

ANALISIS HASIL PENGUKURAN KUALITAS DAYA ENERGI LISTRIK PADA INDUSTRI TEKSTIL

Achmad Hasan

Pusat Teknologi Konversi dan Konservasi Energi
Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi
E-mail: hasan_bppt@yahoo.com ; achmad.hasan@bppt.go.id

Abstract

Primary energy used in the production process of PT. Textile Industries is the electric energy and thermal energy. The electrical energy supplied by PT. PLN (Persero) with contractual power of 5540 kVA, and has 5 units with a capacity of 2500 kVA transformer (1 unit), 2,000 kVA (2 units), and 1,250 kVA (2 units). From the analysis of several potential energy saving electrical system supply side can be recorded as follows: An unbalanced load can result in decreased system efficiency by 2%. Optimizing the performance of the capacitor bank regulators so that the work factor to achieve an optimum value (0.9). Losses incurred due to the low power factor can be calculated based on the following approaches: $Losses = [1 - \{pf_{low}/pf_{high}\}^2] \times 100\%$. Losses in the transformer-1 (2000 kVA) is 479.8 kW, transformer-3 (2000 kVA) is 834.2 kW, transformer-4 (1250 kVA) is 521.4 kW, and transformer-5 (1250 kVA) is 125 kW. Current THD (total harmonic distortion) reduction to < 5%. Replacement transformer so in accordance with the optimum loading and maximum efficiency from 9000 kVA to 6660 kVA. This replacement will reduce losses as high as zero load is usually equal to 3%.

Kata kunci: energi, penghematan, kelistrikan, faktor daya, transformator

1. PENDAHULUAN

PT. Textile Industries adalah perusahaan yang bergerak dibidang industri tekstil yang berorientasi ekspor dan merupakan perseroan terbatas yang berdiri pada akhir 1989. Energi utama yang digunakan pada proses produksi PT. Textile Industries adalah energi listrik dan energi termal (uap panas). Energi listrik dipasok oleh PT. PLN (Persero) dengan kontrak daya sebesar 5.540 kVA, dan memiliki 5 unit trafo dengan kapasitas 2.500 kVA (1 unit), 2.000 kVA (2 unit), dan 1.250 kVA (2 unit). PT. Textile Industries juga membutuhkan energi termal dalam bentuk uap yang dihasilkan dari 2 unit boiler berbahan bakar gas dimana 1 unit boiler dalam keadaan *standby* yang diperlukan untuk proses *heat setting*. Selain itu terdapat 1 unit *oil heater*, 7 unit kompresor dengan jenis yang sama tetapi berbeda seri yang masing-masing dengan daya : 37 kW (4 unit kompresor), 275 kW (2 unit kompresor), 15 kW (1 unit kompresor). Kompresor jenis GA 75 mempunyai kapasitas 204 ltr/det dan kompresor GA 37 mempunyai kapasitas 82 liter/detik. 5 unit kompresor GA 75 (3 unit) dan GA 37 (2 unit)

bekerja secara paralel. 2 unit kompresor GA 37 digunakan di *spinning* dimana 1 unit kompresor dalam keadaan *standby* dan diperlukan pada proses *ring frame*, serta setiap tahapan proses menggunakan sumber energi listrik.

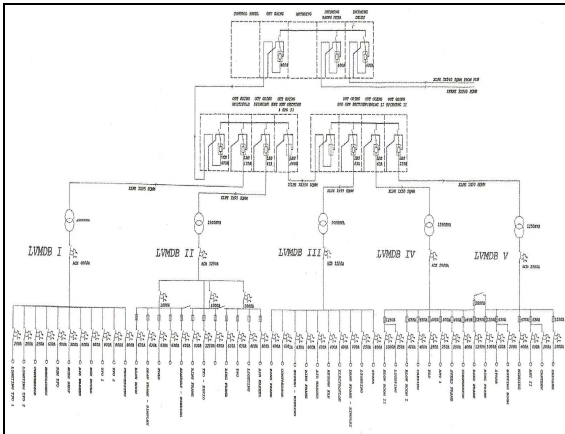
PT. Textile Industries memiliki 1 unit *chiller* untuk pendingin di ruangan produksi, 11 unit *air washer*, yaitu : 10 unit di *spinning 1*, dan 1 unit untuk *bed process*. Selain itu terdapat 1 unit *cooling tower* untuk keperluan di *spinning 2*. Jumlah lampu penerangan di PT. Textile Industries sebanyak ± 4.000 buah dengan menggunakan lampu TL5 (28 W, 36 W). Yang sudah menggunakan *ballast* elektronik sebanyak 40% di *spinning 1* (ruangan *new session* & bordir lama), sedangkan yang masih menggunakan *ballast* biasa sebanyak 60% di *spinning 2* (ruangan produksi dan perkantoran).

