

Analisa Pengaruh Ketidakseimbangan Beban terhadap Efisiensi Listrik dalam Rangka Konservasi Energi di Gedung Rektorat UIN Suska Riau

Liliana

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Sultan Syarif Kasim Riau
lili@enreach.or.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan mengetahui kerugian daya aktif yang ditimbulkan oleh arus pada kawat netral transformator akibat ketidakseimbangan beban di gedung Rektorat UIN Suska Riau. Pengukuran arus, tegangan, daya dan faktor daya dilakukan pada pagi, siang dan sore hari untuk diketahui berapa besar ketidakseimbangan arus fasa yang terjadi sehingga berpotensi meningkatkan arus pada kawat netral transformator. Semakin besar nilai arus netral maka rugi-rugi daya aktifpun semakin besar. Dari Hasil penelitian diketahui untuk tiga kondisi pengukuran nilai rugi-rugi daya terbesar akibat perbedaan arus fasa berada di kondisi siang hari dimana saat kondisi ini terdapat perbedaan arus fasa yang cukup signifikan sehingga berdampak meningkatnya aliran arus pada kawat netral dengan kerugian daya mencapai 260.167 Watt .

Kata Kunci : Rugi-rugi daya aktif, ketidaksetimbangan beban, arus fasa, arus netral, transformator

Abstract

This research aim to know loss of active power generated by current at neutral line of transformator effect of laod imbalance in building of Rektorat UIN Suska Riau. Measurement of current, voltage, power factor and power were done in morning, evening and noon in order to be known how big current imbalance of phasa that happened so that have potency to improve current at neutral line of transformator. Ever greater of neutral current value hence active power loss ever greater. From Result of research known to three condition of measurement of losses of power biggest value energy effect of difference of current of phasa in the condition of daytime where moment of condition this there are difference of current of phasa which enough signifikan so that affect the increasing of current at neutral line with power losses was reaching 260.167 Watt.

Keywords : Losses active power, load imbalance, phase current, neutral current, transformator.

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Saat ini Riau masih defisit listrik, bagaimana tidak sub sistem Riau hanya mampu memasok listrik 90.33 MW Padahal, kebutuhan listrik Riau saat beban puncak dapat mencapai 225,80 MW [7]. Sistem kelistrikan di Riaupun sampai saat ini masih mengandalkan bahan bakar minyak dan batu bara, mahalnya harga jual listrik menyebabkan pemerintah sampai saat ini tetap memberi subsidi terutama bagi pelanggan di bawah 6.600 VA.

Melalui program konservasi energi nasional berdasarkan UU.30 tahun 2007 masalah energi bukan saja menjadi tanggung jawab pemerintah dan pengusaha saja melainkan seluruh lapisan masyarakat juga ikut bertanggung jawab terhadap kelangsungan energi untuk kelangsungan hidup di masa akan datang.

Dalam mengurangi beban subsidi langkah penghematan pemakaian energi listrik sudah menjadi suatu "keharusan". Salah satu faktor penyebab kerugian energi listrik saat ini adalah penggunaan beban-beban non linier seperti komputer, printer, scanner, atau peralatan elektronik dimana banyak terdapat bahan semikonduktor yang dapat mengakibatkan distorsi pada gelombang yang berakibat ketidakseimbangan pada nilai arus dan tegangannya [3]. Peralatan-peralatan yang disebutkan ini umumnya terdapat di perkantoran.

UIN Suska Riau sebagai lembaga akademik tidak dipungkiri sangat banyak menggunakan beban-beban non linier seperti yang disebutkan di atas untuk kelancaran administrasi, penelitian, pengajaran, pengabdian dan kegiatan penunjang lainnya. Tentu saja akibat penggunaan beban tersebut bisa saja berdampak kepada kualitas penyaluran daya listrik. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi pengaruh beban tersebut terhadap besarnya losses yang dihasilkan.

