

## AUDIT ENERGI SISTEM KELISTRIKAN DI PABRIK GULA

---

**Sudirman Palaloi**

Balai Besar Teknologi Energi - BPPT, PUSPIPTEK, Serpong, Tangerang 15314, Indonesia.

### **Abstrak**

Audit energi di pabrik gula memberikan dampak positif dalam upaya menurunkan konsumsi energi dan biaya listrik. Tulisan ini melaporkan audit energi di Pabrik Gula "A" di Jawa Timur. Evaluasi penghematan listrik mempertimbangkan kebutuhan energi, peningkatan faktor daya dan optimasi operasi peralatan konversi energi. Penurunan biaya listrik dapat dilakukan dengan mengoptimalkan penggunaan sistem. Peningkatan faktor daya sebagai bagian dari upaya penghematan energi dapat menurunkan kehilangan di jalur distribusi, motor, transformator dan kapasitas terpasang. Hal ini juga akan menurunkan biaya beban tetap dan menurunkan faktor penalti oleh PLN. Optimasi operasi transformator akan menurunkan jumlah lilitan kawat tembaga. Hasil audit menunjukkan kemungkinan penurunan biaya listrik sebesar 172 juta rupiah per tahun.

**Kata kunci** : Audit energi, kapasitor, faktor penalti PLN, pabrik gula

### **Abstract**

*Energy audit in the Sugar factory provides a positive impact towards reduction of energy consumption and electric cost. This paper reports an audit energy on Sugar factory "A", in East Java. Electrical energy saving concern power demand, power factor improvement and optimization of energy conversion equipment operation.*

*Reducing the electricity cost can be done by optimizing the system. Power factor improvement as part of energy saving can reduce losses at distribution line, motor, transformer and installed capacity. It is very beneficial to reduce the fix load cost and to avoid penalty factor by PLN. Optimization of transformer operation can also reduce core and copper winding losses. This audit shown potential cost saving in the factory of about Rp. 172 million annually.*

## **1. PENDAHULUAN.**

Tujuan dari audit energi pada sistem kelistrikan di Pabrik Gula "A" adalah selain untuk mendapatkan gambaran yang menyeluruh tentang sistem kelistrikan, juga untuk mencari sumber-sumber pemborosan dan peluang penghematan energi pada sistem kelistrikan. Secara umum prosedur audit energi ini meliputi survey, pengumpulan data, evaluasi data dan analisis.

Sistem kelistrikan di Pabrik Gula "A" menggunakan sistem radial. Sumber daya utamanya dibangkitkan sendiri menggunakan Steam Turbin Generator dan sebagian disuplai dari PLN. Daya listrik dari PLN dan STG masuk ke 3 bus bar kemudian didistribusikan untuk seluruh keperluan pabrik. Feeder dari PLN ada 2 masing-masing feeder berkapasitas 555 kVA dan 197 kVA, jadi total daya terpasang dari PLN adalah 752 kVA pada jaringan tegangan rendah 380V. Kapasitas 197kVA digunakan pada masa giling tebu dan tetap hidup walaupun pabrik sedang berada diluar masa giling. Kekurangan listrik pada masa giling disuplai dari feeder kapasitas 555

kVA. Pabrik memiliki pembangkit sendiri terdiri atas 2 buah Steam Turbin Generator (STG) berbahan bakar bagasse dengan total kapasitas sebesar 4.500 kVA. Pabrik ini juga memiliki pembangkit listrik diesel, yang hanya beroperasi pada saat start-up atau pada saat sumber utama mengalami gangguan. Audit energi pada sistem kelistrikan merupakan langkah awal dalam usaha penghematan energi dan peningkatan efisiensi.

