

ANALISA PENGARUH PEMBEBANAN TERHADAP EFISIENSI AUXILIARY TRANSFORMATOR PT.KAI LRT SUMSEL

Yessi Marniati¹, Atika Sekar Ayu²

¹Engineering Departement , Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang, Indonesia
E-mail : bulekpadang@yahoo.co.id

Abstract

The efficiency level of the transformer becomes a benchmark to determine the optimal performance of the equipment. The percentage of transformer efficiency values is obtained from the calculation of input power data, output power and transformer losses. Based on the results of the discussion, the percentage of efficiency and losses generated by the 50kVA Auxiliary Transformer at the DSS Station of PT. KAI LRT Sumsel at the time of peak load, the highest efficiency value was 92.56% and the total loss was 1644.20W for the lowest efficiency value, which was 92.30% and the total loss was 1701.08W. When the load is average, the highest efficiency value is 92.73% and the total loss is 1604.83W. Meanwhile, the lowest efficiency value was 92.56% and the total loss was 1293.20W. At the lowest load condition, the highest efficiency value is 92.72% and the total loss is 1606.63W. Meanwhile, the lowest efficiency value was 91.92% and the total loss was 1784.88W. The higher the transformer losses, the smaller the percentage of efficiency. The higher the efficiency of the transformer, the better its performance. Good performance will make the role of the transformer in the power distribution system more efficient so that electrical energy can be channeled optimally.

Keywords: *efficiency, transformer, power, losses, DSS*

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan akan energi listrik dalam kehidupan saat ini semakin meningkat, baik dari sektor industri maupun rumah tangga. Besarnya kebutuhan energi listrik inilah yang menjadi alasan perlunya penyaluran energi listrik yang handal dari pembangkit menuju ke konsumen. Supaya ketersediaan energi dapat tersalurkan secara terus menerus, komponen-komponen distribusi listrik harus bekerja dengan efisien, salah satunya ialah transformator distribusi.

Transformator (trafo) memegang peranan yang sangat penting dalam pendistribusian tenaga listrik. Transformator berfungsi untuk menyalurkan tenaga/daya listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya. Namun pada transformator terjadi kehilangan daya akibat adanya beberapa faktor, diantaranya faktor yang disebabkan oleh inti besi dan faktor yang disebabkan oleh kumparan atau lilitan pada trafo itu sendiri. Faktor-faktor inilah yang dapat mengakibatkan berkurangnya efisiensi pada transformator.

Distribution Supply Substation (DSS) atau gardu distribusi di LRT Sumatera Selatan adalah sebuah peralatan catu daya dan merupakan bagian dari sistem distribusi daya yang berada di *signal hut*. DSS berfungsi untuk mensuplai tegangan kontrol pada sistem kereta serta peralatan persinyalan dan telekomunikasi. Pada DSS terdapat sebuah transformator daya yang berfungsi sebagai pengubah tegangan masukan 20kV AC menjadi tegangan 380/220V AC.

Rugi-rugi yang disebabkan oleh inti serta kumparan transformator di DSS dapat menurunkan nilai efisiensi trafo sehingga memengaruhi besar daya yang disalurkan ke beban, Adapun analisa efisiensi transformator bagi PT. Kereta Api Indonesia Divisi Regional III LRT Sumsel adalah untuk menjaga kestabilan sistem distribusi serta meningkatkan efektivitas pelayanan beban.

2. TUJUAN Dan MANFAAT

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1 Untuk menghitung seberapa besar nilai daya keluaran yang dihasilkan oleh *Auxiliary Transformer* 50kVA di DSS Stasiun RSUD LRT Sumsel
- 2 Untuk mengetahui berapa besarnya nilai rugi-rugi yang dihasilkan oleh *Auxiliary Transformer* 50kVA di DSS Stasiun RSUD LRT Sumsel
- 3 Untuk mengetahui seberapa besar nilai efisiensi *Auxiliary Transformer* 50kVA di DSS Stasiun RSUD LRT Sumsel

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah:

- 1 Dapat menghitung dan mengetahui seberapa besar daya keluaran yang dihasilkan oleh *Auxiliary Transformer* 50kVA di DSS Stasiun RSUD LRT Sumsel
- 2 Dapat mengetahui besarnya rugi-rugi yang dihasilkan oleh *Auxiliary Transformer* 50kVA di DSS Stasiun RSUD LRT Sumsel
- 3 Dapat mengetahui seberapa besar nilai efisiensi *Auxiliary Transformer* 50kVA di DSS Stasiun RSUD LRT Sumsel

3. TINJAUAN PUSTAKA

3.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Sistem distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik. Sistem distribusi ini berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar (*Bulk Power Source*) sampai ke konsumen. Jadi fungsi distribusi tenaga listrik adalah [1] :

1. Pembagian atau penyaluran tenaga listrik ke beberapa tempat (pelanggan), dan
2. Merupakan sub sistem tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pelanggan, karena catu daya pada pusat-pusat beban (pelanggan) dilayani langsung melalui jaringan distribusi

Hal ini disebabkan karena catu daya pada pusat-pusat beban (pelanggan) dilayani langsung melalui jaringan distribusi. Tenaga listrik yang dihasilkan oleh pembangkit tenaga listrik dengan tegangan dari 11 kV sampai 24 kV dinaikkan tegangannya oleh gardu induk dengan transformator penaik tegangan menjadi 70 kV, 154 kV, 220 kV atau 500 kV kemudian disalurkan melalui saluran transmisi. Tujuan menaikkan tegangan ialah untuk memperkecil kerugian daya listrik pada saluran transmisi, dimana dalam hal ini kerugian daya adalah sebanding dengan kuadrat arus yang mengalir ($I^2.R$).

