

Makalah Seminar Tugas Akhir
**ANALISA BERLANGGANAN LISTRIK ANTARA TEGANGAN MENENGAH (TM) DENGAN
TEGANGAN RENDAH (TR) DAN ANALISA EFISIENSI TRAFO DALAM RANGKA
KONSERVASI ENERGI KAMPUS UNDIP TEMBALANG**

Ermawanto - L2F 001 595
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

Abstrak - Penentuan langganan daya hendaknya disesuaikan dengan pemakaian beban. Hal ini terkait dengan biaya rekening listrik yang dikeluarkan. Berdasarkan hasil pengukuran dan pendataan beban listrik, beberapa gedung di kampus Undip Tembalang perlu dilakukan audit energi. Hal ini disebabkan rendahnya pemakaian beban yang tidak sesuai dengan langganan daya yang dikontrak. Ditambah dengan adanya denda penalti akibat rendahnya faktor daya ($pf < 0,85$) ikut menyumbang tingginya biaya rekening listrik setiap bulannya. Pengaruh rendahnya pemakaian beban dibanding kapasitas trafo yang tersedia, rendahnya faktor daya, serta pengaruh harmonisa (THD) menyebabkan kerja trafo tidak optimal atau efisiensinya rendah.

Dalam penelitian ini dibahas mengenai analisa penentuan jenis langganan dan penentuan besar kapasitas trafo sebagai upaya program konservasi energi dilihat dari sisi ekonomis dan sisi teknis. Analisa ini didasarkan atas hasil pengukuran dan pendataan beban listrik.

Analisa berlangganan Tegangan Rendah dengan Tegangan Menengah serta penentuan kapasitas trafo merupakan salah satu solusi dalam rangka untuk menekan pengeluaran pembayaran rekening listrik dan mengoptimalkan penggunaan trafo.

Kata Kunci : Konservasi Energi, Biaya, Efisiensi

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Konservasi energi merupakan suatu aktivitas pemanfaatan energi secara efisien dan rasional tanpa mengurangi penggunaan energi yang memang benar-benar diperlukan. Langkah audit dan konservasi energi di gedung dimaksudkan untuk meningkatkan efisiensi penggunaan energi tanpa mengurangi tingkat kenyamanan serta dapat menghemat biaya.

Pemakaian beban listrik yang tidak sebanding dengan besar langganan daya dapat menyebabkan ketidakefisienan dalam hal pembiayaan. Gedung-gedung di kampus Undip Tembalang rata-rata pemakaian bebannya terlalu kecil bila dibandingkan dengan langganan daya yang dikontraknya. Hal ini menyebabkan tingginya biaya rekening listrik yang dibayarkan setiap bulannya. Ditambah pula dengan diberlakukannya denda penalti akibat rendahnya faktor daya ($pf < 0,85$) khusus untuk langganan Tegangan Menengah.

Rendahnya efisiensi trafo yang berarti besarnya *losses* dapat menyebabkan kerugian di sisi *power provider* dalam hal ini PT. PLN (Persero) dan konsumen terutama bagi pelanggan Tegangan Menengah. Rendahnya efisiensi trafo dapat disebabkan oleh rendahnya faktor daya, rendahnya pembebanan, serta adanya pengaruh harmonisa (THD) akibat pemakaian beban non linier.

Di saat semakin tingginya biaya hidup dengan adanya kenaikan BBM yang berdampak luas pada kenaikan Tarif Dasar Listrik dan masih besarnya nilai *losses* pada jaringan distribusi, maka efisiensi dalam hal pembiayaan dan pengoptimalan penggunaan peralatan menjadi perhatian serius.

1.2 Tujuan

Tujuan dalam Tugas Akhir ini adalah membandingkan efisiensi biaya antara berlangganan Jaringan Tegangan Rendah dengan Jaringan Tegangan Menengah serta menganalisa efisiensi trafo dalam rangka konservasi energi.

1.3 Batasan Masalah

Dalam pembuatan tugas akhir ini penulis membatasi permasalahan sebagai berikut :

1. Studi dilakukan pada trafo-trafo di kampus Undip Tembalang yang berlangganan tegangan menengah (>200 kVA) yaitu yang letak kWhmeter dari PLN berada di sisi tegangan 20 kV. Trafo distribusi ini terletak di kampus T. Elektro, T.Mesin, T.Arsitektur, T.Sipil, Teknik Kimia, Fakultas Peternakan, Laboratorium Fakultas Peternakan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Gedung Widya Puraya, dan Gedung Kuliah Bersama Prof. Soedharto. Sedangkan yang berlangganan Tegangan Rendah (<200 kVA) terletak di Rektorat, Laboratorium DIII Teknik, dan DIII Teknik.
2. Data yang dijadikan perhitungan pada hasil data survey yang dilakukan pada bulan Juli s/d Agustus 2005 dan pengukuran besaran listrik pada masing – masing trafo pada bulan September 2005. Pendataan beban dilakukan pada bulan Februari 2006
3. Dari data survey dianalisa kapasitas beban yang terpasang, hal-hal yang mempengaruhi *losses* daya dan efisiensi trafo (pengaruh pembebanan, faktor daya, dan harmonisa (THD arus)) serta ditentukan sistem berlangganan antara Tegangan

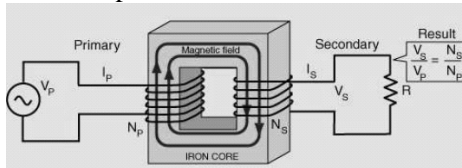
Menengah dengan Tegangan Rendah yang sesuai dan melakukan manajemen trafo.