Kegiatan ini akan mencakup pengukuran, upaya penelitian dan evaluasi tentang :

- Distribusi beban.
- Pemakaian energi listrik bulanan
- Pengukuran secara on-line total daya listrik yang digunakan untuk pada waktu hari kerja maupun hari libur
- Membuat kurva beban
- Menghitung faktor beban tiap-tiap transformator
- Menghitung total faktor kebutuhan
- Menghitung potensi penghematan
- Kesimpulan

## 2. METODE PENELITIAN.

Metode yang digunakan adalah pengumpulan data historis dan juga pengukuran secara langsung. Pengumpulan data pada sistem kelistrikan dilakukan selama 10 hari kerja, yakni dari tanggal 26 September s/d. 8 Oktober 2003. Pengumpulan data pada sistem kelistrikan di Pabrik Gula "A" ini dilakukan dengan beberapa metoda, antara lain: inventarisasi data kelistrikan yang ada, pengukuran sesaat, dan pengukuran secara kontinyu (*on-line*). Data yang diperoleh antara lain :

- a. Pembayaran listrik ke PLN selama masa giling pabrik
- b. *Single-line diagram* sistem kelistrikan
- c. Data laporan harian operasional kelistrikan
- d. Data hasil pengukuran sesaat pada panel-panel listrik
- e. Data hasil pengukuran secara *on-line (monitoring)* pada panel-panel listrik sisi tegangan rendah dari PLN dan keluaran STG Kannis

Data yang telah dikumpulkan baik data historis maupun data pengukuran dievaluasi dan dianalisis secara statistik. Dari evaluasi dan analisis tersebut dibuat kesimpulan yang berisikan rekomendasi-rekomendasi yang perlu ditindaklanjuti sehingga menghasilkan penghematan biaya dan energi.

## 3. SUMBER DAN DISTRIBUSI ENERGI LISTRIK.

### 3.1 Sumber Energi Listrik

Pada kondisi normal, kebutuhan energi listrik di pabrik ini diperoleh dari 2 sumber utama yaitu dari PLN dan Steam Turbin Generator (STG) yang dimiliki pabrik :

- PLN 1, kapasitas 555 kVA, 380 V
- PLN 2, kapasitas 197 kVA, 380 V

- Steam Turbin Generator I, kapasitas 2.000 kVA, 380 V
- Steam Turbin Generator Kanis, kapasitas 2.500 kVA, 6000 V

Namun pada kondisi tertentu dimana PLN dan STG ada gangguan, maka beberapa beban penting disuplai dari Diesel Alternator Deutz 500 kVA.

### 3.2 Sistem Distribusi Listrik.

Energi listrik yang berasal dari PLN sebesar 555 kVA masuk ke bus bar III kemudian didistribusikan untuk memenuhi keperluan pada : Ketel Stork II, Boiler R, Boiler C – Spray Dust Collector. Sumber dari PLN 197 kVA menyuplai kebutuhan di pabrik, khusus untuk beban-beban pada sumur-sumur pompa, kontak-kontak, penerangan pabrik, water treatment, Power house lama, motor pompa solar dan motor pompa residu

Daya listrik yang dihasilkan oleh dua Steam Turbin Alternator 2.500 kVA masuk ke Trafo-I dan Trafo-II. Output dari Trafo-1 : 2.500kVA masuk ke bus bar I untuk menyuplai kebutuhan listrik pada proses limbah cair, abu dan tetes, peralatan Puteran Rendah 7 – 8, Pompa Roda D, Transmisi, Pengaduk TRog, Puteran Rendah No. 1 – 6, Puteran Tinggi No. 1 – 6, Ketel Stork III, Sugar Dryer dan Brown Wade.

Output dari Trafo-II, 2500 kVA masuk ke bus bar II untuk menyuplai listrik pada:

- Group KC: Gilingan-Station, Masakan-Penguapan,
- Group KD: Gilingan- Pendingin-Pemurnian, Intermediate Carrier Gilingan, Puteran Tinggi No. 7, Motor Palang,
- Group KM: Pompa Roda A – Leburan - Pengaduk TRog - Kompresor, Pompa Vacuum, Pompa Injeksi, Cane Carrier, Meja Tebu, Crane Unloading, Demag – Kuli, Pompa Vacuum, dan Ketel Chengchen.