Dari saluran transmisi, tegangan diturunkan lagi menjadi 20 kV dengan transformator penurun tegangan pada gardu induk distribusi, kemudian dengan sistem tegangan tersebut penyaluran tenaga listrik dilakukan oleh saluran distribusi primer. Dari saluran distribusi primer inilah gardu-gardu distribusi mengambil tegangan untuk diturunkan tegangannya dengan transformator distribusi menjadi sistem tegangan rendah, yaitu 220/380 Volt. Selanjutnya disalurkan oleh saluran distribusi sekunder ke konsumen-konsumen. Hal ini membuktikan bahwa sistem distribusi merupakan bagian yang penting dalam sistem tenaga listrik secara keseluruhan.

Keandalan suatu sistem penyaluran distribusi tenaga listrik tergantung pada model susunan saluran, pengaturan operasi, dan prosedur pemeliharaan serta koordinasi peralatan pengaman. Tingkat keandalan kontinuitas penyaluran bagi konsumen tenaga listrik ialah berapa lama waktu padam yang terjadi dan berapa banyak waktu yang diperlukan untuk memulihkan kembali penyaluran tenaga listrik. Tingkat keandalan dalam pelayanan tenaga listrik dapat dibedakan menjadi lima hal, yaitu (SPLN 523, 1983:5):

- Tingkat 1: Dimungkinkan padam berjam-jam yaitu waktu yang diperlukan untuk mencari dan memperbaiki bagian yang rusak karena adanya gangguan.
- Tingkat 2: Padam beberapa jam yaitu waktu yang diperlukan untuk mengirim petugas ke lapangan, melokalisir gangguan dan melakukan manipulasi untuk dapat menghidupkan sementara dari arah atau saluran yang lain.
- Tingkat 3: Padam beberapa menit, manipulasi oleh petugas yang *stand by* di gardu atau dilakukan deteksi/pengukuran dan pelaksanaan manipulasi jarak jauh.
- Tingkat 4: Padam beberapa detik, pengaman dan manipulasi otomatis.
- Tingkat 5: Tanpa padam, dilengkapi instalasi cadangan terpisah dan otomatis [2]

3.2 Bagian Utama Saluran Distribusi Tenaga Listrik

Sistem distribusi tenaga listrik memiliki bagian-bagian dan peralatannya sendiri, yaitu sebagai berikut:

1. Gardu Induk (GI)

Gardu Induk adalah stasiun transmisi bisa diibaratkan sebagai stasiun atau terminal dalam transportasi listrik, dimana fungsi utamanya yaitu mentransformasikan tegangan. Beberapa fungsi penting dari Gardu Induk pada saluran distribusi meliputi:

- Mentransformasikan tegangan (menaikkan atau menurunkan tegangan, sebagai contoh dari tegangan generator di pembangkitan dinaikkan ke tegangan ekstra tinggi atau menurunkan tegangan, dari tegangan ekstra tinggi diturunkan menjadi tegangan tinggi atau tegangan menengah).
- Mengatur aliran daya listrik dari saluran transmisi ke saluran transmisi lainnya kemudian mendistribusikan ke konsumen.
- Pengukur, pengawas operasi serta pengaman sistem tenaga listrik.
- Pengaturan pelayanan beban ke gardu induk lain dan ke gardu distribusi.
- Sebagai tempat untuk menurunkan tegangan transmisi menjadi tegangan distribusi.
- Sarana telekomunikasi.

Kompartemen utama pada Gardu Induk meliputi transformator, pemutus tenaga (PMT), pemisah (PMS), *lightning arrester*, trafo arus, *relay* proteksi dan trafo pemakaian sendiri (PS)

2. Gardu Distribusi

Gardu distribusi adalah komponen penting dalam penyaluran pada sistem distribusi tenaga listrik yang berfungsi untuk menurunkan tegangan dari tegangan menengah ke tegangan rendah untuk disalurkan dan digunakan oleh pelanggan. Di dalam gardu distribusi terdapat beberapa peralatan listrik seperti panel hubung bagi (PHB) TM, panel hubung bagi (PHB) TR, dan transformator distribusi (20 kV/ 380 V). Secara garis besar gardu distribusi dibagi ke dalam beberapa jenis menurut pemasangan konstruksi dan penggunaannya. Menurut pemasangannya gardu distribusi dibagi menjadi gardu pasangan dalam (gardu beton/embok) dan pasangan luar (gardu portal/gardu cantol). Menurut penggunaannya ada gardu penggunaan umum (pelanggan listrik dengan tegangan rendah) dan gardu penggunaan khusus (untuk satu pelanggan listrik dengan tegangan menengah).