- Permasalahan dalam Tugas Akhir ini dibatasi pada besar penghematan biaya yang dikeluarkan antara berlangganan dengan Jaringan Tegangan Rendah dengan Jaringan Tegangan Menengah serta penentuan kapasitas trafo agar efisien
- Perhitungan biaya di sini adalah biaya rekening listrik
- Perhitungan biaya listrik didasarkan pada Tarif Dasar Listrik PLN tahun 2005.

II. TEORI DASAR

2.1 Transformator^[4]

Transformator terdiri dari dua gulungan kawat yang terpisah satu sama lain yaitu bagian primer dan bagian sekunder, yang dibelitkan pada inti yang sama. Untuk dapat membangkitkan tegangan listrik pada kumparan sekunder, fluks magnet yang dibangkitkan oleh kumparan primer harus berubah-ubah. Untuk memenuhi hal ini, aliran listrik yang mengalir di sisi primer haruslah listrik AC.



Gambar 2.1 Teori Dasar Transformator

Saat kumparan primer dihubungkan ke sumber listrik AC, pada kumparan primer timbul gaya gerak magnet bersama yang bolak balik juga. Dengan adanya gaya gerak magnet ini, di sekitar kumparan primer timbul fluks magnet bersama yang juga bolak balik. Adanya fluks magnet bersama ini, pada ujung-ujung kumparan sekunder timbul gaya gerak listrik induksi sekunder yang mungkin sama, lebih tinggi, atau lebih rendah dari gaya gerak listrik primer. Hal ini tergantung pada perbandingan transformator kumparan transformator tersebut. Jika kumparan sekunder terhubung beban maka akan timbul arus listrik bolak balik, sehingga pada beban timbul tegangan sekunder. Kombinasi antar gaya gerak magnet induksi sekunder dan primer disebut induksi bersama atau *mutual induction*.

2.1.1 Rugi-rugi pada Trafo

Rugi-rugi daya transformator berupa rugi inti atau rugi besi (P_i) dan rugi tembaga (P_{cu}) yang terdapat pada kumparan primer maupun sekunder. Rugi inti terdiri dari rugi arus eddy dan rugi histeresis atau $P_i = P_h + P_e$.

$$P_h = K_h f B_{maks}^{1,6} \text{ watt} \quad (1)$$

$$P_e = K_e f^2 B_{maks}^2 \text{ watt} \quad (2)$$

dimana K_h = konstanta

B_h = fluks maksimum (weber)

f = frekuensi (Hz)

Rugi Histeresis (P_h), yaitu rugi yang disebabkan fluks bolak balik pada inti besi. Rugi *Eddy current* (P_e), rugi yang disebabkan arus pusar pada inti besi. Adapun arus pusar inti ditentukan oleh tegangan induksi pada inti yang menghasilkan perubahan-perubahan fluks magnet.

Pada kondisi beban nol, rugi-rugi yang terjadi hanyalah rugi inti. Perlu diketahui bahwa besarnya rugi-rugi inti ini tetap. Rugi inti tidak terpengaruh dengan adanya perubahan beban. Besar rugi inti dari beban nol sampai kondisi beban penuh nilainya sama, dengan asumsi tegangan primer tidak berubah atau konstan^[5]

Sedangkan pada kondisi berbeban rugi-rugi yang terjadi adalah rugi inti ditambah rugi-rugi tembaga (P_{cu}),

$$\begin{aligned} \Sigma_{Rugi} &= P_i + P_{cu} \\ &= P_h + P_e + P_{cu} \end{aligned} \quad (3)$$

dimana rugi tembaga dapat dicari melalui tes hubungan singkat. Persamaan matematikanya adalah :

$$P_{cu} = I^2 R \quad (4)$$

Karena arus beban berubah-ubah, maka rugi tembaga tidak konstan bergantung pada beban.