2. BAHAN DAN METODE

Energi listrik di PT. Textile Industries disuplai oleh PT. PLN (Persero) melalui jaringan SUTM (Saluran Udara Tegangan Menengah) dan lemari panel (MDP) tegangan menengah 20 kV,

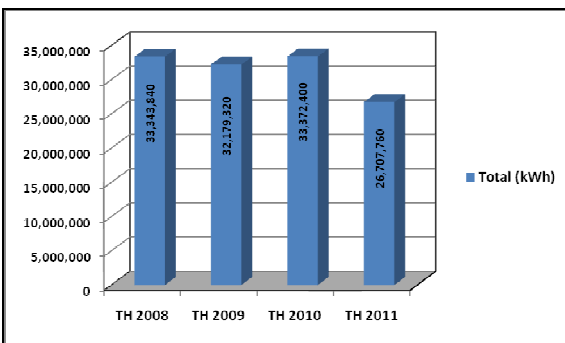
kemudian disalurkan ke dalam pabrik melalui 5 unit transformator milik PT. Textile Industries dengan kapasitas masing-masing 2.500 kVA (1 buah), 2.000 kVA (2 buah), dan 1.250 kVA (2 buah).

Distribusi sistem kelistrikan di PT. Textile Industries seperti ditunjukkan oleh *single line diagram* pada gambar 1.

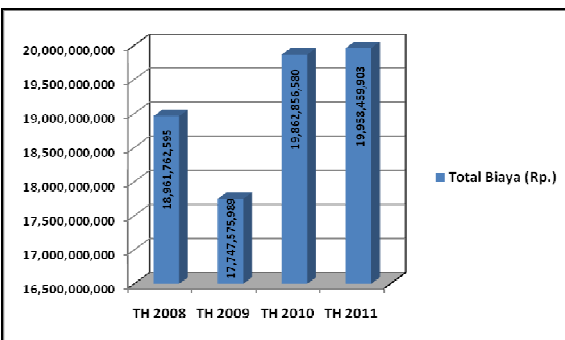


Gambar 1. Single line diagram sistem kelistrikan

Transformator-1 mendistribusikan listrik ke area *weaving* dan area persiapan termasuk kanji dan pengeringan. Pendistribusian daya berasal dari panel induk yang menyatu dengan sub-panel. Pada panel induk juga sudah terpasang kapasitor *bank* sehingga faktor daya di tempat tersebut mendekati 1.



Gambar 2. Diagram konsumsi energi listrik



Gambar 3. Diagram total biaya energi listrik

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Sistem Kelistrikan

3.1.1. Hasil Pengukuran Kualitas Daya

Kualitas daya sangat erat hubungannya dengan hal-hal sebagai berikut:

- Fluktuasi tegangan, merupakan rentang perubahan tegangan maksimum dan minimum. Besarnya tegangan sangat berpengaruh terhadap pengoperasian suatu peralatan. Apabila tegangan yang disuplai ke beban melebihi tegangan nominalnya maka akan terjadi *over voltage* dan kemungkinan terjadinya gradien tegangan lebih besar, dan bisa menyebabkan *discharge*. Sebaliknya bila tegangannya rendah jauh melebihi tegangan nominalnya, akan berakibat terhadap tidak berfungsinya peralatan listrik dengan baik, dan juga dapat menyebabkan arus lebih. Fluktuasi tegangan menunjukkan karakteristik fluktuasi beban konsumen, semakin rendah fluktuasi tegangan menunjukkan kondisi beban cukup baik.
- Ketidakseimbangan tegangan merupakan prosentase perbedaan tegangan antar fasa. Ketidakseimbangan tegangan terjadi apabila tegangan tiap fasa mempunyai besar dan sudut tegangan yang tidak standar, sehingga tegangan antara fasa tidak sama. Ketidakseimbangan tegangan sangat berpengaruh terhadap beban tiga fasa seperti transformator dan motor. Hal ini akan menyebabkan kenaikan temperatur, rugi-rugi panas dan energi serta penurunan kemampuan operasi.
- Ketidakseimbangan arus beban. Idealnya arus masing-masing fasa sebaiknya sama besar. Bila arus fasa tidak seimbang, maka akan berakibat terhadap pemanasan peralatan terutama pada transformator dan motor.
- Harmonisa tegangan merupakan gelombang distorsi yang merusak bentuk gelombang fundamental (sinusoidal) tegangan, sehingga bentuk gelombang tegangan menjadi buruk (tidak sinusoidal murni). Harmonisa tegangan ini dapat menyebabkan terjadinya pemanasan dan kualitas operasi yang buruk pada kinerja peralatan.
- Harmonisa arus merupakan gelombang distorsi yang merusak bentuk gelombang fundamental (sinusoidal) arus, sehingga bentuk gelombang arus menjadi buruk (tidak sinusoidal murni). Penyebab utama timbulnya harmonik arus adalah adanya peralatan listrik yang bersifat non linier, seperti komputer, inverter, UPS, DC *drive* dan *battery chargers*. Adanya harmonisa arus ini dapat

menyebabkan beberapa kerugian pada peralatan di antaranya *overheating*, penurunan *life time* peralatan dan rugi-rugi energi.

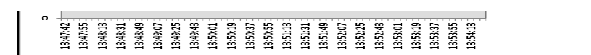
- f. Faktor daya merupakan pergeseran fasa antara tegangan dan arus, yang didapatkan dari perkalian bilangan kompleksnya. Faktor daya dapat bersifat *leading* (arus mendahului tegangan) dan dapat juga *lagging* (arus tertinggal dari tegangan). Faktor daya *leading* disebabkan oleh beban yang bersifat kapasitif dan *lagging* karean beban induktif. Faktor daya yang rendah dapat menyebabkan peningkatan rugi-rugi pada saluran, tidak optimalnya kontrak daya (kVA) dan biaya tambahan akibat denda faktor daya.

Berkaitan dengan kualitas daya listrik pada PT. Textile Industries, perlu dilakukan pengukuran di beberapa titik terutama pada sisi MDP (*Main Distribution Panel*) dan SDP (*Sub Distribution Panel*), namun pada saat melakukan pengukuran terdapat banyak kendala seperti, sempitnya ruang gerak untuk melakukan pengukuran, kesulitan dalam memasang alat ukur dan lain sebagainya, sehingga pengukuran dengan HIOKI 3286-20 hanya dilakukan pada beberapa tempat sebagai berikut:

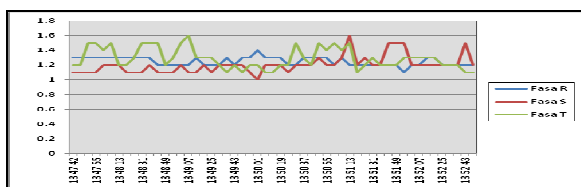
- a. Pengukuran dengan alat ukur Hioki tipe 3286-20 pada trafo-1 dengan kapasitas 2.000 kVA yang melayani LVMDB I sebanyak 11 unit motor dengan hasil seperti dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengukuran trafo-1 (2.000 kVA)

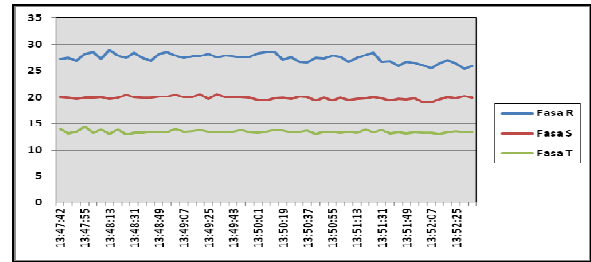
No.	Parameter	Fasa R	Fasa S	Fasa T
1	Tegangan (V), Volt	404,00	407,00	407,00
2	Arus (I), Ampere	96,80	65,10	125,10
3	Daya aktif (P), kW	31,60	35,10	53,60
4	Daya kompleks (S), kVA	67,70	45,90	88,20
5	Faktor daya (PF)	0,47	0,76	0,61
6	Daya reaktif (Q), kVAr	59,90	29,60	70,00
7	Harmonik tegangan (THD V %)	4,05	4,06	4,06
8	Harmonik arus (THD I %)	27,40	19,80	13,40