3. Gardu Hubung

Jaringan distribusi tenaga listrik yang biasa disalurkan oleh penyulang-penyulang dari gardu induk ke gardu distribusi bukan tidak mungkin mengalami gangguan. Untuk menangani gangguan yang menyebabkan tidak tersalurkan listrik pada gardu distribusi, maka dibuatlah gardu hubung yang menghubungkan penyulang-penyulang dan gardu distribusi untuk manuver pengendali beban jika terjadi gangguan listrik. Gardu hubung atau *switching substation* adalah gardu yang berfungsi sebagai sarana manuver pengendali beban listrik jika terjadi gangguan aliran listrik, program pelaksanaan pemeliharaan atau dengan maksud untuk mempertahankan kontinuitas pelayanan. Gardu hubung terdiri dari rangkaian saklar beban (*Load Break Switch / LBS*), dan atau pemutus tenaga terhubung paralel. Gardu Hubung juga dapat dilengkapi sarana pemutus tenaga pembatas beban pelanggan khusus tegangan menengah. Konstruksi gardu hubung sama dengan konstruksi gardu distribusi tipe beton. Pada ruang dalam gardu

hubung dapat dilengkapi dengan ruang untuk gardu distribusi yang terpisah dan ruang untuk sarana pelayanan kontrol jarak jauh.

4. Konfigurasi Jaringan Primer

Konfigurasi jaringan primer pada suatu sistem jaringan distribusi sangat menentukan mutu pelayanan yang akan diperoleh khususnya mengenai kontinuitas pelayanannya. Adapun jenis jaringan primer yang biasa digunakan adalah jaringan distribusi pola radial, pola loop, pola grid dan pola spindle.

Jaringan distribusi primer (tegangan menengah) dan juga jaringan distribusi sekunder (tegangan rendah) pada umumnya beroperasi secara radial. Jaringan dengan sistem ring (loop) sesungguhnya bisa mengurangi rugi-rugi dalam jaringan, tetapi memerlukan alat sistem proteksi yang lebih canggih dan juga relatif mahal untuk jaringan distribusi.

Secara umum baik buruknya sistem penyaluran dan distribusi tenaga listrik terutama adalah ditinjau dari kontinuitas pelayanan, kualitas daya, perluasan dan penyebaran, fleksibilitas, kondisi dan dituasi lingkungan, serta pertimbangan ekonomis.

5. Pusat Pengatur Saluran Distribusi

Kegiatan operasi jaringan pada saluran distribusi untuk suatu kawasan tertentu dikordinir oleh pusat pengatur distribusi. Pusat pengatur distribusi terutama mengkoordinir operasi jaringan tegangan menengah. Sedangkan untuk jaringan tegangan rendah termasuk sambungan rumah dan instalasi pelanggan, operasinya sebagian besar meliputi pekerjaan mengatasi gangguan, pelaksanaannya dilakukan oleh dinas gangguan yang tempatnya tersebar di berbagai tempat. Dikarenakan jaringan distribusi jangkauannya luas serta melibatkan banyak peralatan jika dibandingkan jaringan transmisi, sedangkan persoalan operasional terutama adalah mengatasi gangguan, maka pusat pengatur distribusi dibantu oleh dinas gangguan beserta mobil unit yang bergerak untuk mengatasi gangguan dalam jaringan atas perintah dan petunjuk pusat pengatur distribusi.

Disamping berfungsi untuk mengatasi gangguan, pusat pengatur pada saluran distribusi juga harus mengamati masalah masalah operasional lainnya yang terjadi dalam sistem operasi seperti:

- Analisa gangguan yang terjadi didalam sistem
- Mengkoordinir pekerjaan pemeliharaan dalam jaringan agar sedapat mungkin dicegah terjadinya pemadaman aliran listrik bagi pelanggan.
- Mengamati dan menganalisa perkembangan beban dalam setiap bagian jaringan distribusi agar dapat memberikan masukan yang tepat bagi perencanaan pengembangan jaringan distribusi.
- Mengamati dan menganalisa profil tegangan jaringan untuk selanjutnya memberikan saran-saran perbaikan.
- Mengamati dan menganalisa rugi-rugi yang terjadi dalam jaringan distribusi untuk kemudian melakukan langkah-langkah operasi agar rugi-rugi dapat dikurangi, misalnya melakukan manuver dalam jaringan [3].

3.3 *Distribution Supply Substation*

Distribution Supply Substation (DSS) atau gardu distribusi di LRT Sumatera Selatan adalah sebuah peralatan catu daya dan merupakan bagian dari sistem distribusi daya yang berada di *signal hut*. DSS berfungsi untuk mengubah tegangan masukan 20kVAC menjadi tegangan 380/220VAC yang digunakan untuk mensuplai tegangan kontrol pada sistem kereta dan untuk peralatan persinyalan dan telekomunikasi. Terdapat beberapa gardu yang menyuplai tegangan untuk persinyalan LRT Sumatera Selatan yaitu:

- KM 2.7 dengan daerah suplai Bandara, KM 2.7, Asrama Haji
- DMG dengan daerah suplai Pundi Kayu, RSUD, Garuda Dempo, Demang
- AMP dengan daerah suplai Bumi Sriwijaya, Dishub, Cinde, Ampera
- DEPO dengan daerah suplai Polresta, Jakabaring, DJKA, OCC

- e. Pada kubikel MV 20kV terdapat *Load Breaking Switch* (LBS) yang merupakan suatu alat pemutus atau penyambung sirkuit pada sistem distribusi listrik dalam keadaan berbeban. LBS mirip dengan alat pemutus tenaga (PMT) atau *Circuit Breaker* (CB) dan biasanya dipasang dalam saluran distribusi listrik. LBS digunakan untuk pemutusan lokal apabila terjadi gangguan atau ingin dilakukan perawatan jaringan distribusi pada daerah tertentu sehingga daerah yang tidak mengalami gangguan atau perawatan tidak mengalami pemadaman listrik. Pada saat terjadi bencana atau gangguan listrik seperti gempa, angin ribut, pohon tumbang, dan lain-lain sering terjadi gangguan pada jaringan distribusi seperti kabel tumbang. Pada kasus seperti itu diperlukan tindakan yang cepat dalam memutuskan saluran listrik untuk menghindari bahaya yang dapat ditimbulkan.



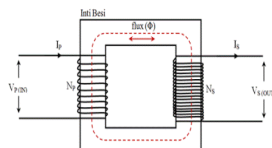
Gambar 1. Kubikel MV 20kV

3.4 Transformator

Transformator merupakan suatu peralatan listrik elektromagnetik statis yang berfungsi untuk memindahkan dan mengubah daya listrik dari suatu rangkaian listrik ke rangkaian listrik lainnya, dengan frekuensi yang sama dan perbandingan transformasi tertentu melalui suatu gandengan magnet dan bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetis, dimana perbandingan tegangan antara sisi primer dan sisi sekunder berbanding lurus dengan perbandingan jumlah lilitan dan berbanding terbalik dengan perbandingan arusnya [4].

Transformator adalah peralatan listrik (*apparatus electrical*) yang digunakan untuk menaikkan tegangan (*step up*) atau untuk menurunkan tegangan (*step down*). Transformator juga berfungsi untuk mentransformasi AC tegangan rendah arus tinggi menjadi AC tegangan tinggi arus rendah digunakan untuk transmisi tenaga listrik atau untuk mentransformasi AC tegangan tinggi arus rendah menjadi AC tegangan rendah arus tinggi digunakan untuk distribusi dan mentransformasi impedansi rangkaian menjadi impedansi yang berbeda supaya diperoleh pengalihan (*transfer*) daya yang lebih baik dari sumber ke beban [5].

Prinsip kerja dari transformator melibatkan bagian-bagian utama pada transformator, yaitu: kumparan primer, kumparan sekunder dan inti transformator. Kumparan tersebut mengelilingi inti besi dalam bentuk lilitan.



Gambar 2. Prinsip Kerja Transformator

Apabila kumparan pada sisi primer transformator dihubungkan dengan suatu sumber tegangan bolak-balik sinusoidal (V_1), maka akan mengalir arus bolak-balik yang juga sinusoidal (I_1) pada kumparan tersebut. Arus bolak-balik ini akan menimbulkan fluks magnetik (Φ) yang sefasa dan juga sinusoidal di sekeliling kumparan. Akibat adanya inti trafo yang menghubungkan kumparan pada sisi primer dan kumparan pada sisi sekunder, maka fluks

magnetik akan mengalir bersama pada inti trafo dari kumparan primer menuju kumparan sekunder sehingga akan membangkitkan tegangan induksi pada sisi sekunder trafo:

$$e_1 = -N_1 \frac{d\Phi}{dt} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana :

e_1 = GGL induksi pada kumparan primer (Volt)

N_1 = jumlah belitan pada sisi primer

$d\Phi/dt$ = perubahan fluks terhadap waktu (Wb/s)

Dari persamaan tersebut diketahui bahwa tegangan induksi yang terbangkitkan pada kumparan transformator berbanding lurus dengan jumlah lilitan kumparan pada inti transformator. Selain itu, tegangan induksi juga dapat terbangkitkan apabila ada perubahan fluks terhadap waktu, jika fluks yang mengalir adalah konstan maka tegangan induksi tidak dapat terbangkitkan. Setiap trafo juga memiliki suatu besaran yang dinamakan perbandingan transformasi (a), untuk menunjukkan perbandingan lilitan atau perubahan level tegangan dan arus pada sisi primer dan sekunder yang ditransformasikan pada trafo tersebut. Berikut perumusannya:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{V_P}{V_S} = \frac{I_S}{I_P} = \frac{N_P}{N_S} = a \dots\dots\dots(2)$$

Komponen utama transformator tenaga terdiri dari bagian-bagian diantaranya: inti besi, kumparan transformator, minyak transformator, bushing, tangki konservator, peralatan bantu pendinginan transformator, tap changer dan alat pernapasan (*dehydrating breather*).