2.1.2 Perhitungan Rugi Daya Sistem 3 Fasa

Untuk beban setimbang, berlaku persamaan :

$$I = \frac{P}{3(0,707V) \cos \phi} \quad (5)$$

Jika setiap konduktor memiliki resistansi sebesar R , maka :

$$Losses = 3I^2 R = \frac{2P^2}{3V^2 \cos^2 \phi} R \quad (6)$$

Untuk beban tidak setimbang, berlaku persamaan :

$$\begin{aligned} pf &= \frac{P_a + P_b + P_c}{S_a + S_b + S_c} \\ pf &= \frac{P_a + P_b + P_c}{\sqrt{[P_a + P_b + P_c + j(Q_a + Q_b + Q_c)]}} \end{aligned} \quad (7)$$

(Special Joint Committee of the AIEE & the National Electric Light Association, 1920)

Sehingga, pada kondisi tidak setimbang maka harga *losses* 3 fasa merupakan penjumlahan dari harga *losses* masing-masing fasa. Atau :

$$\begin{aligned} Losses &= I_a^2 R + I_b^2 R + I_c^2 R \\ &= (I_a^2 + I_b^2 + I_c^2) R \end{aligned} \quad (8)$$

2.1.3 Efisiensi Trafo

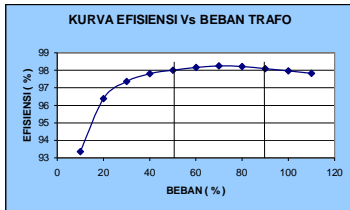
Untuk setiap mesin atau peralatan listrik, efisiensi ditentukan oleh besarnya rugi-rugi yang terjadi selama operasi normal. Efisiensi dari mesin-mesin berputar/bergerak umumnya antara 50-60% karena ada rugi gesek dan angin. Trafo tidak memiliki bagian yang bergerak/berputar, maka rugi-rugi ini tidak muncul, namun masih tetap memiliki rugi-rugi walaupun tidak sebesar pada peralatan listrik seperti mesin-mesin atau peralatan bergerak lainnya.^[3] Trafo daya saat ini rata-rata dirancang dengan besar efisiensi minimal 95%.^[9]

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

$$\eta = \frac{\text{Daya Keluar}}{\text{Daya Masuk}} \times 100\% = \frac{\text{Daya Keluar}}{\text{Daya Keluar} + \Sigma R_{rugi}} \times 100\% \quad (9)$$

2.1.3.1 Pengaruh pembebanan terhadap efisiensi^[10]

Jika trafo kemudian dibebani terus maka *losses* akan mempunyai karakteristik efisiensi penyaluran daya vs pembebanan trafo seperti berikut :



Gambar 2.4 Karakteristik Efisiensi-Pembebanan Trafo

Dari karakteristik di atas terlihat bahwa transformator akan mempunyai efisiensi tertinggi pada saat terjadi pembebanan sebesar 80 % dari pembebanan nominalnya.

2.1.3.2 Pengaruh faktor daya terhadap efisiensi^[11]

Perubahan efisiensi terhadap faktor daya beban dapat dinyatakan sebagai :

$$\eta = 1 - \frac{\Sigma R_{rugi}}{V_2 I_2 \cos \varphi + \Sigma R_{rugi}} \quad (10)$$

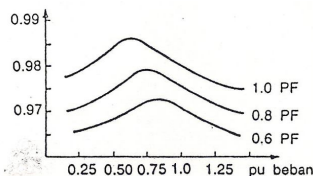
$$= 1 - \frac{\Sigma R_{rugi} / V_2 I_2}{\cos \varphi + \Sigma R_{rugi} / V_2 I_2}$$

bila $\Sigma R_{rugi} / V_2 I_2 = X = \text{kons tan}$, maka :

$$\eta = 1 - \frac{X}{\cos \varphi + X} \quad (11)$$

$$\eta = 1 - \frac{X / \cos \varphi}{1 + X / \cos \varphi}$$

Gambar grafik berikut menggambarkan hubungan antara efisiensi dengan beban pada faktor daya yang berbeda-beda.



Gambar 2.2 Grafik hubungan antara pf dengan η trafo

Konsumen yang mempunyai daya besar di atas 200 kVA, yang pemakaian listriknya dipakai untuk beban-beban induktif seperti motor-motor induksi, dapat mengakibatkan turunnya faktor daya di sistem terutama pada bus dimana beban tersebut tersambung.

Penurunan faktor daya ini menurunkan tegangan dan kerugian daya aktif pasokan listrik dari PLN di sisi konsumen terutama pada arus beban besar, sehingga merupakan salah satu penyebab timbulnya perbedaan pengukuran kWh di sisi PLN

dan konsumen, yang merugikan bagi pemasok tenaga listrik (PLN), sementara di sisi konsumen yang pembatasnya secara umum adalah pembatas arus, merasa bahwa pemakaian daya semu (kVA) kurang dari kVA kontrak.

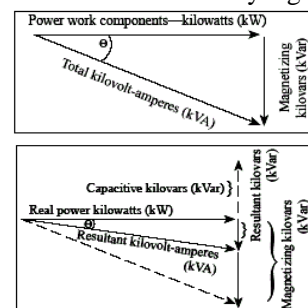
Sesuai dengan sifat beban induktif yang banyak digunakan oleh hampir setiap konsumen besar, diantaranya beban-beban yang mempergunakan motor induksi untuk keperluan AC (*Air conditioning*), lift, pompa air, atau peralatan pintal untuk konsumen yang bergerak di bidang industri tekstil dan lain sebagainya.

