Dengan demikian perbandingan transformasi antara kumparan primer dan sekunder adalah :

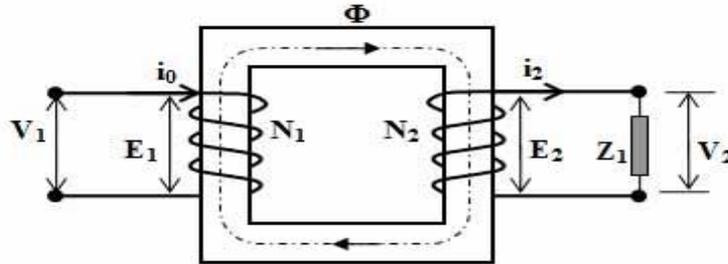
$$a = \frac{(E_{eff})_1}{(E_{eff})_2} = \frac{N_1}{N_2} \dots\dots\dots(2.7)$$

Harga $a > 1$ disebut trafo step down, dan $a < 1$ disebut trafo step up.¹

2.3. Keadaan Transformator Berbeban

¹ Rijono, Yon, Dasar Teknik Tenaga Listrik, Penerbit ANDI Yogyakarta, 1997, Hal 6-13

Apabila kumparan sekunder dihubungkan dengan beban Z_L , I_2 mengalir pada kumparan sekunder, dimana $I_2 = V_2/Z_L$ dengan $\theta_2 =$ faktor kerja beban.



Gambar 2.2 Transformator Berbeban

(sumber : Rijono, Yon, Dasar Teknik Tenaga Listrik, Penerbit ANDI Yogyakarta, 1997, Hal 6-13)

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 . 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 :

$$I_1 = I_0 + I'_2 \dots \dots \dots (2.8)$$

Bila rugi besi diabaikan I_C diabaikan maka $I_0 = I_M$

$$I_1 = I_M + I'_2 \dots \dots \dots (2.9)$$

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

$$\begin{aligned} N_1 I_M &= N_1 I_1 - N_2 I_2 \\ N_1 I_M &= N_1 (I_M + I'_2) - N_2 I_2 \dots \dots \dots (2.10) \end{aligned}$$

Hingga $N_1 I'_2 = N_2 I_2$

Karena nilai I_M dianggap kecil maka $I'_2 = I_1^2$

$$\text{Jadi, } N_1 I_1 = N_2 I_2 \text{ atau } I_1 / I_2 = N_2 / N_1 \dots \dots \dots (2.11)$$

2.4. Rugi-rugi Transformator

Rugi – rugi transformator terbagi menjadi dua antara lain sebagai berikut:

2.4.1 Rugi Variabel

Rugi yang disebabkan arus beban mengalir pada kawat tembaga $P_{Cu} = I^2 R$. Karena arus beban berubah-ubah, rugi tembaga juga tidak tetap tergantung pada beban.

$$P_{Cu} = I_1^2 R_1 \dots \dots \dots (2.12)$$

$$P_{Cu} = I_2^2 R_2 \dots \dots \dots (2.13)$$

² Zuhail, Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya, Penerbit PT. Gramedia Pustaka Utama, 1995, Hal 46-47

Dengan demikian rugi tembaga total :

$$P_{cu} = P_{cu1} + P_{cu2} \\ = I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 \dots \dots \dots (2.14)$$

Karena $I_2 = a I_1$, maka persamaan dapat juga ditulis dengan

$$P_{cu} = I_1^2 R_1 + (a I_1)^2 R_2 \\ = I_1^2 (R_1 + a^2 R_2) \\ = I_1^2 R_{ek1}$$

atau dapat ditulis

$$P_{cu} = I_2^2 R_{ek} \dots \dots \dots (2.15)$$

Jumlah total rugi-rugi pada transformator adalah :

$$P_{rugi\ total} = \text{Rugi-rugi Cu} + \text{Rugi} \dots \dots \dots (2.16)$$

Besarnya rugi-rugi tembaga pada setiap perubahan beban dapat ditentukan dengan persamaan :

$$P_{t2} = \left(\frac{S_2}{S_1}\right)^2 \times P_{t1} \dots \dots \dots (2.17)$$

Keterangan :

- P_{t2} = Rugi-rugi tembaga pada saat pembebanan
- P_{t1} = Rugi-rugi tembaga beban penuh.
- S_2 = Beban yang dioperasikan
- S_1 = Nilai pengena