### 3.3 Daya Mampu Sumber Pembangkit Listrik.

Dengan asumsi bahwa setiap sumber mampu menghasilkan daya sesuai dengan kapasitas nominalnya pada  $\cos \theta = 0,85$  maka energi listrik yang tersedia adalah:

PLN :  $752 \text{ kVA} \times 0,85 \times 24 \text{ jam/hari} = 15.341 \text{ kWh/hari (55,39\%)}$   
 STG I :  $2.000 \text{ kVA} \times 0,85 \times 24 \text{ jam/hari} = 40.800 \text{ kWh/hari (35,69\%)}$   
 STG Kanis:  $2.500 \text{ kVA} \times 0,85 \times 24 \text{ jam/hari} = 51.000 \text{ kWh/hari ( 8,92\%)}$ ,  
 sehingga total energi listrik yang tersedia = **107.141 kWh/hari (100.0%)**

Namun berdasarkan hasil pemantauan di lapangan pada tanggal 27 September s/d 7 Oktober 2003, didapatkan data bahwa produksi listrik (*energy input*) hanya **42.101 kWh/hari**, dengan komposisi sebagai berikut :

Produksi listrik dari PLN : 7.495 kWh/hari.  
 Produksi STG Kanis (STG I, 2000 kVA off): 34.606 kWh/hari.

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### 4.1 Konsumsi Energi listrik Bulanan dari PLN

###### Feeder PLN 555 kVA

Feeder 555 kVA ini dioperasikan hanya bila pabrik sedang dalam musim giling. Musim giling mulai bulan Maret 2003. Berikut ini diperlihatkan data konsumsi dan biaya energi listrik bulan Maret –September 2003.

**Tabel 1. Data Konsumsi energi listrik bulan Mei – September 2003 pada feeder PLN 555 KVA**

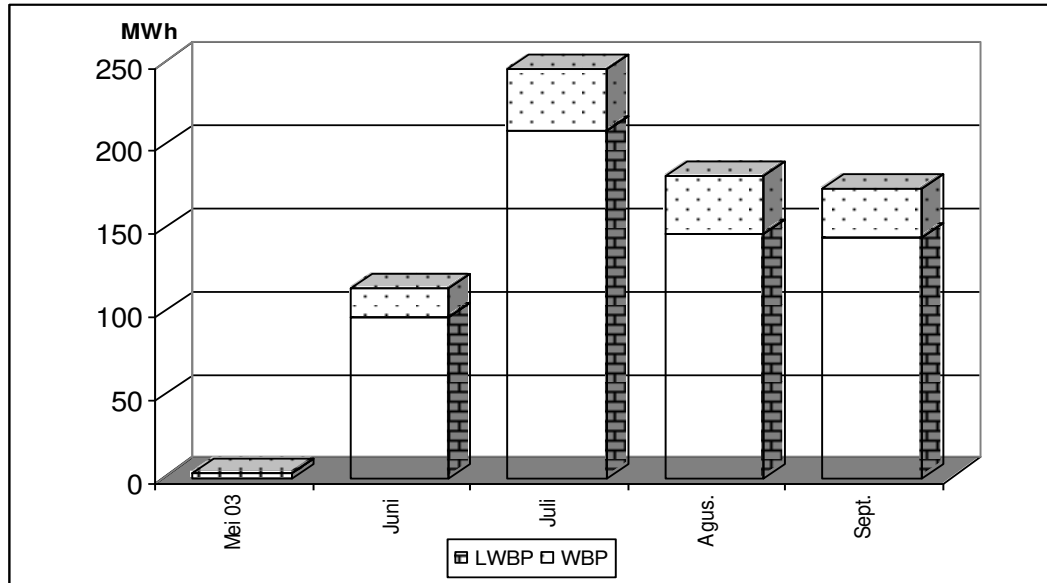
Bulan	Pemakaian Energi			
	LWBP/ Blok I [MWh]	WBP/ Blok II [kWh]	kVArh/ Blok III [kWh]	Energi Total [kWh]
Mei 2003	3.000	0	4.140	3.000
Juni	97.000	17.000	26.320	114.000
Juli	209.000	37.000	45.480	246.000
Agus.	147.000	35.000	63.160	182.000
Sept.	145.000	29.000	32.120	174.000
Jumlah	601.000	118.000	171.220	719.000
Rata-rata	120.200	23.600	34.244	143.800
Minimum	3.000	0	4.140	3.000
Maksimum	209.000	37.000	63.160	246.000