Motor-motor induksi dengan kapasitas besar pada saat asut / start dapat mengakibatkan kedip tegangan, karena arus start dapat mencapai 5 s/d 6 kali arus nominal untuk kemudian turun dibawah nominal (sebelum berbeban), faktor daya pada saat start berkisar antara 0,2 s/d 0,3, sehingga pada saat ini beban motor ini banyak menarik VAR. Kejadian start stop motor dalam operasinya boleh dikatakan sering.^[19]

Secara kumulatif motor-motor induksi yang beroperasi dapat menurunkan faktor daya di sistem, di samping motor-motor induksi, untuk penerangan konsumen mempergunakan lampu neon yang mempunyai faktor daya yang rendah. Total beban di konsumen yang mempunyai motor induksi dan lampu neon dapat mengakibatkan turunnya faktor daya di beban tersebut. Oleh sebab itu beban VAR yang diserap perlu dilakukan pengukuran baik pada saat start maupun pada operasi normal

Penurunan faktor daya ini dapat merugikan kedua belah pihak (pihak pemasok dan pihak pemakai), pihak pemasok merasakan kerugian akibat turunnya tegangan di terminal konsumen yang mengakibatkan pengukuran faktor daya yang lebih buruk lagi di sisi pengirim, pemakaian arus yang besar akibat faktor daya rendah dapat juga menimbulkan kerugian daya aktif di jaringan sehingga terdapat perbedaan pengukuran kWh yang terpasang di sisi pemasok dan di sisi pemakai, sementara pihak pemakai merasakan bahwa pemakaian daya listriknya menjadi terbatas tidak sesuai dengan daya yang dikontraknya

Dari vektor diagram daya pada gambar 2.3 menunjukkan bahwa semakin besar sudut φ , yang berarti nilai $\cos \varphi$ menjadi kecil sehingga untuk nilai watt yang sama akan menarik VA yang besar.



Gambar 2.3 Pengaruh sudut φ pada besarnya S (kVA)

2.1.4 Pengaruh Harmonik pada Trafo^[6]

Pada dasarnya, harmonik adalah gejala pembentukan gelombang-gelombang dengan frekuensi berbeda yang merupakan perkalian bilangan bulat dengan frekuensi dasarnya. Hal ini disebut frekuensi harmonik yang timbul pada bentuk gelombang aslinya sedangkan bilangan bulat pengali frekuensi dasar disebut angka urutan harmonik. Misalnya, frekuensi dasar suatu sistem tenaga listrik adalah 50 Hz, maka harmonik keduanya adalah gelombang dengan frekuensi sebesar 100 Hz, harmonik ketiga adalah gelombang dengan frekuensi sebesar 150 Hz dan seterusnya. Gelombang-gelombang ini kemudian menumpang pada gelombang murni/aslinya sehingga terbentuk gelombang cacat yang merupakan jumlah antara gelombang murni sesaat dengan gelombang harmoniknya.

Sumber harmonik pada sistem distribusi adalah beban non linier. Beban non linier adalah bentuk gelombang keluaran yang tidak sebanding dengan tegangan dalam setiap setengah siklus sehingga bentuk gelombang arus maupun tegangan keluarannya tidak sama dengan gelombang masukannya (mengalami distorsi).

Beban non linier yang umumnya merupakan peralatan elektronik yang di dalamnya banyak terdapat komponen semikonduktor, dalam proses kerjanya berlaku sebagai saklar yang bekerja pada setiap siklus gelombang dari sumber tegangan. Proses kerja ini akan menghasilkan gangguan atau distorsi gelombang arus yang tidak sinusoida. Bentuk gelombang ini tidak menentu dan dapat berubah menurut pengaturan pada parameter komponen semikonduktor dalam peralatan elektronik. Perubahan bentuk gelombang ini tidak terkait dengan sumber tegangannya.

Beberapa peralatan yang dapat menyebabkan timbulnya harmonik antara lain komputer, printer, lampu *fluorescent* yang menggunakan balas elektronik, kendali kecepatan motor, motor induksi, *baterai charger*, proses *electroplating*, dll. Peralatan ini dirancang untuk menggunakan arus listrik secara hemat dan efisien karena arus listrik hanya dapat melalui komponen semikonduktornya selama periode pengaturan yang telah ditentukan. Peralatan ini memiliki kekurangan yaitu akan mengalami gangguan gelombang arus dan tegangan yang pada akhirnya akan kembali ke bagian lain sistem tenaga listrik. Fenomena ini akan menimbulkan gangguan beban tidak linier satu fasa. Hal di atas banyak terjadi pada distribusi yang memasok pada areal perkantoran/komersial.