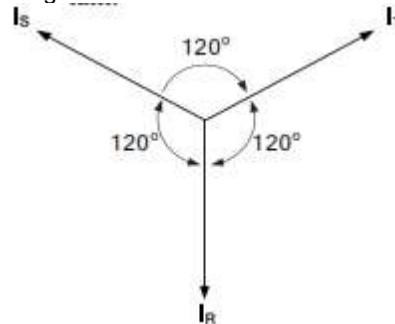
UIN Suska Riau sampai saat ini telah memiliki langganan daya sebesar 1000 kVA. Penelitian ini difokuskan pada Gedung Rektorat UIN Suska Riau yang merupakan salah satu gedung utama di UIN Suska Riau di mana energi listrik digunakan dalam jumlah lebih besar dari 50% dari total langganan untuk operasional perkantoran. Gedung rektorat ini terdiri dari lima lantai yang memiliki peralatan listrik seperti komputer, air conditioner, printer, dan peralatan elektronik lainnya yang mengandung bahan semikonduktor yang berpotensi dapat mengakibatkan ketidakseimbangan pada nilai arus dan tegangannya.

Studi tentang penggunaan energi listrik di Gedung Rektorat UIN Suska Riau pada tahun 2011 telah dilakukan oleh PT. ENERGY MANAGEMENT INDONESIA (PERSERO) yang menghasilkan profil penggunaan energi listrik dan pada tahun ini juga telah dilaksanakan penelitian oleh Liliana, Kunaifi, 2011 tentang profil energi khususnya pada gedung rektorat UIN Suska Riau. Hasilnya pemakaian energi di lingkungan rektorat masuk dalam kategori efisien namun masih banyak peluang penghematan dapat dilakukan agar efisiensi dapat lebih maksimal, selain pengaturan penggunaan peralatan listrik yang telah direkomendasikan oleh peneliti sebelumnya, kajian terhadap besarnya rugi-rugi yang terjadi yang merupakan salah satu faktor yang dapat mengurangi efisiensi penggunaan energi di gedung rektorat UIN Suska Riau juga harus diperhatikan.

1.2 Tinjauan Pustaka

1.2.1 Beban Setimbang dan Tidak Setimbang

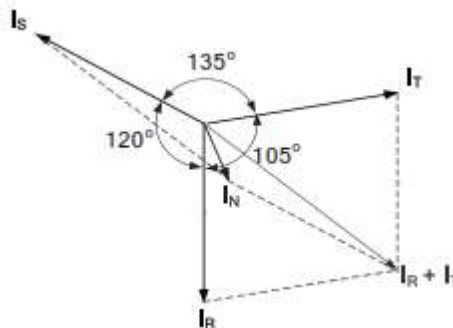
Yang dimaksud dengan keadaan seimbang adalah suatu keadaan dimana ketiga vektor arus ataupun tegangan adalah sama besar dengan membentuk sudut 120° satu sama lain.



Gambar 1 vektor arus beban setimbang

Dari gambar di atas menunjukkan vektor diagram arus dalam keadaan setimbang. Disini terlihat bahwa penjumlahan ketiga vektor arusnya ($I_R I_S I_T$) adalah sama dengan nol sehingga tidak muncul arus netral. Sedangkan yang dimaksud dengan keadaan tidak setimbang adalah keadaan dimana salah satu atau kedua syarat keadaan setimbang tidak terpenuhi. Kemungkinan keadaan tidak setimbang ada tiga yaitu (Setiadji, dkk, 2006):

1. Ketiga vektor sama besar tetapi tidak membentuk sudut 120° satu sama lain.
2. Ketiga vektor tidak sama besar tetapi membentuk sudut 120° satu sama lain
3. Ketiga vektor tidak sama besar dan tidak membentuk sudut 120° satu sama lain.



Gambar 2. Vektor arus beban tidak setimbang

Dari gambar di atas menunjukkan vektor diagram arus dalam keadaan tidak setimbang. Disini terlihat bahwa penjumlahan ketiga vektor arusnya ($I_R I_S I_T$) adalah tidak sama dengan nol sehingga muncul suatu besaran yaitu arus netral (I_N) yang besarnya bergantung pada seberapa besar faktor ketidakseimbangannya.

1.2.2 Perhitungan Arus Beban Penuh dan Arus Hubung Singkat

Daya transformator bila ditinjau dari sisi tegangan tinggi pada belitan primer adalah [5]:

$$S = \sqrt{3} V I \dots\dots\dots (1)$$

dimana

S : daya semua (KVA)

V: Tegangan primer transformator (Volt)
 I : Arus jala-jala (A)

Sehingga untuk menghitung arus beban penuh (Full Load) didapatkan

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3}V} \dots\dots\dots (2)$$

Dimana

I_{FL} : Arus beban penuh (A)
 V : Tegangan sisi sekunder (Volt)

1.2.3 Ketidakseimbangan Beban

$$I_{rata-rata} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} \dots\dots\dots (3)$$