2.5. Efisiensi Transformator

Efisiensi transformator adalah perbandingan antara keluaran daya yang berguna dan masuk daya total. Karena masukan ke transformator sama dengan keluaran daya yang berguna ditambah kerugiannya, maka persamaan efisiensi dapat ditulis dalam bentuk sebagai berikut :

$$\text{Daya input} = \text{daya output} + \text{kerugian}$$

$$\text{Persen efisiensi} = \frac{\text{daya keluaran}}{\text{daya masukan}} \times 100\% \\ = \frac{\text{daya keluaran}}{\text{daya keluaran} + \text{kerugian}} \times 100\% \dots \dots \dots (2.18)$$

3. METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian ini menggunakan metode observasi yaitu mengumpulkan informasi dan data – data secara lengkap. Pada penelitian ini penulis memilih transformator 60MVA unit 1 sebagai subyek penelitian. Transformator 60MVA unit 1 adalah gardu induk Prabumulih yang terdapat di Kelurahan Majasari kota Prabumulih.

Data Pada Transformator Daya Unit 1

Lokasi	: PT. PLN (Persero) GI Prabumulih
Serial Number	: 3011160115
Merek / Pabrik Pembuatan	: PT. CG Power Systems Indonesia
Tahun Pembuatan	: 2014
Rated Power	: 36/60 MVA
Rated Voltage	: 150/22kV
Jumlah fasa	: 3
Frekuensi	: 50 Hz

Tabel 3.1 Data Beban Puncak Siang (08.00 – 16.00)

Tanggal	Jam	Vs (kV)	Is (A)	Pout (MW)
1-04-2018	16.00	20.6	575	19.1
2-04-2018	13.00	20.3	627	20.6
3-04-2018	15.00	20.6	643	21.1
4-04-2018	14.00	20.6	646	21.3
5-04-2018	14.00	20.4	675	22.2

Tabel 3.2 Data Beban Puncak Malam (17.00 – 00.00)

Tanggal	Jam	Vs (kV)	Is (A)	Pout (MW)
1-04-2018	19.00	20.4	772	26.4
2-04-2018	18.30	20.7	841	29.0
3-04-2018	20.00	20.8	806	27.6
4-04-2018	18.30	20.8	864	29.7
5-04-2018	18.30	20.4	881	30.0

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil

Tabel 4.1. Data hasil perhitungan rugi tembaga transformator beban puncak siang (08.00-16.00)

Tanggal	Jam	Vs (kV)	Is (A)	Rugi Tembaga (KW)
1-04-2018	16.00	20.6	575	201,68

2-04-2018	13.00	20.3	627	239,80
3-04-2018	15.00	20.6	643	252,20
4-04-2018	14.00	20.6	646	254,56
5-04-2018	14.00	20.4	675	277,93

Tabel 4.2. Data hasil perhitungan rugi tembaga transformator beban puncak malam (17.00 – 00.00)

Tanggal	Jam	Vs (kV)	Is (A)	Rugi Tembaga (KW)
1-04-2018	19.00	20.4	772	363,55
2-04-2018	18.30	20.7	841	431,44
3-04-2018	20.00	20.8	806	396,27
4-04-2018	18.30	20.8	864	455,36
5-04-2018	18.30	20.4	881	473,45

Tabel 4.3. Data hasil perhitungan beban puncak siang (08.00 – 16.00)

Tanggal	Jam	Vs (kV)	Is (A)	Pout (KW)	Pin (KW)	Rugi Total (KW)	Efisiensi (%)
1-04-2018	16.00	20.6	575	19100	19336,18	236,18	98,779
2-04-2018	13.00	20.3	627	20600	20874,30	274,30	98,685
3-04-2018	15.00	20.6	643	21100	21386,70	286,70	98,659
4-04-2018	14.00	20.6	646	21300	21589,86	289,60	98,658
5-04-2018	14.00	20.4	675	22200	22512,49	312,43	98,611

Tabel 4.4. Data hasil perhitungan beban puncak malam (17.00 – 00.00)

Tanggal	Jam	Vs (kV)	Is (A)	Pout (KW)	Pin (KW)	Rugi Total (KW)	Efisiensi (%)
1-04-2018	19.00	20.4	772	26400	26798,05	398,05	98,514
2-04-2018	18.30	20.7	841	29000	29465,94	465,94	98,418
3-04-2018	20.00	20.8	806	27600	28030,77	430,77	98,463

4-04-2018	18.30	20.8	864	29700	30189,86	489,86	98,377
5-04-2018	18.30	20.4	881	30000	30507,95	507,95	98,335