2.1.4.1 Pengaruh Harmonik pada *Losses* Daya^[21]

I_{rms} (*root mean squared current*) merupakan penjumlahan semua arus yang mungkin timbul pada periode waktu tertentu. Jika dalam suatu sistem distribusi terdapat pengaruh harmonik maka I_{rms}

merupakan penjumlahan dari arus fundamentalnya dengan seluruh arus harmonisa yang terjadi. Secara matematis dapat ditulis :

$$I_{rms} = \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 + \dots I_n^2} \quad (12)$$

dimana :

I_1 = arus fundamental (pada $f = 50$ Hz)

n = urutan harmonik

$I_{rms(distortion)}$ adalah jumlah seluruh arus harmonisa yang terjadi tanpa arus fundamentalnya. Secara matematis dapat ditulis :

$$I_{rms(distortion)} = \sqrt{I_2^2 + I_3^2 + \dots I_n^2} \quad (13)$$

Sedangkan arus THD (*Total Harmonic Distortion*) adalah merupakan pembagian antara $I_{rms(distortion)}$ dengan I_1 . Secara matematis dapat ditulis

$$: THD_{\%fundamental} = \left(\frac{I_{rms(distortion)}}{I_1} \right) \times 100\% \quad (14)$$

Dari persamaan di atas terlihat bahwa arus yang mengandung harmonik akan memperbesar I_{rms} , $I_{rms(distortion)}$, dan $THD_{\%fundamental}$ seperti yang kita ketahui bahwa persamaan untuk *losses* daya adalah ;

$$P_{losses} = I_{rms}^2 \times R \quad (15)$$

maka, dengan adanya arus harmonisa ini akan memperbesar *losses* daya yang terjadi. Arus harmonisa dikatakan rendah jika $THD_{\%} \leq 20\%$, medium/edang jika $20\% < THD_{\%} \leq 50\%$, dan tinggi jika $THD_{\%} > 50\%$.^[8]

Selain itu pengaruh harmonisa pada rugi inti juga ikut berperan. Pada persamaan (1) dan (2) rugi *hysteresis* dan *eddy current* dipengaruhi oleh frekuensi. Harmonik adalah gejala pembentukan gelombang-gelombang dengan frekuensi berbeda yang merupakan perkalian bilangan bulat dengan frekuensi dasarnya. Semakin besar harmonisa maka semakin besar pula rugi-rugi yang terjadi pada inti trafo.

2.1.4.2 Pengaruh Harmonisa pada Suhu Trafo^[7]

Pada transformator, rugi-rugi yang disebabkan harmonisa arus dan tegangan bergantung pada frekuensi. Peningkatan frekuensi menyebabkan peningkatan rugi-rugi. Harmonisa frekuensi tinggi akan lebih merupakan penyebab pemanasan utama dibandingkan harmonisa frekuensi rendah. Harmonisa arus menyebabkan peningkatan rugi-rugi tembaga dan rugi-rugi fluks. Sedangkan harmonisa tegangan menyebabkan peningkatan rugi-rugi besi bocor dan peningkatan stress pada isolasi. Efek keseluruhannya adalah pemanasan berlebih bila dibandingkan dengan operasi dengan gelombang sinus murni.

2.1.5 Penentuan Kapasitas Transformator

Untuk menentukan besarnya kapasitas transformator yang dipilih hendaknya mengetahui kebutuhan daya maksimum. Besarnya daya maksimum dipengaruhi oleh faktor kebutuhan. Faktor kebutuhan (*Fdm*) didefinisikan sebagai perbandingan

antara kebutuhan maksimum dalam sebuah sistem dengan total beban yang terpasang atau terhubung pada sistem tersebut.^[2]

$$Fdm = \frac{\text{kebutuhan daya maksimum}}{\text{Total beban terpasang}} \quad (16)$$

Tabel berikut menunjukkan besar faktor kebutuhan masing-masing jenis beban.

Tabel 2.1 Faktor kebutuhan^[2]

Jenis beban	Faktor kebutuhan
Pemukiman/perumahan	0,5 s/d 0,7
Komersial	0,5 s/d 0,7
Industri	0,5 s/d 0,8

3.1 Perhitungan THD, Data Pengukuran dan Rekapitulasi Beban, serta Perhitungan Efisiensi Trafo

3.1.1 Perhitungan THD

Dari hasil pengukuran dan perhitungan diperoleh besar THD seperti yang ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 3.1 Hasil pengukuran dan perhitungan THD

Gedung	THD ukur	THD hitung	Pengaruh THD
MIPA	3,7-30	5,73-35,5	Rendah-Sedang
T. Elektro	7,1-41,6	6,42-42	Rendah-Sedang
T. Mesin	3,6-37,6	3,16-38,39	Rendah-Sedang
T. Kimia & Dekanat Teknik	3,1-24,2	2,01-23,1	Rendah-Sedang
T. Sipil	6,3-20,3	6,42-19,53	Rendah
Dekanat Peternakan	2,2-27,6	4,47-42,87	Rendah-Sedang
Lab Peternakan	2,2-11,6	1,89-10,22	Rendah
FPIK.FKM, Psikologi	5,9-29,1	4,75-28,54	Rendah-Sedang
T. Arsitektur, T.I, T.PWK	5,7-28,1	5,14-27,57	Rendah-Sedang
Widya Puraya	4,9-15,5	3,66-14,39	Rendah
Gedung Prof. Soedharto	3,6-26,2	3,37-26,07	Rendah-Sedang

Pada hasil pengukuran dan perhitungan di atas terlihat pengaruh THD masih relatif rendah. Meskipun rendah, THD ikut berpengaruh terhadap terjadinya *losses*.