Sumber : Rekening Listrik PLN Pabrik Gula “A”, tahun 2003

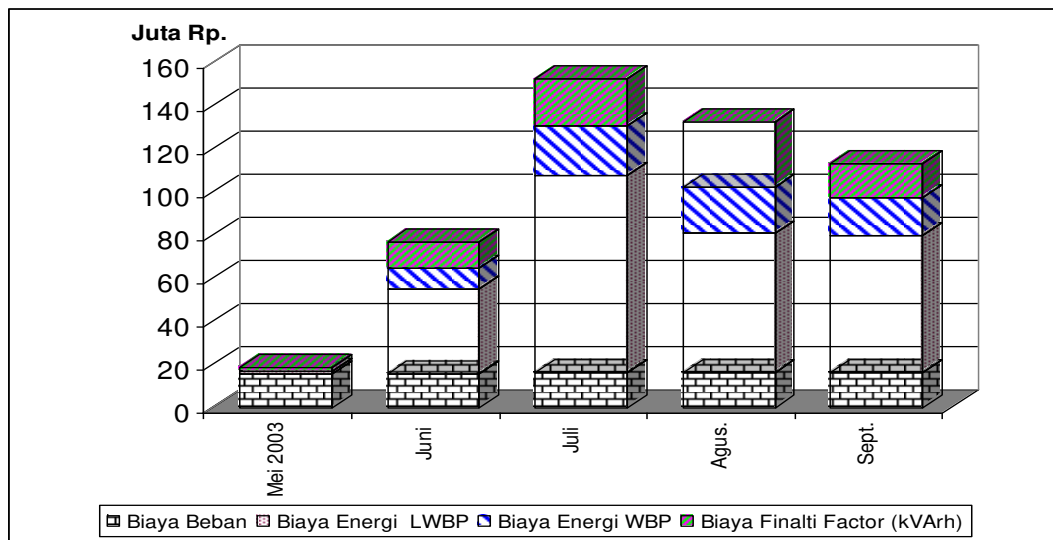
**Tabel 2. Data Biaya Energi, Mei – September 2003 pada feeder PLN 555 kVA.**

Biaya Beban [Rp]	Rincian Rekening Listrik			PPJ/ RPJU/BP/ Lain-lain [Rp]	Biaya Total [Rp]
	LWBP/ Blok I [Rp]	WBP/ Blok II [Rp]	JMLH REKENING LISTRIK [Rp]		
15,429,000	1,230,000	0	16,659,000	499,770	17,168,770
15,429,000	39,770,000	9,758,000	64,957,000	1,948,710	66,915,710
16,372,500	91,751,000	22,740,200	130,863,700	3,925,911	134,799,611
16,372,500	64,533,000	21,511,000	102,416,500	3,072,495	105,498,995
16,372,500	63,655,000	17,823,400	97,850,900	2,935,527	100,796,427
79,975,500	260,939,000	71,832,600	412,747,100	12,382,413	425,179,513
15,995,100	52,187,800	14,366,520	82,549,420	2,476,483	85,035,903
15,429,000	1,230,000	0	16,659,000	499,770	17,168,770
16,372,500	91,751,000	22,740,200	130,863,700	3,925,911	134,799,611

Sumber : Rekening Listrik PLN, Pabrik Gula “A”, tahun 2003



**Gambar 1. Diagram pemakaian energi listrik, Mei – September 2003 dari PLN 555 kVA**



**Gambar 2. Diagram biaya energi listrik, Mei – September 2003 dari PLN 555 kVA**

Feeder PLN, 197 kVA

Pada saat pabrik tidak beroperasi (tidak sedang musim giling) feeder ini tetap hidup (on). Feeder ini menyuplai kebutuhan listrik untuk keseluruhan pompa-pompa sumur, kontak-kontak seluruh pabrik, penerangan pabrik, besali dan lain-lain. Konsumsi energi mulai pada bulan Januari – September 2003 diperlihatkan pada Tabel 3.