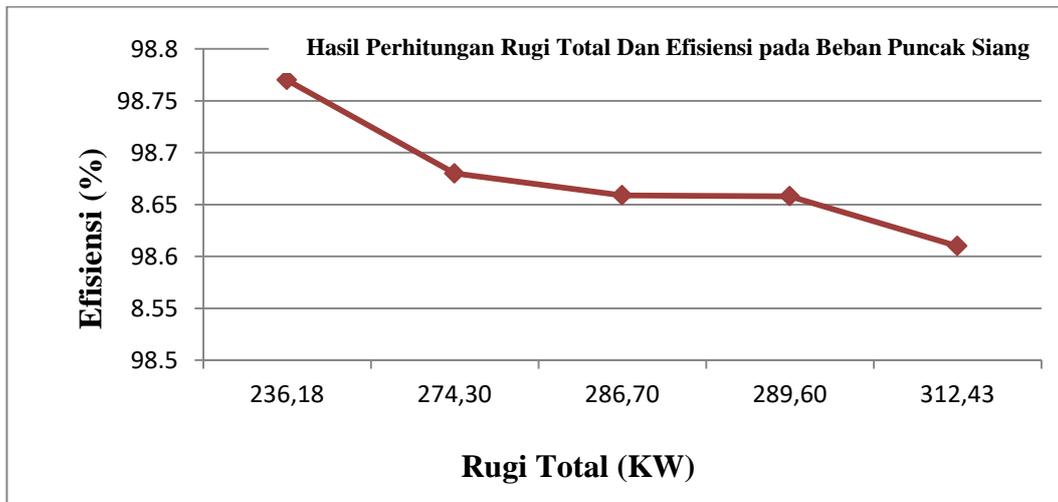
4.2 PEMBAHASAN

4.2.1 Rugi Transformator

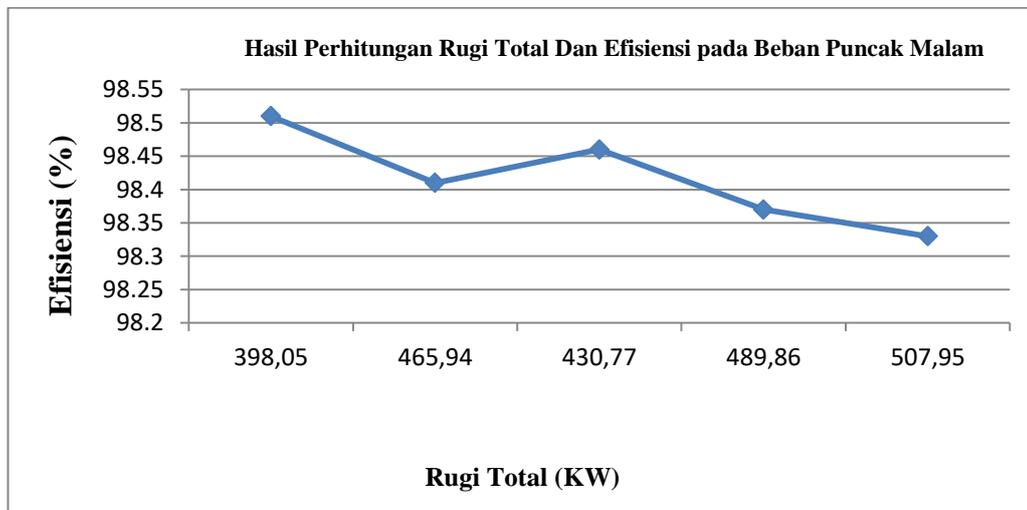
Alasan mengapa besar nilai efisiensi transformator tersebut tidak mencapai 100 % dikarenakan adanya rugi-rugi transformator, rugi-rugi tersebut yakni rugi tembaga dan rugi inti. Sesuai dengan teori transformator rugi inti tidak dipengaruhi oleh beban atau dikatakan konstan sedangkan rugi tembaga sebaliknya, besar dari rugi tembaga dipengaruhi dari besarnya dari besarnya beban. Semakin besar beban pada transformator maka besar rugi tembaga pun akan semakin besar. Pada beban puncak siang sesuai tabel 4.1 rugi rugi terbesar 277,93 kW terjadi pada tanggal 5 April 2018 pukul 14.00. dan rugi terendah 201,68 kW terjadi pada tanggal 1 April 2018 pukul 16.00. Kemudian pada beban puncak malam sesuai tabel 4.2 rugi rugi terbesar 473,45 kW terjadi pada tanggal 5 April 2018 pukul 18.30. dan rugi terendah 363,55 kW terjadi pada tanggal 1 April 2018 pukul 19.00. Dari perbandingan tersebut juga dapat dinyatakan bahwa semakin besar beban yang dihasilkan maka rugi transformator pun akan semakin besar yang berpengaruh pada turunnya efisiensi transformator.