3.1.2 Data Pengukuran dan Rekapitulasi Beban

Dari hasil pengukuran sisi primer trafo (bulan September 2006) diambil nilai daya S (kVA) tertinggi dan dari survey rekapitulasi beban (Februari 2006) diperoleh hasil seperti yang ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 3.2 Hasil Pengukuran dan Rekapitulasi Beban

Gedung	Daya langgan (DL)	hasil pengukuran maks (hpm)	Total beban terpasang (tbp)
MIPA	345	60,2	234,167
T. Elektro	240	88,52	137,198
T. Mesin	240	44,72	157,032

T. Kimia & Dekanat	240	49,13	194,027
T. Sipil	240	45	209,635
Dekanat Peternakan	240	23,89	66,912
Laboratorium Peternakan	240	23,22	137,585
FPIK.FKM, Psikologi	240	68,87	106,209
T. Arsitektur, T. I, T. PWK	240	105,02	264,816
Widya Puraya	240	83,41	246,872
Gedung Prof. Soedharto	240	146,16	255,563
DIII Teknik	42	37,3	105,684
Laboratorium DIII Teknik	66	-	51,039
Rektorat	53	30,45	70,424

Dari hasil pengukuran di atas terlihat rendahnya pemakaian beban bila dibandingkan dengan daya langganan yang dikontrak. Pada kenyataannya tidak mungkin semua beban dipakai dalam waktu bersamaan. Faktor kebutuhan (*Fdm*) didefinisikan sebagai

$$Fdm = \frac{Kbm}{Tbp} \text{ atau } Kbm = Fdm \times Tbp \quad (17)$$

Besarnya nilai faktor kebutuhan untuk pelanggan perumahan/komersial/sosial adalah 0,5-0,7. Berikut ditampilkan besar kebutuhan beban maksimum untuk nilai *Fdm* = 0,5 dan 0,7.

Tabel 3.3 Kebutuhan beban maksimum

Gedung	Fdm = 0,5		Fdm = 0,7	
	Kbm	Kbm/DL	Kbm	Kbm/DL
MIPA	117,08	0,34	163,92	0,48
T. Elektro	68,60	0,29	96,04	0,40
T. Mesin	78,52	0,33	109,92	0,46
T. Kimia & Dekanat Teknik	97,01	0,40	135,82	0,57
T. Sipil	104,82	0,44	146,74	0,61
Dekanat F. Peternakan	33,46	0,14	46,84	0,20
Laboratorium F. Peternakan	68,79	0,28	96,31	0,39
FPIK.FKM, Psikologi	53,10	0,22	74,35	0,31
T. Arsitektur, T.I, T.PWK	132,41	0,55	185,37	0,77
Widya Puraya	123,44	0,51	172,81	0,72
Gedung Prof. Soedharto	127,78	0,53	178,89	0,75
DIII Teknik	52,84	1,17	73,98	1,64
Laboratorium DIII Teknik	25,52	0,39	35,73	0,54
Rektorat	35,21	0,65	49,30	0,91

Dari data total beban terpasang, perhitungan kebutuhan beban maksimum dengan *Fdm*=0,5 dan 0,7 terlihat masih kecil bila dibandingkan dengan langganan daya yang dikontrak. Hal ini menyebabkan ketidakefisienan dalam hal pembiayaan. Ditambah dengan adanya denda penalti untuk faktor daya

kurang dari 0,85 bagi pelanggan Tegangan Menengah.

Oleh karena itu, perlu dilakukan perubahan besar langganan daya dengan nilai yang sesuai (nilai pendekatan). Penentuan langganan daya diambil dari total beban terpasangnya karena untuk memperkirakan adanya penambahan beban di tahun-tahun mendatang. Berikut akan dicoba menganalisa penentuan jenis langganannya. Untuk selengkapnya dapat dilihat dalam tabel.