**Tabel 3. Data Konsumsi energi listrik, Januari – September 2003, feeder PLN 197 KVA**

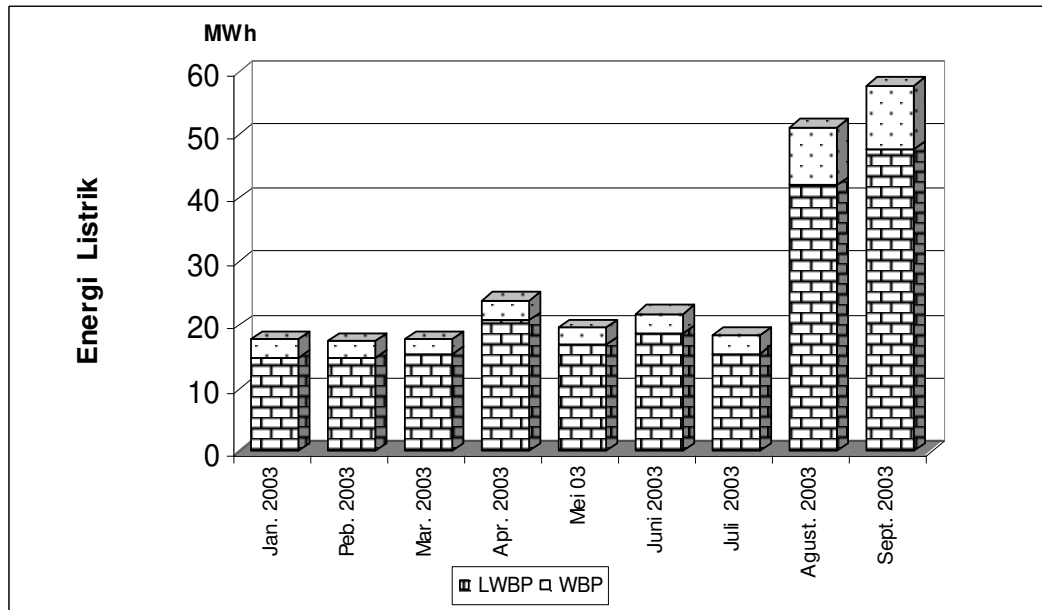
Bulan	Pemakaian Energi			
	LWBP/ Blok I [MWh]	WBP/ Blok II [kWh]	kVArh/ Blok III [kWh]	Energi Total [kWh]
Jan. 2003	14,701.5	3,118.5	3,356.1	17,820.0
Peb. 2003	14,652.0	2,722.5	2,592.8	17,374.5
Mar. 2003	15,246.0	2,425.5	4,586.7	17,671.5
Apr. 2003	20,740.5	3,118.5	9,759.4	23,859.0
Mei 03	16,780.5	2,772.0	7,529.0	19,552.5
Juni 2003	18,562.5	3,217.5	4,613.4	21,780.0
Juli 2003	15,493.5	2,920.5	3,779.8	18,414.0
Agust. 2003	41,454.0	9,114.0	5,593.8	50,568.0
Sept. 2003	47,569.5	10,098.0	5,925.2	57,667.5
Jumlah	205,200	39,507	47,736	244,707
Rata-rata	22,800	4,390	5,304	27,190
Minimum	14,652	2,426	2,593	17,375
Maksimum	47,570	10,098	9,759	57,668

Sumber : Rekening Listrik PLN PG “A”, tahun 2003.