Gambar 4. Grafik pengukuran faktor daya



Gambar 5. Grafik pengukuran THD tegangan

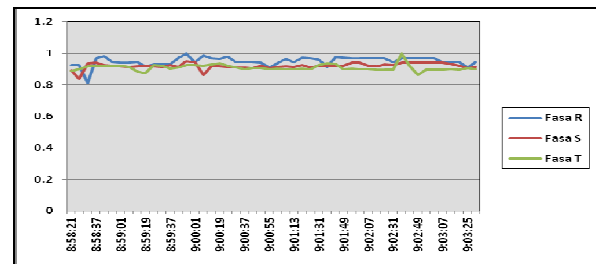


Gambar 6. Grafik pengukuran THD arus

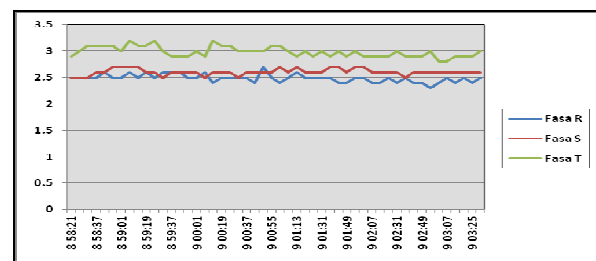
- b. Pengukuran dengan alat ukur Hioki tipe 3286-20 pada trafo-2 dengan kapasitas 2.500 kVA yang melayani LVMDB II sebanyak 12 unit motor dengan hasil seperti dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengukuran trafo-2 (2.500 kVA)

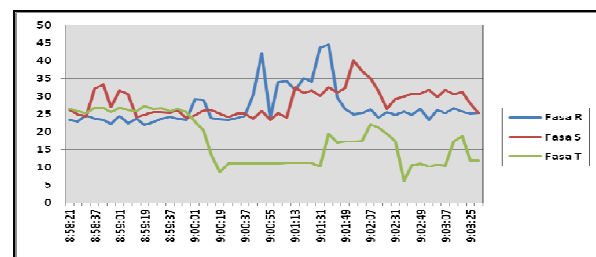
No.	Parameter	Fasa R	Fasa S	Fasa T
1	Tegangan (V), Volt	386,00	386,00	385,00
2	Arus (I), Ampere	36,90	34,70	36,00
3	Daya aktif (P), kW	22,80	20,70	21,30
4	Daya kompleks (S), kVA	24,60	23,20	24,00
5	Faktor daya (PF)	0,92	0,89	0,89
6	Daya reaktif (Q), kVAr	9,40	10,50	10,90
7	Harmonik tegangan (THD V %)	2,50	2,50	2,90
8	Harmonik arus (THD I %)	23,30	26,10	26,40



Gambar 7. Grafik pengukuran faktor daya



Gambar 8. Grafik pengukuran THD tegangan

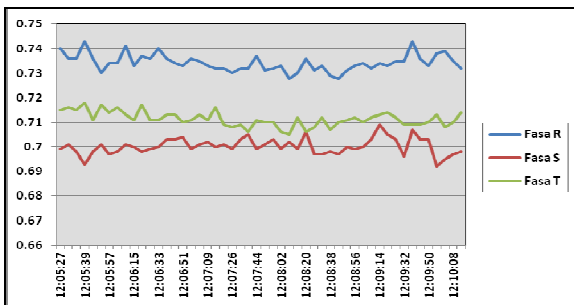


Gambar 9. Grafik pengukuran THD arus

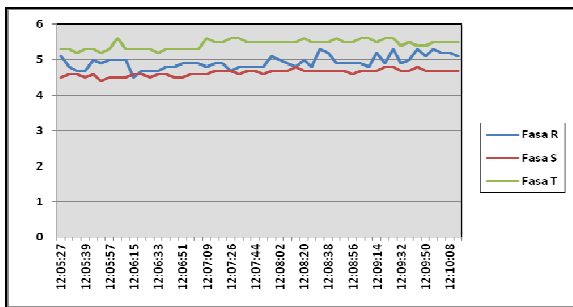
- c. Pengukuran dengan alat ukur Hioki tipe 3286-20 pada trafo-3 dengan kapasitas 2.000 kVA yang melayani LVMDB III sebanyak 10 unit motor dengan hasil seperti dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Hasil pengukuran trafo-3 (2.000 kVA)