Tabel 3.4 Analisa perubahan besar langganan daya

Gedung	Daya langgan lama	Total beban terpasang	Daya langgan baru
MIPA	345 S3TM	234,167	240 S3TM
T. Elektro	240 S3TM	137,198	147 S2TR
T. Mesin	240 S3TM	157,032	164 S2TR
T. Kimia & Dekanat	240 S3TM	194,027	197 S2TR
Dekanat Peternakan	240 S3TM	66,912	82,5 S2TR
Lab Peternakan	240 S3TM	137,585	147 S2TR
FPIK.FKM, Psikologi	240 S3TM	106,209	131 S2TR
T. Sipil	240 S3TM	209,635	Tetap
T. Arsitektur	240 S3TM	264,816	Tetap
Widya Puraya	240 S3TM	246,872	Tetap
Gedung Prof. Soedharto	240 S3TM	255,563	Tetap
DIII Teknik	42 S2TR	105,684	Tetap
Laboratorium DIII Teknik	66 S2TR	51,039	Tetap
Rektorat	53 S2TR	70,424	Tetap

Dari penurunan langganan daya di atas diperoleh penghematan biaya seperti yang ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 3.5 Besar penghematan biaya setelah perubahan langganan daya

Gedung	Besar penghematan rata-rata (perbulan)	Besar penghematan rata-rata (pertahun)
MIPA	Rp3.097.500,00	Rp37.170.000,00
T. Elektro	Rp5.904.620	Rp70.855.440,00
T. Mesin	Rp3.756.037	Rp45.072.444,00
T. Kimia & Dekanat Teknik	Rp3.983.363	Rp47.800.356,00
Dekanat Fapet	Rp4.378.188	Rp52.538.259,43
Laboratorium Peternakan	Rp3.173.220	Rp38.078.640,00
FPIK.FKM, Psiko	Rp4.175.343	Rp50.104.116,00
Total	Rp28.468.271,29	Rp341.619.255,43

3.1.3 Efisiensi dan Kapasitas Trafo

Dari hasil pengukuran sisi primer dan sekunder trafo diperoleh besarnya rugi-rugi serta efisiensi trafo. Selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 3.6 Faktor daya, rugi-rugi dan efisiensi trafo

Gedung	faktor daya sisi primer	Rugi (kW)	Efisiensi (%)
MIPA	0,484-0,836	2,47-6,73	72,24-93,94
T. Elektro	0,503-0,743	6,44-18,23	55,21-71,12
T. Mesin	0,61-0,877	1,90-5,68	75,84-88,28
T. Kimia & Dekanat Teknik	0,534-0,882	3,16-10,96	55,36-83,52
T. Sipil	0,674-0,91	1,45-5,93	83,19-89,05
Dekanat Peternakan	0,699-0,926	1,94-4,99	66,09-84,48
Lab Peternakan	0,603-0,863	0,42-4,79	63,64-94,45
FPIK.FKM, Psikologi	0,534-0,863	0,89-3,61	84,94-93,61
T. Arsitektur	0,86-0,934	1,16-4,8	90,35-95,64
Widya Puraya	0,805-0,962	1,11-4,9	88,85-96,65
Gedung Prof. Soedharto	0,393-0,735	0,85-9,49	76,12-93,17

Nilai rugi-rugi di atas merupakan total nilai rugi-rugi yang terdapat di trafo. Nilai rugi-rugi ini merupakan akumulasi dari penjumlahan rugi-rugi besi dan rugi-rugi tembaga. Rugi-rugi tembaga merupakan akumulasi dari rugi-rugi akibat rendahnya faktor daya, rugi-rugi akibat rendahnya faktor pembebanan pada trafo, rugi-rugi akibat pengaruh harmonisa, rugi-rugi pada jaringan, dan lain-lain.

Dari tabel di atas menunjukkan bahwa besar rugi-rugi berbanding terbalik dengan efisiensi. Dimana dengan semakin besarnya rugi-rugi, maka efisiensi akan semakin rendah. Meningkatnya pertambahan beban juga akan meningkatkan efisiensinya.

Efisiensi yang terjadi pada transformator secara umum rendah. Hal ini dapat disebabkan pembebanan trafo yang terlalu rendah bila dibandingkan dengan kapasitas trafo itu sendiri, rendahnya faktor daya, dan pengaruh harmonisa sehingga *losses* yang terjadi cukup besar. Jadi penggunaan trafo masih belum efisien. Efisiensi trafo yang baik besarnya antara 95–98,04%^[5]

Dari permasalahan rendahnya efisiensi trafo di atas perlu dilakukan penggantian kapasitas trafo yang sesuai. Trafo akan bekerja optimal pada pembebanan 50-80%.^[10] Berikut dilakukan analisa penentuan besar kapasitas trafo berdasarkan total beban terpasang seperti yang ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 3.7 Analisa Penggantian Kapasitas Trafo

Gedung	Total beban terpasang	Sebelum perubahan		Setelah perubahan	
		Kap Trafo (kVA)	rasio	Kap Trafo (kVA)	rasio
MIPA	234,167	1000	0,23	400	0,59
T. Elektro	137,198	1000	0,14	250	0,55
T. Mesin	157,032	630	0,25	250	0,63
T. Kimia & Dekanat	194,027	630	0,31	315	0,62
T. Sipil	209,635	400	0,52	400	0,52
T. Arsi	264,816	400	0,66	400	0,66
Dekanat Peternakan	66,912	400	0,17	100	0,67
Lab Peternakan	137,585	400	0,34	250	0,55

Widya Puraya	246,872	400	0,23	400	0,59
FPIK.FKM, Psikologi	106,209	250	0,14	200	0,55

Analisa setelah penggantian trafo dengan menggunakan total beban terpasang besar perbandingannya berkisar antara 0,52 – 0,67. Kelebihan analisa ini terletak pada perkiraan penambahan beban di masa mendatang yang masih dapat ditanggung oleh trafo. Kekurangan dari pendekatan ini adalah untuk jangka pendek faktor pembebanannya masih relatif rendah karena pada kenyataannya tidak semua beban dipakai secara bersamaan.