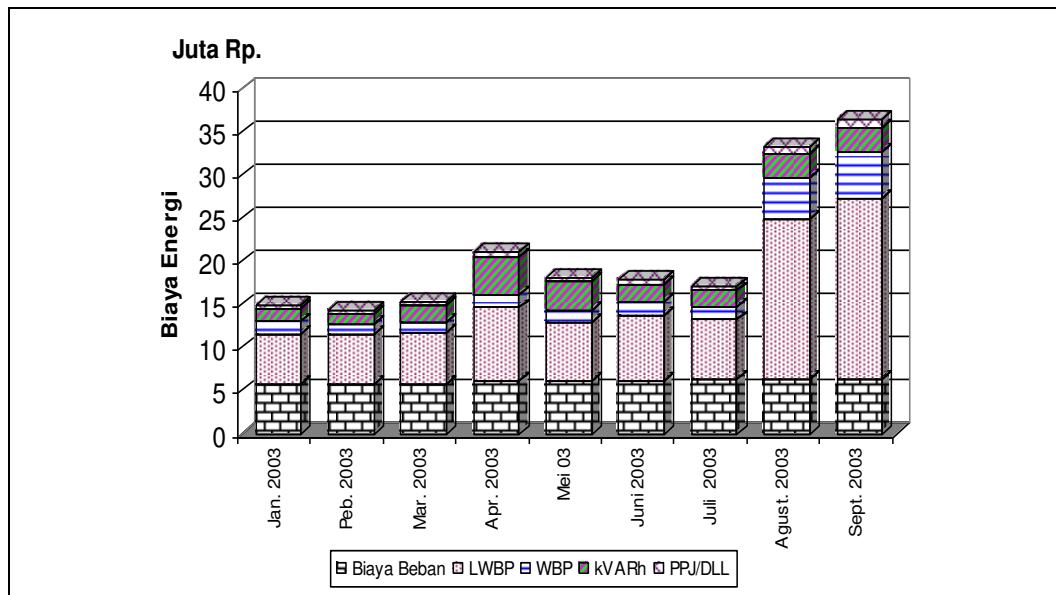
**Tabel 4. Data Biaya Energi, Januari – September 2003, feeder PLN 197 kVA**

Rincian Rekening Listrik					PPJ/ RPJU/BP/ Lain-lain	Biaya Total
Biaya Beban [Rp]	LWBP/ Blok I [Rp]	WBP/ Blok II [Rp]	kVArh/ Blok III [Rp]	JMLH REKENING LISTRIK [Rp]	[Rp]	[Rp]
5,713,000	5,807,093	1,478,169	1,458,225	12,998,262	389,948	13,398,209
5,713,000	5,787,540	1,290,465	1,126,576	12,791,005	383,730	13,184,735
5,713,000	6,022,170	1,149,687	1,992,908	12,884,857	386,546	13,281,403
6,107,000	8,503,605	1,534,302	4,401,498	16,144,907	484,347	16,639,254
6,107,000	6,880,005	1,363,824	3,395,556	14,350,829	430,525	14,791,354
6,107,000	7,610,625	1,583,010	2,080,643	15,300,635	459,019	15,769,654
6,402,500	6,817,140	1,542,024	1,829,433	14,761,664	442,850	15,214,514
6,402,500	18,425,880	4,861,296	2,735,045	29,689,676	890,690	30,590,366
6,402,500	20,930,580	5,331,744	2,867,773	32,664,824	979,945	33,654,769
31,421,500	60,664,230	14,681,898	12,908,451	106,767,628	3,203,029	110,020,657
6,284,300	12,132,846	2,936,380	2,581,690	21,353,526	640,606	22,004,131
6,107,000	6,817,140	1,363,824	1,829,433	14,350,829	430,525	14,791,354
6,402,500	20,930,580	5,331,744	3,395,556	32,664,824	979,945	33,654,769

Sumber : Rekening Listrik PLN Pabrik Gula “A”, tahun 2003



**Gambar 3. Diagram konsumsi energi listrik bulan Jan. – Sept. 2003, feeder PLN 197 KVA**



**Gambar 4. Diagram biaya energi listrik bulan Jan. – Sept. 2003, feeder PLN 197 KVA**

**4.2 Konsumsi Harian.**

Berdasarkan data konsumsi energi listrik dari bagian kelistrikan Pabrik Gula “A” menunjukkan bahwa energi listrik rata-rata untuk mengoperasikan mesin-mesin produksi adalah sebesar 42.101 kWh/hari. Daya listrik yang digunakan di Pabrik Gula “A” berasal dari Turbin Kanis 2.500 kVA, PLN 555 kVA dan 197 kVA.