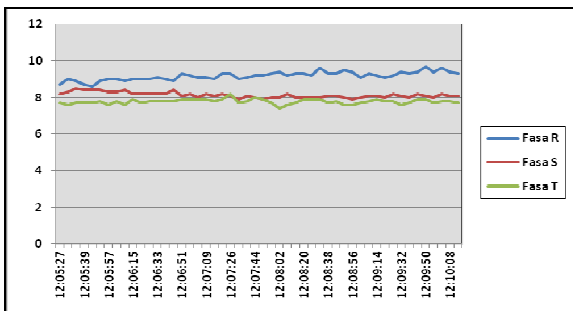
No.	Parameter	Fasa R	Fasa S	Fasa T
1	Tegangan (V), Volt	389,00	384,00	381,00
2	Arus (I), Ampere	257,00	248,00	262,00
3	Daya aktif (P), kW	127,90	115,00	123,60
4	Daya kompleks (S), kVA	172,80	164,60	172,90
5	Faktor daya (PF)	0,74	0,70	0,71
6	Daya reaktif (Q), kVAr	116,10	117,70	120,90
7	Harmonik tegangan (THD V %)	5,10	4,50	5,30
8	Harmonik arus (THD I %)	8,70	8,20	7,70



Gambar 10. Grafik pengukuran faktor daya



Gambar 11. Grafik pengukuran THD tegangan

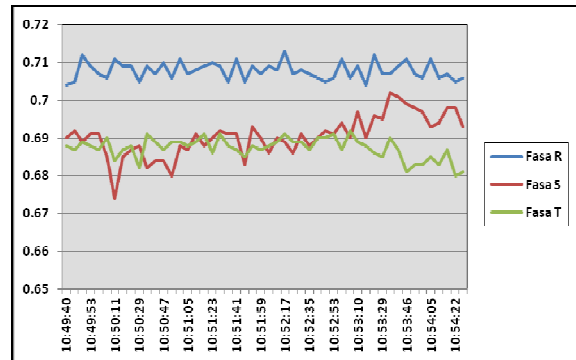


Gambar 12. Grafik pengukuran THD arus

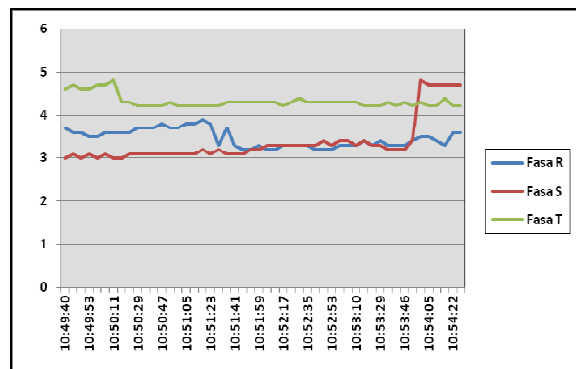
- d. Pengukuran dengan alat ukur Hioki tipe 3286-20 pada trafo-4 dengan kapasitas 1.250 kVA yang melayani LVMDB IV sebanyak 9 unit motor dengan hasil seperti dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Hasil pengukuran trafo-4 (1.250 kVA)