IV PENUTUP

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisa yang telah diberikan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan, sebagai berikut:

1. Perbandingan antara kebutuhan daya maksimum (faktor kebutuhan = 0,7) dengan jenis langganan daya yang dipakai di kampus Undip Tembalang untuk masing-masing gedung juga terlalu besar, yaitu antara 0,31 – 1,64.
2. Besarnya perbandingan tersebut dengan jenis langganan daya menyebabkan biaya rekening listrik yang dikeluarkan setiap bulannya menjadi sangat mahal ditambah dengan adanya denda penalti akibat rendahnya faktor daya.
3. Dengan penurunan besar langganan daya diperoleh efisiensi biaya rata-rata sebesar Rp 28.468.271,29 setiap bulannya atau Rp 341.619.255,43 setiap tahunnya.
4. Pengaruh harmonisa pada trafo ikut menyumbang rugi-rugi daya. Namun demikian pengaruhnya masih relatif rendah ($THD < 20\%$)
5. Daya yang hilang pada trafo (terutama rugi beban nol) juga ikut diperhitungkan dalam bentuk P_{losses} (Watt) yang ikut terhitug dalam pembacaan meter sehingga menambah beban biaya rekening listrik setiap bulannya (untuk langganan TM).
6. Besarnya perbandingan antara kebutuhan daya maksimum gedung dengan besarnya kapasitas transformator berkisar antara 0,14 - 0,66. Hal ini menyebabkan ketidakefisienan dalam penggunaannya. Trafo akan bekerja optimal jika pembebanannya 50-80%. Oleh karena itu perlu dilakukan penggantian kapasitas trafo yang sesuai dengan kebutuhan bebannya.

4.2 Saran

Ada beberapa hal yang dapat dikembangkan dari hasil analisa dalam tugas akhir ini, yaitu :

1. Penggunaan beban non linier yang semakin meningkat, pengaruh harmonisa perlu dilakukan penanganan lebih lanjut agar rugi-rugi trafo dapat ditekan.

2. Penghematan biaya tidak hanya dilakukan pada penentuan jenis langganan daya saja tetapi dapat juga dengan pemakaian peralatan yang hemat energi serta membudayakan hidup hemat energi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Zuhail, *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*, PT Gramedia, Jakarta 1995
- [2] Sulasno, *Teknik dan sistem Distribusi Tenaga Listrik*, Badan Penerbit UNDIP Semarang, Semarang, 2001
- [3] Linsley, Trevon, *Instalasi Listrik Tingkat Lanjut*, edisi ketiga, Erlangga, Jakarta, 2004
- [4] Rijono, Yon, Drs., *Dasar Teknik Tenaga Listrik*, edisi revisi, Penerbit Andi, Yogyakarta, 1997
- [5] Stigant, Austin, A.C Franklin, *The J & P transformer Book*, 10th edition, Butterworths Group, Great Britain, 1973
- [6] ---, *Pengaruh Harmonik pada Transformator Distribusi*, 2004
<http://www.elektroindonesia.com/elektro/en25tab.html>
- [7] Sutanto, Jusmin, Hernadi Buhron, *Implikasi Harmonisa dalam Sistem Tenaga Listrik dan Alternatif Solusinya*, PT. PLN (Persero) Kantor Pusat, Jakarta, 2006
- [8] Grady, W, Robert J. Gilleskie, *Harmonics And How They Relate To Power Factor*, San Diego, 1993
- [9] ---, *Transformer, Lessons In Electric Circuits -- Volume II* Chapter 9
http://www.ibiblio.org/obp/electricCircuits/AC_9.html
- [10] ---, *Manajemen Trafo Area Pelayanan Kediri*, PT. PLN (Persero) Area Pelayanan Kediri Unit Pelayanan Jaringan, 2002

BIODATA PENULIS



Ermawanto Lahir di Solo tanggal 12 Desember 1982, Saat ini sedang menyelesaikan studi strata 1 di Jurusan Teknik Elektro Universitas Diponegoro dengan mengambil konsentrasi Tenaga Listrik.

Mengetahui dan menyetujui,

Pembimbing I

Pembimbing II

Ir. Agung Warsito, DHET
NIP. 131 668 485

Karnoto, ST
NIP. 132 162 547