Gambar 3. Komponen-komponen internal transformator

3.5 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:

Daya keluaran = daya masukan – kerugian

$$\begin{aligned} \text{Persen efisiensi} &= \frac{\text{daya keluaran}}{\text{daya masukan}} \times 100\% \\ &= \frac{\text{daya masukan} - \text{kerugian}}{\text{daya masukan}} \times 100\% \dots\dots(3) \end{aligned}$$

Dari persamaan di atas, jelaslah bahwa efisiensi transformator dapat ditentukan untuk setiap beban dengan pengukuran langsung daya masukannya dan daya keluarannya [6]. Karena transformator tidak memiliki bagian bergerak yang menyebabkan kehilangan daya akibat gesekan, kebanyakan transformator memiliki efisiensi yang sangat tinggi, biasanya lebih tinggi dari 90% [7].

3.6 Metode Penelitian

Tempat dilakukan penelitian ini adalah di *Distribution Supply Substation* (DSS) Stasiun RSUD LRT Palembang Sumatera selatan dengan transformator 50kVA tiga fasa tipe kering. Waktu penelitian ini di tujukan untuk mendapatkan data dari daya keluaran, rugi-rugi dan efisiensi dari auxiliary transformator, maka Penelitian dan pengambilan data ini dilakukan di PT. KAI LRT Sumatera Selatan unit Power System Field Service 1 Stasiun RSUD pada tanggal 8 Juni 2020 sampai 12 Juni 2020.

3.7 Auxiliary Transformator

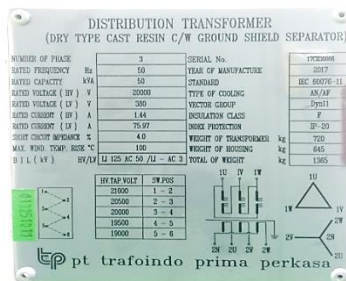
Transformator yang digunakan di *Distribution Supply Substation* (DSS) Stasiun RSUD LRT Sumatera Selatan adalah transformator 50kVA tiga fasa dengan tipe kering yang dicasting dengan isolasi epoxy resin mengacu standar IEC60076-11. Rating daya di dalam satuan kVA untuk setiap posisi step sadapan dan rasio tegangan nominal trafo tanpa beban adalah 20000/380Volt dengan sistem frekuensi 50Hz. Transformator 5kVA ini berfungsi untuk mengubah tegangan masukan 20kVAC menjadi tegangan 380/220VAC yang digunakan untuk mensuplai tegangan kontrol pada sistem kereta dan untuk peralatan persinyalan dan telekomunikasi di LRT Sumatera Selatan.

Berikut adalah *Auxiliary Transformator* (ATR) yang digunakan di DSS LRT Sumatera Selatan:



Gambar 4. *Auxiliary Transformator* (ATR)

Analisa pengaruh pembebanan terhadap efisiensi *Auxiliary Transformator* 50kVA di DSS Stasiun RSUD PT. KAI LRT Sumatera Selatan dilakukan dengan mengamati dan mengumpulkan data pembebanan berupa tegangan, arus, serta daya aktif selama 5 hari operasi. Adapun data tersebut diperoleh dengan cara mencatat langsung pada alat ukur di gardu traksi dengan selang waktu satu jam dimulai dari pukul 10 pagi hingga 7 malam selama 5 hari operasi.



Gambar 5. *Nameplate Auxiliary Transformator*

Tabel 1. Spesifikasi Transformator

Kode Nama Trafo	Distribution Transformer
-----------------	--------------------------

Merk/Parbik Pembuatan	PT. Trafindo Prima Perkasa
Jumlah Fasa	3
Frekuensi (Hz)	50
Daya Pengenal (kVA)	50
Tegangan Pengenal	
- Sisi Primer (V)	20000
- Sisi Sekunder (V)	380
Arus Pegenal	
- Sisi Primer (A)	1,44
- Sisi Sekunder (A)	75,97
Sistem Pendingin	AN/AF
Impedansi (%)	4,00
Rugi Besi (Watt)	350
Rugi Tembaga (Watt)	1450

4.2 Data Operasional Transformator

Adapun data-data pembebanan yang diperoleh selama 5 hari mulai dari tanggal 8 Juni 2020-12 Juni 2020 adalah sebagai berikut:

Tabel 2. Data Operasional tanggal 8 Juni 2020

No.	Jam	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya Aktif (W)
1	10.00	20341	1,36	22093
2	11.00	20340	1,37	22095
3	12.00	20340	1,32	22087
4	13.00	20353	1,40	22075
5	14.00	20352	1,41	22085
6	15.00	20342	1,35	22091
7	16.00	20351	1,32	22087
8	17.00	20346	1,41	22084
9	18.00	20344	1,32	22088
10	19.00	20349	1,33	22088

Tabel 3. Data Operasional tanggal 9 Juni 2020

No.	Jam	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya Aktif (W)
1	10.00	20344	1,35	22091
2	11.00	20345	1,34	22087
3	12.00	20345	1,34	22088
4	13.00	20355	1,33	22086
5	14.00	20357	1,32	22083
6	15.00	20348	1,34	22087
7	16.00	20359	1,32	22083
8	17.00	20362	1,41	22081
9	18.00	20359	1,32	22082
10	19.00	20360	1,41	22080