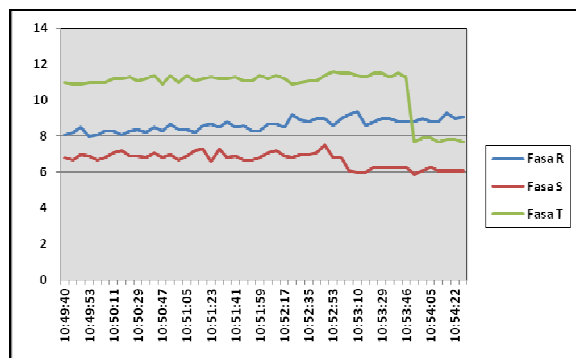
No.	Parameter	Fasa R	Fasa S	Fasa T
1	Tegangan (V), Volt	387,00	386,00	383,00
2	Arus (I), Ampere	214,00	215,00	194,50
3	Daya aktif (P), kW	100,70	99,20	88,70
4	Daya kompleks (S), kVA	143,00	143,70	128,90
5	Faktor daya (PF)	0,70	0,69	0,69
6	Daya reaktif (Q), kVAr	101,50	104,00	93,50
7	Harmonik tegangan (THD V %)	3,70	3,00	4,60
8	Harmonik arus (THD I %)	8,10	6,80	11,00



Gambar 13. Grafik pengukuran faktor daya



Gambar 14. Grafik pengukuran THD tegangan

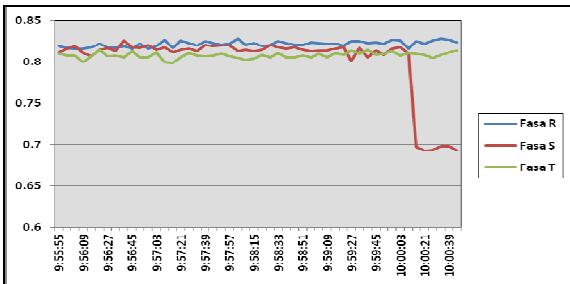


Gambar 15. Grafik pengukuran THD arus

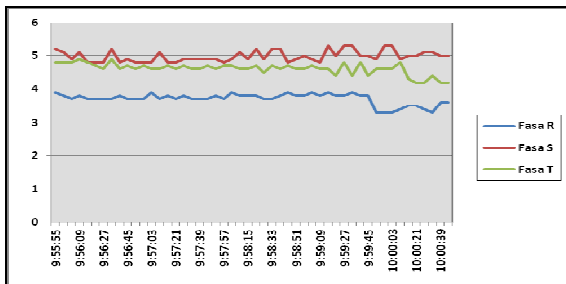
- e. Pengukuran dengan alat ukur Hioki tipe 3286-20 pada trafo-5 dengan kapasitas 1.250 kVA yang melayani LVMDB V sebanyak 7 unit motor dengan hasil seperti dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5. Hasil pengukuran trafo-5 (1.250 kVA)

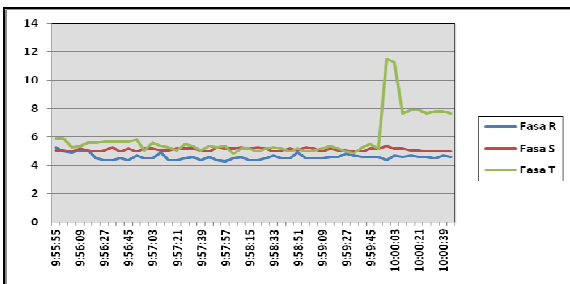
No.	Parameter	Fasa R	Fasa S	Fasa T
1	Tegangan (V), Volt	392,00	388,00	389,00
2	Arus (I), Ampere	230,00	239,00	229,00
3	Daya aktif (P), kW	128,20	130,30	124,70
4	Daya kompleks (S), kVA	156,60	160,50	154,10
5	Faktor daya (PF)	0,82	0,81	0,81
6	Daya reaktif (Q), kVAr	89,80	93,70	90,40
7	Harmonik tegangan (THD V %)	3,90	5,20	4,80
8	Harmonik arus (THD I %)	5,30	5,10	5,90



Gambar 16. Grafik pengukuran faktor daya



Gambar 17. Grafik pengukuran THD tegangan



Gambar 18. Grafik pengukuran THD arus

Konsumsi energi listrik yang dibutuhkan PT. Textile Industries untuk mengoperasikan proses produksi sepanjang tahun 2008 sampai 2011 (hanya sampai bulan September 2011), dan pemakaian energi listrik dari tahun 2008 ke tahun 2009 mengalami penurunan sebesar 3,49%, dan untuk tahun 2009 ke tahun 2010 mengalami kenaikan sebesar 3,71%, sedangkan pada tahun 2011 ini diperkirakan pemakaian energi listrik kembali mengalami kenaikan sebesar 4,36% sehingga mencapai 34.827.436 kWh. Dengan demikian dapat diperkirakan pemakaian energi

listrik rata-rata per tahun sebesar 33.430.749 kWh. Kalau diasumsikan PT. Textile Industries beroperasi sepanjang tahun kecuali hari Ahad dan libur (diasumsikan semuanya berkisar 80 hari), maka dapat dihitung penggunaan daya listrik rata-rata adalah sebesar 4.974 kW atau 5.526 kVA bila faktor daya diasumsikan sebesar 0,9.