Dimana besarnya arus fasa dalam keadaan dalam keadaan seimbang (I) sama dengan besarnya arus rata-rata, maka koefisien a, b dan c diperoleh dengan:

$$a = \frac{I_R}{I} \dots\dots\dots (4)$$

$$b = \frac{I_S}{I} \dots\dots\dots (5)$$

$$c = \frac{I_T}{I} \dots\dots\dots (6)$$

Dalam keadaan setimbang koefisien a b c sama dengan 1 maka rata-rata ketidakseimbangan beban dalam (%) adalah

$$= \left\{ \left(\frac{|a-1| + |b-1| + |c-1|}{3} \right) \times 100\% \right\} \dots\dots\dots (7)$$

1.2.4 Rugi-Rugi pada Penghantar Netral Transformator

Akibat ketidakseimbangan beban pada ketiga arus saluran mengakibatkan terdapatnya arus netral pada transformator sehingga menyebabkan rugi-rugi yang besarnya [1]:

$$P_N = I_N^2 \cdot R_N \dots\dots\dots (8)$$

P_N : rugi-rugi pada penghantar netral trafo (Watt)
 I_N : arus yang mengalir pada netral trafo (A)
 R_N : tahanan penghantar netral trafo (Ω)

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengamati besarnya rugi- rugi listrik pada transformator yang terjadi akibat ketidakseimbangan arus dan tegangan tiga fasa karena pemakaian energi listrik di gedung rektorat UIN Suska Riau.

1.4 Batasan Masalah

Karena banyaknya faktor yang mempengaruhi dalam analisa rugi-rugi daya pada trafo, maka dalam penelitian ini dilakukan pembatasan permasalahan sehingga bisa lebih terarah yaitu :

1. Data penelitian terdiri dari tiga sesi yaitu pada pagi, siang dan sore hari
2. Penelitian dilakukan pada gedung rektorat UIN Suska Riau
3. Pembahasan rugi-rugi transformator berdasarkan arus netral yang mengalir akibat ketidakseimbangan beban

2. Metode Penelitian

Bahan atau materi yang diperlukan dalam penelitian ini adalah:

1. Buku teks sebagai acuan yang ada kaitannya dengan permasalahan dalam penelitian ini yang menyangkut analisis sistem tenaga dan pembangkitan tersebar.
2. Makalah dan jurnal sebagai acuan yang ada kaitannya dengan permasalahan dalam penelitian ini yang menyangkut analisis sistem tenaga dan pembangkitan tersebar.
3. Data transformator 1000kVA UIN Suska Riau dan data pengukuran arus, tegangan, dan faktor daya. Khusus data pengukuran yang digunakan bersumber dari data audit energi oleh PT. ENERGY MANAGEMENT INDONESIA (PERSERO):

Alat yang dipakai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Perangkat keras komputer (Compac Presario CQ42), dengan spesifikasi :
 - AMD Turion™ x2 (1,6 GHz)
 - 14.1" Ultra Vivid 200nit widescreen display
 - ATI Radeon® Xpress 1100
 - HDD 60 GB 5400rpm SATA
 - Memory DDR2 1 GB
2. Sistem operasi Windows 7 Home Edition
3. Printer HP deskjet D2466
4. Power Quality sebagai alat ukur dan rekam data arus, tegangan, dan daya.

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini agar didapatkan besarnya rugi –rugi yang terdapat pada transformator adalah :

1. Melakukan pengukuran arus, tegangan , daya, dan faktor daya saat kondisi listrik hidup pada waktu pagi, siang, dan malam hari.
2. Dari data yang di dapat dapat dilihat besarnya ketidakseimbangan beban apakah berpengaruh kepada besarnya arus, tegangan, dan faktor dayanya.
3. Jika terjadi arus/tegangan yang tidak setimbang pada sistem tiga fasa di gedung rektorat UIN Suska Riau maka dilakukan perhitungan dan analisa besarnya arus pada transformator dan arus pada beban penuh,
4. Untuk ketiga kondisi pengukuran akan dilihat besarnya arus netral yang terjadi sehingga dapat diketahui rugi-rugi pada penghantar netral transformator.
5. Akan dilihat dan dianalisa potensi kerugian terbesar untuk ketiga kondisi tersebut.