Salah satu cara yang dipakai untuk menganalisis fluktuasi beban kelistrikan harian atau mingguan atau bulanan adalah melalui kurva beban. Kurva beban ini merupakan representasi dari data beban (kW) yang dicatat tiap jam. Melalui kurva beban ini dapat diketahui beban rata-rata dan beban puncak, serta jam berapa terjadinya beban puncak tersebut.

Kurva beban STG Kanis, Kapasitas 2500 kVA.

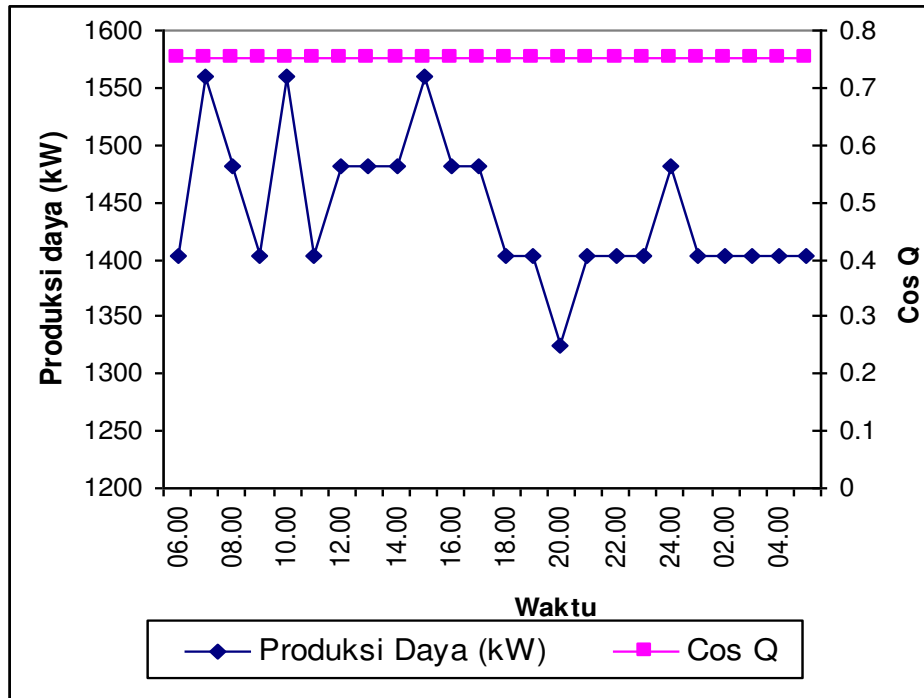
Pengambilan data harian keluaran daya listrik Turbin Kanis dilakukan pada Tanggal 3 s/d 6 Oktober 2003. Data harian pada tanggal 4 Oktober 2003 diperlihatkan pada Tabel 5 dan secara grafik ditunjukkan pada Gambar 5.

**Tabel 5. Data produksi daya STG Kanis, 4 Oktober 2003**

Jam	Arus Fasa R (A)	Arus Fasa S (A)	Arus Fasa T (A)	Tegangan ( Volt )	Cos $\Phi$	Daya kW
06.00	180	180	180	6000	0,75	1402,96
07.00	200	200	200	6000	0,75	1558,85
08.00	190	190	190	6000	0,75	1480,90
09.00	180	180	180	6000	0,75	1402,96
10.00	200	200	200	6000	0,75	1558,85
11.00	180	180	180	6000	0,75	1402,96
12.00	190	190	190	6000	0,75	1480,90
13.00	190	190	190	6000	0,75	1480,90
14.00	190	190	190	6000	0,75	1480,90
15.00	200	200	200	6000	0,75	1558,85
16.00	190	190	190	6000	0,75	1480,90
17.00	190	190	190	6000	0,75	1480,90
18.00	180	180	180	6000	0,75	1402,96
19.00	180	180	180	6000	0,75	1402,96
20.00	170	170	170	6000	0,75	1325,02
21.00	180	180	180	6000	0,75	1402,96
22.00	180	180	180	6000	0,75	1402,96
23.00	180	180	180	6000	0,75	1402,96
24.00	190	190	190	6000	0,75	1480,90
01.00	180	180	180	6000	0,75	1402,96
02.00	180	180	180	6000	0,75	1402,96
03.00	180	180	180	6000	0,75	1402,96
04.00	180	180	180	6000	0,75	1402,96
05.00	180	180	180	6000	0,75	1402,96
<b>Total</b>						<b>34606,38</b>
<b>Max.</b>						<b>1558,85</b>
<b>Rata2</b>						<b>1441,93</b>
<b>Min</b>						<b>1325,02</b>

Sumber : Sudirman Palaloi dkk. (2003).