Dilihat dari daya tersambung ke PT. PLN (Persero) sebesar 5.540 kVA, maka dapat dikatakan bahwa penggunaan daya pada PT. Textile Industries sudah optimum. Namun, bila dilihat dari kapasitas 5 unit transformator (trafo-1 : 2.000 kVA, trafo-2 : 2.500 kVA, trafo-3 : 2.000 kVA, trafo-4 : 1.250 kVA, dan trafo-5 : 1.250 kVA) yang digunakan (pembebanan transformator sebesar 61,4%), ini kelihatannya *over sized*. Kapasitas transformator yang optimum adalah 6.660 kVA sehingga pembebanan transformator menjadi sebesar 83%. Dan pembebanan transformator sebesar 83% ini merupakan titik efisiensi maksimum suatu transformator.

3.2. Analisis Data

Dari hasil pengukuran kualitas daya listrik terlihat bahwa:

- Terjadi ketidakseimbangan beban yang didasarkan pada besarnya arus yang dilayani oleh masing-masing fasa pada sebagian trafo yang diukur (trafo-1, trafo-3, dan trafo-4) seperti ditunjukkan pada tabel 6. Ketidakseimbangan beban ini juga menyebabkan terjadinya ketidakseimbangan arus.

Tabel 6. Ketidakseimbangan arus pada trafo

No.	Panel	Arus (I, Ampere)		
		Fasa R	Fasa S	Fasa T
1	Trafo-1	96.8	65.1	125.1
2	Trafo-3	257.0	248.0	262.0
3	Trafo-4	214.0	215.0	194.5

- Beberapa panel mengalami faktor daya yang sangat rendah yaitu 0,46 dan yang tertinggi mencapai 0,92 seperti ditunjukkan pada tabel 7.

Tabel 7. Panel dengan faktor daya rendah

No.	Panel	Faktor Daya (PF)		
		Fasa R	Fasa S	Fasa T
1	Trafo-1	0,467	0,765	0,608
2	Trafo-3	0,740	0,699	0,715
3	Trafo-4	0,704	0,690	0,688
4	Trafo-5	0,819	0,812	0,810

- c. Beberapa panel (trafo-1 dan trafo-4) mengalami fluktuasi daya reaktif yang cukup tajam seperti ditunjukkan pada tabel 8.

Tabel 8. Panel dengan daya reaktif cukup tajam

No.	Panel	Daya Reaktif (Q, kVAr)		
		Fasa R	Fasa S	Fasa T
1	Trafo-1	59,90	29,60	70,00
2	Trafo-4	101,50	104,00	93,50

- d. THD (*Total Harmonic Distortion*) arus pada semua panel yang diukur memperlihatkan nilai yang sangat tinggi seperti ditunjukkan pada tabel 9.

Tabel 9. Panel dengan THD arus tinggi

No.	Panel	THD Arus (THD I, %)		
		Fasa R	Fasa S	Fasa T
1	Trafo-1	27,40	19,80	13,40
2	Trafo-2	23,30	26,10	26,40
3	Trafo-3	8,70	8,20	7,70
4	Trafo-4	8,10	6,80	11,00
5	Trafo-5	5,30	5,10	5,90

Kelistrikan Sisi Suplai

Dari analisis di atas beberapa potensi penghematan energi sistem kelistrikan sisi suplai dapat dicatat sebagai berikut:

- Penyeimbangan Beban
Beban yang tidak seimbang dapat mengakibatkan penurunan efisiensi sistem sebesar 2%.
- Pengoptimalan kinerja regulator kapasitor bank sehingga faktor kerja kembali mencapai nilai optimumnya (0,9). *Losses* yang timbul karena rendahnya faktor daya dapat dihitung berdasarkan pada pendekatan berikut:

$$Losses = 1 - \left(\frac{pf_{rendah}}{pf_{tinggi}} \right)^2$$

Pada trafo-1:

$Losses = 1 - [0,46/0,9]^2 = 0,7399$
Potensi *losses* = $0,7399 \times 100\% = 73,99\%$
Bila kapasitas daya trafo sebesar 2.000 kVA, maka *losses* nya = 1.479,8 kW

Pada trafo-3:

$Losses = 1 - [0,69/0,9]^2 = 0,4071$
Potensi *losses* = $0,4071 \times 100\% = 41,71\%$
Bila kapasitas daya trafo sebesar 2.000 kVA, maka *losses* nya = 834,2 kW

Pada trafo-4:

$Losses = 1 - [0,69/0,9]^2 = 0,4171$
Potensi *losses* = $0,4071 \times 100\% = 41,71\%$

Bila kapasitas daya trafo sebesar 1.250 kVA, maka *losses* nya = 521,4 kW

Pada trafo-5:

$Losses = 1 - [0,81/0,9]^2 = 0,1000$
Potensi *losses* = $0,1000 \times 100\% = 10,00\%$
Bila kapasitas daya trafo sebesar 1.250 kVA, maka *losses* nya = 125,0 kW

- Pengurangan THD arus menjadi < 5%.
- Pemasangan *ballast* elektronik. Berdasarkan pada acuan "*Energy Audit Guide, Part B*" dari *Centre for Renewable Energy Sources*, selisih daya yang dihasilkan dari penggantian setiap *ballast* adalah 12 W atau penghematan energi sebesar 13% (penggunaan daya untuk *ballast* biasa dan *ballast* elektronik adalah masing-masing 87 W dan 75 W).
- Penggantian transformator sehingga sesuai dengan pembebanan optimum dan efisiensi maksimum dari 9.000 kVA menjadi 6.660 kVA. Penggantian ini akan mengurangi *losses* beban nol tinggi yaitu biasanya sebesar 3%.

4. KESIMPULAN

Potret penggunaan energi pada PT. Textile Industries dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Kebutuhan energi listrik disuplai dari PT. PLN (Persero) dengan kontrak daya sebesar 5.540 kVA melalui 5 (lima) unit transformator masing-masing berkapasitas 2.000 kVA (2 unit : trafo-1 dan trafo-3), 2.500 kVA (1 unit : trafo-2), dan 1.250 kVA (2 unit : trafo-4 dan trafo-5). Daya listrik rata-rata PT. Textile Industries sebesar 113.196,67 kWh/hari atau sebesar 3.396.000 kWh/bulan.
- Pada beberapa panel yang diukur terjadi ketidakseimbangan beban, faktor daya yang rendah, THD tegangan dan THD arus yang berfluktuasi.
- Terdapat beberapa penghematan energi yang diidentifikasi pada PT. Textile Industries antara lain:
 - o Penyeimbangan beban akibat ketidakseimbangan arus.
 - o Pengoptimalan kinerja regulator kapasitor bank.
 - o Pengurangan THD, baik THD arus maupun THD tegangan.
 - o Pemasangan *ballast* elektronik untuk mengganti *ballast* biasa lampu TL.
 - o Penggantian transformator sehingga sesuai dengan pembebanan optimum dan efisiensi maksimum.

DAFTAR PUSTAKA

- JICA and ECCJ, 2002. Energy Efficiency and Conservation. Textbook, Page 2 of 5, Japan.
- Pape, H., 1999. Captive Power in Indonesia: Development in the Period 1980 – 1997. The World Bank.
- Sasongko A., Santoso J., 1999. Cogeneration di Indonesia : Teknologi, Status, Potensi dan Peluang. Majalah Elektro Indonesia, No. 27, Th VI, Hal. 17-22, Jakarta.
- Smith, C.B., 1981. Energy Management Principles. Pergamon Press, UK.
- Sorensen, H.A., 1983. Energy Conservation System. John Wiley & Sons, Inc., USA.
- WEC, 2001. Energy Efficiency Policies and Indicators. Report by the World Energy Council, Australia.