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil penelitian terdiri dari hasil pengukuran dan hasil analisis, pengukuran dilakukan untuk tiga kondisi yaitu pada pagi hari, siang hari, dan malam hari kemudian dilakukan analisa untuk tiap kondisi sampai dihasilkan besarnya rugi-rugi pada kawat netral transformator.

Tabel. 4.1 Hasil Pengukuran tegangan, arus, daya, faktor daya dan arus netral pada transformator

| Waktu | Tegangan (Volt) | | | Arus (Ampere) | | | Daya | | | Arus Netral (Ampere) | PF |
|----------------------|-----------------|-----|-----|---------------|------|------|----------|---------|--------|----------------------|------|
| | Vr | Vs | Vt | Ir | Is | It | P (watt) | Q (Var) | S (VA) | | |
| Pagi (6.03 WIB) | 235 | 233 | 234 | 22.9 | 28.8 | 28.9 | 15500 | 12300 | 18600 | 6.97 | 0.83 |
| Siang (12.03 WIB) | 227 | 226 | 225 | 179 | 134 | 142 | 96500 | 35100 | 106000 | 19.5 | 0.94 |
| Sore (17.03 WIB) | 234 | 233 | 233 | 60.2 | 61.7 | 67.2 | 38400 | 21100 | 43800 | 1.01 | 0.84 |

Transformator yang digunakan di UIN Suska Riau termasuk jenis transformator distribusi yang merupakan step down transformator dengan spesifikasi sebagai berikut:

Spesifikasi Trafo 10 kVA

Kapasitas : 10 kVA
 Buatan Pabrik : PT. Asah Utama
 Type : indoor/outdoor
 Input : 20kV
 Output : 220 V/380 V
 Fasa/frekuensi : 3 Fasa/ 50 Hz

Dari hasil pengukuran tanggal 20 Oktober 2011 penggunaan listrik di gedung Rektorat UIN Suska Riau didapatkan hasil sebagai berikut :

1. Pengukuran di pagi hari pukul 6.03 WIB
 - Didapatkan nilai tegangan yang tidak setimbang, walau perbedaan besarnya nilai tidak terlalu signifikan namun dapat dikatakan bahwa terjadi ketidakseimbangan tegangan untuk ketiga fasa.
 - Didapatkan nilai arus untuk ketiga fasa dengan nilai yang berbeda
 - Didapatkan nilai daya aktif, daya reaktif, dan daya semu, sebagaimana terlihat pada tabel daya reaktif sebesar 12300 VA, sedapat mungkin daya reaktif ini bernilai kecil, karena dengan mengurangi daya reaktif maka daya aktif yang dihasilkan akan semakin besar
 - Didapatkan nilai faktor daya 0.83, semakin besar faktor daya semakin kecil rugi-rugi yang dihasilkan.

- Nilai arus netral untuk pengukuran di pagi hari ini bernilai 6,97 A, nilai arus netral ini terjadi akibat ketidaksetimbangan beban sehingga mengakibatkan arus ataupun tegangan saluran untuk ketiga fasa berbeda
2. Pengukuran di siang hari pukul 12.03 WIB
 - Didapatkan nilai tegangan yang tidak setimbang, walau perbedaan besarnya nilai tidak terlalu signifikan namun dapat dikatakan bahwa terjadi ketidakseimbangan tegangan untuk ketiga fasa.
 - Didapatkan nilai arus untuk ketiga fasa dengan nilai yang berbeda
 - Didapatkan nilai daya aktif, daya reaktif, dan daya semu, sebagaimana terlihat pada tabel daya reaktif sebesar 35100 VA, besarnya daya reaktif hampir tiga kali lipat dibandingkan pada pagi hari ini dikarenakan penggunaan listrik di gedung rektorat meningkat karena masih dalam waktu dinas, namun jika dibandingkan dengan penggunaan daya aktif yang lebih besar enam kali daya aktif di pagi hari maka nilai daya reaktif yang dihasilkan untuk kondisi di siang hari lebih kecil.
 - Penurunan daya reaktif dikarenakan terjadi peningkatan faktor daya sebesar 0.94, walaupun daya reaktif masih besar namun sudah lebih kecil dibandingkan daya reaktif yang dihasilkan untuk kondisi di pagi hari dengan faktor daya 0.83, artinya rugi-rugi yang dihasilkanpun lebih sedikit
 - Nilai arus netral untuk pengukuran di siang hari bernilai 19.5 A, nilai arus netral ini meningkat lebih dari tiga kali untuk nilai arus netral di pagi hari, ini terjadi akibat perbedaan nilai arus yang cukup signifikan antar fasa sehingga memproduksi arus netral lebih besar lagi.
 3. Pengukuran di sore hari pukul 17.03 WIB
 - Didapatkan nilai tegangan yang tidak setimbang, walau perbedaan besarnya nilai tidak terlalu signifikan namun dapat dikatakan bahwa terjadi ketidakseimbangan tegangan untuk ketiga fasa.
 - Didapatkan nilai arus untuk ketiga fasa dengan perbedaan nilai yang tidak terlalu signifikan
 - Didapatkan nilai daya aktif, daya reaktif, dan daya semu, sebagaimana terlihat pada tabel daya reaktif sebesar 21100 VA, nilai ini lebih kecil bila dibandingkan dengan besarnya penggunaan daya aktifnya, jika dibandingkan dengan kondisi pagi hari, dan bernilai lebih besar jika dibandingkan dengan kondisi siang hari
 - Didapatkan nilai faktor daya 0.84, semakin besar faktor daya semakin kecil rugi-rugi yang dihasilkan.
 - Karena perbedaan arus saluran yang memiliki nilai mendekati sama maka arus netral yang dihasilkanpun untuk pengukuran di sore hari ini bernilai 1.01 A, berkurangnya arus netral ini menandakan bahwa beban di jaringan semakin seimbang sehingga kesetimbangan arus maupun tegangan lebih terjaga sehingga rugi-rugi yang dihasilkan pada netral trafopun semakin kecil.