Tabel 4. Data Operasional tanggal 10 Juni 2020

No.	Jam	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya Aktif (W)
1	10.00	20355	1,33	22087
2	11.00	20358	1,32	22081
3	12.00	20365	1,40	22078

4	13.00	20364	1,41	22079
5	14.00	20354	1,33	22088
6	15.00	20354	1,33	22088
7	16.00	20352	1,34	22089
8	17.00	20355	1,33	22087
9	18.00	20362	1,32	22084
10	19.00	20363	1,41	22080

Tabel 5. Data Operasional tanggal 11 Juni 2020

No.	Jam	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya Aktif (W)
1	10.00	20366	1,41	22081
2	11.00	20365	1,41	22082
3	12.00	20355	1,34	22089
4	13.00	20357	1,33	22088
5	14.00	20357	1,33	22087
6	15.00	20362	1,32	22085
7	16.00	20360	1,32	22086
8	17.00	20356	1,34	22089
9	18.00	20352	1,35	22092
10	19.00	20351	1,35	22091

Tabel 6. Data Operasional tanggal 12 Juni 2020

No.	Jam	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya Aktif (W)
1	10.00	20350	1,35	22094
2	11.00	20352	1,34	22092
3	12.00	20361	1,32	22090
4	13.00	20359	1,32	22089
5	14.00	20358	1,33	22091
6	15.00	20349	1,35	22094
7	16.00	20349	1,35	22095
8	17.00	20348	1,36	22096
9	18.00	20351	1,35	22095
10	19.00	20354	1,34	22094

4. HASIL dan ANALISA

4.1 Pembebanan Transformator

Berdasarkan data pembebanan transformator pada tanggal 8 Juni 2020 hingga tanggal 12 Juni 2020, didapatkan pengelompokan kondisi beban sebagai berikut:

Tabel 7. Data Beban Puncak

Tanggal	Jam	Vp (V)	Ip (A)	Pin (W)
8 Juni 2020	11.00	20340	1,37	22095
9 Juni 2020	10.00	20344	1,35	22091
10 Juni 2020	16.00	20352	1,34	22089
11 Juni 2020	18.00	20352	1,35	22092

12 Juni 2020	17.00	20348	1,36	22096
--------------	-------	-------	------	-------

Tabel 8. Data Beban Rata-rata

Tanggal	Jam	Vp (V)	Ip (A)	Pin (W)
8 Juni 2020	12.00	20344	1,32	22087
9 Juni 2020	14.00	20357	1,32	22083
10 Juni 2020	18.00	20362	1,32	22084
11 Juni 2020	14.00	20357	1,32	22087
12 Juni 2020	19.00	20354	1,34	22094

Tabel 9. Data Beban Terendah

Tanggal	Jam	Vp (V)	Ip (A)	Pin (W)
8 Juni 2020	13.00	20353	1,40	22075
9 Juni 2020	19.00	20360	1,41	22080
10 Juni 2020	12.00	20365	1,40	22078
11 Juni 2020	10.00	20366	1,41	22081
12 Juni 2020	13.00	20359	1,32	22089

4.2 Hasil Perhitungan

Berdasarkan persamaan 2 maka data pembebanan pada tanggal 8 Juni 2020 pada pukul 11.00 maka besar arus sekunder untuk kondisi beban puncak sebesar:

$$\begin{aligned} V_p \times I_p &= V_s \times I_s \\ 20340 \times 1.37 &= 380 \times I_s \\ I_s &= 73,33 \text{ A} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan arus sekunder pada tanggal 8 Juni 2020 pada pukul 11.00 maka besar daya semu untuk kondisi beban puncak sebesar:

$$\begin{aligned} S &= \sqrt{3} \times V_s \times I_s \\ S &= \sqrt{3} \times 380V \times 73,33A \\ S &= 48.264,29VA \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan daya semu pada tanggal 8 Juni 2020 pada pukul 11.00 serta nilai pengenal transformator yaitu 50kVA maka besar rugi tembaga untuk kondisi beban puncak sebesar:

$$\begin{aligned} P_{t2} &= \left(\frac{S_2}{S_1}\right)^2 \times P_{t1} \\ P_{t2} &= \left(\frac{48.264,29}{50.000}\right)^2 \times 1450W \\ &= 1351,08W \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan rugi tembaga pada tanggal 8 Juni 2020 pada pukul 11.00 serta nilai rugi inti maka besar rugi total untuk kondisi beban puncak sebesar:

$$\begin{aligned} \text{Prugi total} &= \text{Rugi-rugi tembaga} + \text{Rugi inti} \\ \text{Prugi total} &= 1351,08W + 350W \end{aligned}$$