4.2.2 Efisiensi Transformator

Besar efisiensi merupakan perbandingan dari daya masukan dengan daya keluaran. Nilai maksimum efisiensi terjadi pada saat nilai daya masukan dan daya keluaran sama dan dapat dikatakan transformator tersebut ideal namun kenyataannya pada transformator memiliki rugi-rugi yaitu rugi inti dan rugi tembaga, sehingga dari rugi-rugi tersebut membuat nilai efisiensi pada transformator berkurang. Transformator 60 MVA merupakan transformator baru yang mulai beroperasi pada November 2014. Untuk melihat kinerja dari transformator tersebut maka dicarilah besar efisiensinya baik pada saat beban puncak siang, beban puncak malam, dan beban terendah.



Gambar 4.1 Grafik perbandingan antara efisiensi dan rugi total pada beban puncak siang



Gambar 4.2 Grafik perbandingan antara efisiensi dan rugi total pada beban puncak malam

Setelah dilakukan perhitungan didapatkan daya masukan dan daya keluaran transformator yang besarnya bervariasi sesuai dengan besar beban. Ditinjau dari hasil perhitungan efisiensi pada tabel 4.3 dan 4.4, didapat besar efisiensi dari beberapa beban yakni pada beban puncak siang, beban puncak malam, terhitung pada tanggal 1 April

2018 s.d 5 April 2018. Pada beban puncak siang efisiensi tertinggi terjadi pada tanggal 1 april 2018 dengan nilai 98,779% sedangkan efisiensi terendah terjadi pada tanggal 5 april 2018 dengan nilai efisiensi 98,661%. Pada beban puncak malam efisiensi tertinggi terjadi pada tanggal 1 april 2018 dengan nilai 98,514% sedangkan efisiensi terendah terjadi pada tanggal 5 april 2018 dengan nilai efisiensi 98,335%. Dilihat dari hasil perhitungan yang telah dihitung maka dapat dianalisa bahwa besar efisiensi turun seiring dengan semakin besarnya beban pada transformator, nilai Kemudian nilai efisiensi yang paling rendah transformator terjadi saat beban puncak, terhitung nilai efisiensi beban puncak pada tanggal 5 April 2018 sebesar 98,335 %. Oleh karena itu semakin besar beban pada transformator maka efisiensi yang dihasilkan akan semakin kecil.

5. PENUTUP

Berdasarkan dari hasil pembahasan yang telah diuraikan pada penelitian ini, maka dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Besarnya rugi-rugi transformator 60 MVA di PT. PLN (Persero) Gardu Induk Prabumulih dengan daya output pada beban puncak siang sebesar 277,93 KW, untuk daya output beban puncak malam sebesar 201,68 KW. Besarnya rugi-rugi transformator 60 MVA berubah-ubah tergantung besarnya beban pada transformator tersebut. Dimana semakin besar beban pada transformator maka rugi-rugi yang dihasilkan akan semakin besar.
2. Besarnya efisiensi transformator 60 MVA di PT. PLN (Persero) Gardu Induk Prabumulih untuk beban puncak sebesar 98,779 %, efisiensi pada beban puncak malam sebesar 98,514 %. Perubahan efisiensi tersebut tergantung pada besarnya rugi-rugi yang dihasilkan. Semakin besar rugi-rugi maka efisiensi yang dihasilkan akan semakin kecil. Efisiensi akan mempengaruhi kinerja transformator. Semakin besar efisiensi pada transformator maka kinerja transformator akan semakin baik.

DAFTAR PUSTAKA

1. Alvebi Hopaliki. Perhitungan Efisiensi Transformator 12KV/400V 1500KVA di MCC#6b Building 2001K UTL PS.2 Pertamina (persero) RU III Plaju, Politeknik Negeri Sriwijaya Palembang, 2009
2. Cekdin Cekmas, Barlian Taufik, 2013, Rangkaian Listrik, Penerbit Andi Offset, Yogyakarta.
3. Lister, Eugene C. , Mesin dan Rangkaian Listrik, Penerbit Erlangga, 1993
4. M. Solikhudin. 2010. Studi Gangguan. Penerbit Universitas Indonesia, Jakarta, 2010
5. M. Solikhudin. 2010. Studi Gangguan. Penerbit Universitas Indonesia, Jakarta, 2010
6. Rijono, Yon, Dasar Teknik Tenaga Listrik, Penerbit ANDI Yogyakarta, 1997.