Hasil perhitungan untuk tiap kondisi adalah :

1. Kondisi pagi hari pukul 6.03 WIB
 - Menentukan presentasi ketidakseimbangan beban
 - Perhitungan arus beban penuh

$$I_{fl} = \frac{18600}{\sqrt{3} \cdot 380} = 28.26 \text{ A}$$

- Perhitungan ketidakseimbangan beban

$$I_{rata-rata} = \frac{22.9 + 28.8 + 28.9}{3} = 26.87 \text{ A}$$

Maka koefisien abc, berdasarkan persamaan 2.31, 2.32, dan 2.33 adalah :

$$a = \frac{22.9}{26.87} = 0.85$$

$$b = \frac{28.8}{26.87} = 1.07$$

$$c = \frac{28.9}{26.87} = 1.08$$

Sehingga rata-rata ketidakseimbangan beban :

$$= \left\{ \left(\frac{|0.85-1| + |1.07-1| + |1.08-1|}{3} \right) \times 100\% \right\} = 10 \%$$

- Menghitung rugi-rugi daya pada kawat netral transformator, R_N (tahanan netral transformator) sebesar 0.6842 ohm

$$P_N = I_N^2 \cdot R_N = (6.9)^2 \cdot 0.6842 = 32.57 \text{ Watt}$$

Dari hasil perhitungan kondisi pada pagi hari didapatkan besarnya ketidakseimbangan beban mencapai 10% maka rugi-rugi yang didapatkan dari faktor ini mencapai 32.57 Watt

2. Kondisi siang hari pukul 12.03 WIB
 - Menentukan presentasi ketidakseimbangan beban

- Perhitungan arus beban penuh

$$I_{fl} = \frac{106000}{\sqrt{3} \cdot 380} = 161.05 \text{ A}$$

- Perhitungan ketidak seimbangan beban

$$I_{rata-rata} = \frac{179+134+142}{3} = 151.67 \text{ A}$$

Maka koefisien abc, berdasarkan persamaan 2.31, 2.32, dan 2.33 adalah :

$$a = \frac{179}{151.67} = 1.18$$

$$b = \frac{134}{151.67} = 0.88$$

$$c = \frac{142}{151.67} = 0.94$$

Sehingga rata rata ketidakseimbangan beban :

$$= \left\{ \left(\frac{|1.18-1|+|0.88-1|+|0.94-1|}{3} \right) \square 100\% \right\}$$

$$= 12 \%$$

- Menghitung rugi-rugi daya pada kawat netral transformator, R_N (tahanan netral transformator) sebesar 0.6842 ohm

$$P_N = I_N^2 \cdot R_N = (19.5)^2 \cdot 0.6842 = 260.167 \text{ Watt}$$

Dari hasil perhitungan kondisi pada pagi hari didapatkan besarnya ketidakseimbangan beban mencapai 12% maka rugi-rugi yang didapatkan dari faktor ini mencapai 260.67 Watt