Prugi total = 1701,08W

Berdasarkan perhitungan daya input dan rugi-rugi total pada tanggal 8 Juni 2020 pada pukul 11.00 maka besar efisiensi untuk kondisi beban puncak sebesar:

$$\eta = \frac{\text{daya keluaran}}{\text{daya masukan}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{(22095-1701,08)}{22095} \times 100\%$$

$$= 92,30\%$$

Tabel 9. Hasil Perhitungan Beban Puncak

Tanggal	Jam	Is (A)	P Otput (W)	S (VA)	Rugi Tembaga (W)	Rugi Total (W)	Efisiensi (%)
8 Juni 2020	11.00	73,33	20393,92	48264,29	1351,08	1701,08	92,30
9 Juni 2020	10.00	72,27	20428,70	47566,61	1312,30	1662,30	92,48
10 Juni 2020	16.00	71,77	20444,80	47237,53	1294,20	1622,20	92,56
11 Juni 2020	18.00	72,30	20428,61	47586,36	1313,62	1663,39	92,47
12 Juni 2020	17.00	72,82	20413,65	47928,62	1332,35	1682,35	92,39

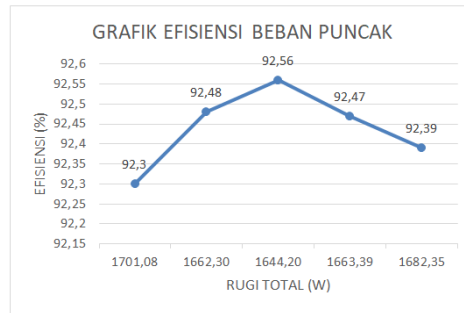
Tabel 10. Hasil Perhitungan Beban Rata-rata

Tanggal	Jam	Is (A)	P Otput (W)	S (VA)	Rugi Tembaga (W)	Rugi Total (W)	Efisiensi (%)
8 Juni 2020	12.00	70,67	20482,17	46513,53	1253,83	1604,83	92,73
9 Juni 2020	14.00	70,71	20476,74	46539,86	1256,26	1606,26	92,73
10 Juni 2020	18.00	70,73	20477,04	46553,02	1256,96	1606,96	92,72
11 Juni 2020	14.00	71,25	20461,48	46895,28	1275,52	1625,52	92,64
12 Juni 2020	19.00	71,77	20449,80	47237,53	1283,20	1944,20	92,56

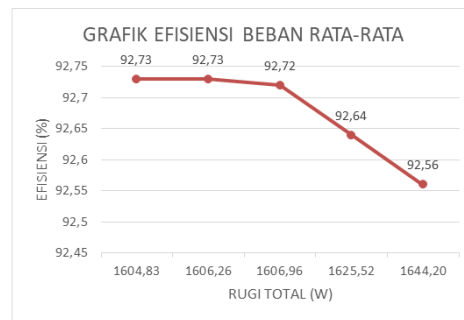
Tabel 11. Hasil Perhitungan Beban Terendah

Tanggal	Jam	Is (A)	P Otput (W)	S (VA)	Rugi Tembaga (W)	Rugi Total (W)	Efisiensi (%)
8 Juni 2020	13.00	74,98	20312,44	49350,28	1412,56	1762,56	92,02
9 Juni 2020	19.00	75,55	20295,88	49725,45	1434,12	1784,12	92, 93
10 Juni 2020	12.00	75,03	20313,55	49383,19	1414,45	1764,45	92, 01
11 Juni 2020	10.00	75,57	20296,12	49738,61	1434,88	1784,88	92, 92
12 Juni 2020	13.00	70,72	20482,47	46546,92	1256,63	1606,63	92,72

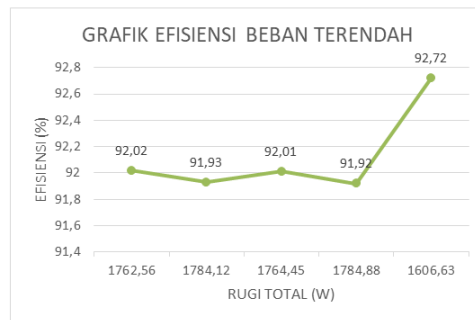
Berdasarkan hasil perhitungan tiap-tiap kondisi beban, berikut grafik pengaruh besar rugi total dengan efisiensi transformator :



Gambar 6. Grafik Efisiensi Beban Puncak



Gambar 7. Grafik Efisiensi Beban Rata-rata



Gambar 8. Grafik Efisiensi Beban Terendah

4.3 Analisa

Dari hasil perhitungan nilai efisiensi dapat diketahui bahwa terdapat tiga jenis rugi-rugi pada transformator yang pertama ialah rugi inti/rugi besi yang nilainya tetap meskipun terjadi perubahan beban, kedua ialah rugi tembaga yang nilainya berubah-ubah terhadap beban, sedangkan yang terakhir ialah rugi total yaitu penjumlahan dari besar nilai rugi inti dan rugi tembaga. Untuk mendapatkan nilai rugi total, diperlukan perhitungan untuk nilai rugi tembaga yang dipengaruhi oleh besarnya daya semu serta arus sekunder. Besarnya nilai rugi-rugi total mempengaruhi nilai efisiensi dari transformator, hubungan antara rugi total dengan efisiensi ialah berbanding terbalik, artinya semakin besar nilai rugi total pada transformator maka nilai efisiensi yang didapat semakin kecil, sebaliknya apabila besar nilai rugi total semakin kecil maka nilai efisiensi yang didapat semakin besar.