3. Kondisi malam hari pukul 15.03 WIB

- Menentukan presentasi ketidakseimbangan beban

- Perhitungan arus beban penuh

$$I_{fl} = \frac{43800}{\sqrt{3} \cdot 380} = 66.55 \text{ A}$$

- Perhitungan ketidak seimbangan beban

$$I_{rata-rata} = \frac{60.2+61.7+67.2}{3} = 63.03 \text{ A}$$

Maka koefisien abc, berdasarkan persamaan 2.31, 2.32, dan 2.33 adalah :

$$a = \frac{60.2}{63.03} = 0.96$$

$$b = \frac{61.7}{63.03} = 0.98$$

$$c = \frac{67.2}{63.03} = 1.07$$

Sehingga rata rata ketidakseimbangan beban :

$$= \left\{ \left(\frac{|0.96-1|+|0.98-1|+|1.07-1|}{3} \right) \square 100\% \right\}$$

$$= 4.33 \%$$

- Menghitung rugi-rugi daya pada kawat netral transformator, R_N (tahanan netral transformator) sebesar 0.00268 ohm

$$P_N = I_N^2 \cdot R_N = (6.9)^2 \cdot 0.00268 = 12.76 \text{ Watt}$$

Dari hasil perhitungan kondisi pada pagi hari didapatkan besarnya ketidakseimbangan beban mencapai 4.33 % maka rugi-rugi yang didapatkan dari faktor ini mencapai 12.76 Watt.

Untuk ketiga kondisi di atas nampak jelas bahwa rugi-rugi yang dihasilkan berada pada kondisi pada siang hari, dimana pada saat tersebut penggunaan energi listrik di gedung rektorat UIN Suska Riau berada pada posisi maksimal dengan pemakaian daya aktif 96500 Watt, daya reaktif 35100 VAR, dan daya semu sebesar 106000 VA. Rugi-rugi terjadi akibat adanya arus netral yang cukup besar, hal ini dapat disebabkan adanya ketidaksetimbangan beban yang mengakibatkan perbedaan arus fasa yang cukup signifikan dan bisa juga karena arus harmonisa akibat beban-beban linier seperti komputer, printer, scanner, atau peralatan elektronik yang mengandung bahan semikonduktor sebagai penyumbang terjadinya ketidaksetimbangan arus fasa [3].

4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian Analisa Pengaruh Ketidakseimbangan Beban terhadap Efisiensi Listrik dalam Rangka Konservasi Energi di Gedung Rektorat UIN Suska Riau didapatkan hasil :

1. Terdapatnya ketidakseimbangan arus fasa yang mengakibatkan mengalirnya arus pada kawat netral transformator baik pada kondisi pagi, siang, maupun sore hari.
2. Ketidakseimbangan arus fasa tertinggi terdapat saat kondisi siang hari sebesar 12% dengan pemakaian daya aktif 96500 Watt, daya reaktif 35100 VAR, dan daya semu sebesar 106000 VA sehingga rugi-rugi daya yang terjadipun cukup besar yaitu sebesar 260.167 Watt.

Referensi

- [1] Ermawanto, Analisa Berlangganan Listrik antara Tegangan Menengah (TM) dengan Tegangan Rendah (TR) dan Analisa Efisiensi Trafo dalam Rangka Konservasi Energi Kampus UNDI Tembalang, Universitas Diponegoro, 2006.
- [2] Liliana, Kunaifi, Analisa Penurunan Biaya Listrik di Gedung Rektorat UIN Suska Riau melalui Program Manajemen Energi, Laporan Penelitian UIN Suska Riau, Pekanbaru, 2011.
- [3] Mulyana, Pengukuran Harmonisa Tegangan dan Arus Listrik di Gedung Direktorat TIK Universitas Pendidikan Indonesia, Padang, 2011.
- [4] Setiadji, dkk, Pengaruh Ketidakseimbangan Beban terhadap Arus Netral dan Losses pada Trafo Distribusi, Jurnal Teknik Elektro Vol. 6, No. 1, Maret 2006, Universitas Kristen Petra, 2006.
- [5] Sumanto, Teori Transformator, Penerbit Andi Yogyakarta, 1996.
- [6] PT. Energy Management Indonesia (Persero), Audit Energi di Sektor Bangunan, 2011.
- [7] [Http://www.riauterkini.com](http://www.riauterkini.com)