Dari hasil perhitungan persentase efisiensi yang didapatkan pada tabel 9-tabel 11 serta pada gambar grafik 6-8 terlihat bahwa pada saat keadaan beban puncak, nilai efisiensi tertinggi ialah pada tanggal 10 Juni 2020 pukul 16.00 dengan nilai efisiensi sebesar 92,56% dan besar rugi total 1644,20W. Sedangkan untuk nilai efisiensi terendahnya yaitu pada tanggal 8 Juni 2020 pukul 11.00 dengan nilai efisiensi sebesar 92,30% dan besar rugi total

1701,08W. Pada saat keadaan beban rata-rata, nilai efisiensi tertinggi ialah pada tanggal 8 Juni 2020 pukul 12.00 dengan nilai efisiensi sebesar 92,73% dan besar rugi total 1604,83W. Sedangkan untuk nilai efisiensi terendahnya yaitu pada tanggal 12 Juni 2020 pukul 19.00 dengan nilai efisiensi sebesar 92,56% dan besar rugi totalnya 1293,20W. Pada saat keadaan beban terendah, nilai efisiensi tertinggi ialah pada tanggal 12 Juni 2020 pukul 13.00 dengan nilai efisiensi sebesar 92,72% dan besar rugi totalnya 1606,63W. Sedangkan untuk nilai efisiensi terendahnya yaitu pada tanggal 11 Juni 2020 pukul 10.00 dengan nilai efisiensi sebesar 91,92% dan besar rugi totalnya 1784,88W.

Penulis menganalisa secara keseluruhan dari tiga kondisi pembebanan, didapatkan nilai efisiensi tertinggi ialah pada tanggal 8 Juni 2020 pukul 12.00 dengan nilai efisiensi sebesar 92,73% hal ini dikarenakan nilai rugi totalnya secara keseluruhan paling rendah yaitu 1604,83W. Sedangkan nilai efisiensi terendah yaitu pada tanggal 11 Juni 2020 pukul 10.00 dengan nilai efisiensi sebesar 91,92% karena besar nilai rugi totalnya secara keseluruhan paling tinggi yaitu 1784,88W. Dengan semakin tinggi nilai efisiensi transformator, maka kinerjanya pun semakin baik. Kinerja yang baik akan membuat peran transformator dalam sistem distribusi daya menjadi lebih efisien sehingga energi listrik dapat disalurkan dengan optimal.

5. KESIMPULAN

1. Besarnya daya keluaran yang dihasilkan oleh *Auxiliary Transformator* 50kVA di DSS Stasiun RSUD LRT Sumsel berdasarkan beban puncak sebesar 20444,80W, untuk beban rata-rata sebesar 20482,17W, serta untuk beban terendah sebesar 20295,88W.
2. Besarnya nilai rugi-rugi *Auxiliary Transformator* 50kVA di DSS Stasiun RSUD LRT Sumsel pada beban puncak sebesar 1701,08W, untuk beban rata-rata sebesar 1604,83W, dan untuk beban terendah sebesar 1606,63W.
3. Besarnya nilai efisiensi *Auxiliary Transformator* 50kVA di DSS Stasiun RSUD LRT Sumsel untuk beban puncak sebesar 92,56%, untuk beban rata-rata sebesar 92,73%, serta untuk beban terendah sebesar 91,92%. Nilai efisiensi *Auxiliary Transformator* 50kVA di DSS Stasiun RSUD LRT Sumsel berubah-ubah tergantung dengan besarnya nilai rugi-rugi total yang dihasilkan. Semakin besar rugi-rugi maka nilai efisiensi pun semakin kecil, sebaliknya semakin kecil rugi-rugi maka nilai efisiensi semakin tinggi. Nilai efisiensi akan memengaruhi kinerja transformator, dimana semakin tinggi nilai efisiensi maka kinerja transformator pun semakin baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A.S. Pabla, 2004, Electric Power Distribution, MC Graw-Hill Education.
- [2] Erhaneli, "EVALUASI KEANDALAN SISTEM DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK BERDASARKAN INDEKS KEANDALAN SAIDI DAN SAIFI PADA PT. PLN (PERSERO) RAYON BAGAN BATU TAHUN 2015". *Jurnal Teknik Elektro ITP*, Volume 5, No.2, Juli 2016
- [3] Rakhman, Alief. 2020. *Saluran Distribusi pada Sistem Tenaga Listrik*. <https://rakhman.net/electrical-id/saluran-distribusi-pada-sistem-tenaga-listrik/> (diakses 08 September 2020)
- [4] Adjie Pranatama. Laporan Akhir: "PERHITUNGAN EFISIENSI TRANSFORMATOR DAYA 54 MVA PLTGU UNIT 1 DI PT. PLN (PERSERO) SEKTOR PEMBANGKITAN KERAMASAN PALEMBANG DENGAN BANTUAN SOFTWARE MATLAB" (Palembang: POLSRI 2019)
- [5] M Anwar, Haris Afandi. Makalah: "Transformator" (Bali: UNDIKSHA 2005)
- [6] Lister, Eugene C. 1993. *Mesin dan Rangkaian Listrik*. Penerbit Erlangga
- [7] Linsley, Trevor. 2004. *Instalasi Listrik Dasar*. Jakarta. Penerbit Erlangga