**Gambar 5. Grafik produksi daya STG Kanis, 4 Oktober 2003**

Berdasarkan hasil pengambilan data terlihat bahwa produksi STG Kanis pada masa giling (pengambilan data selama 4 hari) berkisar antara 1191,9 kW s/d. 1558,85 kW, dengan rata-rata 1422 kW atau 1589,2 kVA s/d. 2078,46 kVA pada faktor daya 0,75. Ini berarti bahwa STG Kanis menghasilkan daya rata-rata 75,87% dari kapasitas terpasang. Bahkan pada kondisi tertentu dapat mencapai maksimum 83,14%. Hal ini menunjukkan bahwa STG Kanis masih pada kondisi operasi optimumnya.

Kurva Beban Daya listrik Harian dari PLN 555 VA.

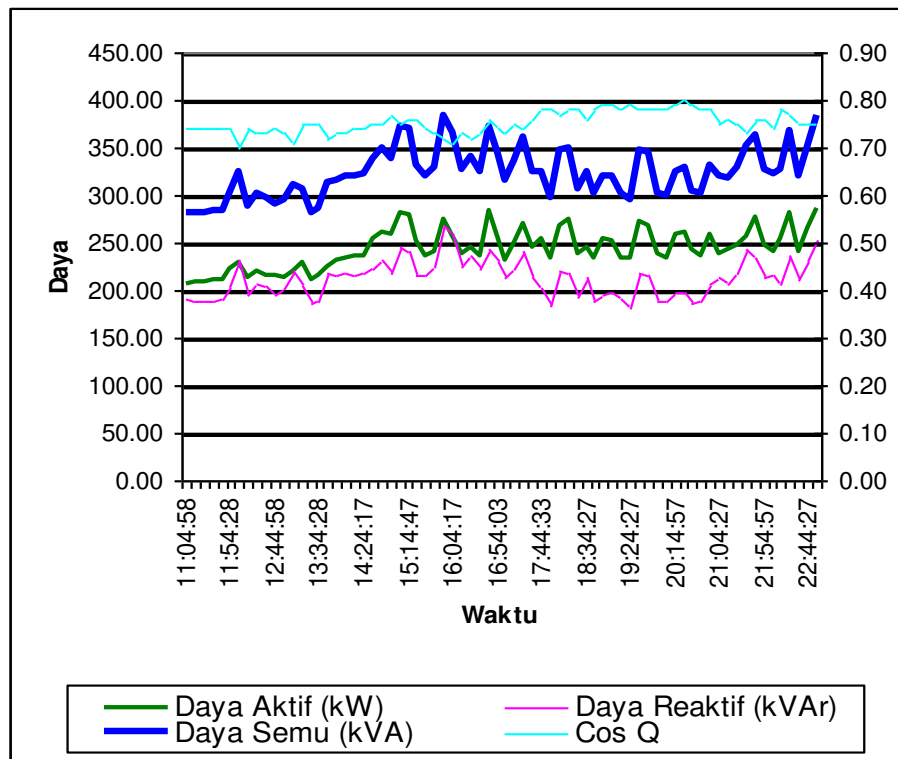
Secara umum kurva beban sistem kelistrikan menunjukkan beban datar (flat). Beban rata-rata dan maksimum serta konsumsi energi hariannya pada tanggal 6 Oktober 2003 adalah masing-masing 243,88 kW, 287,03kW, dan 5.853 kWh/hari. Kurva beban harian rata-rata PLN dan faktor daya disajikan pada Tabel 6 dan secara grafik ditunjukkan pada Gambar 6.

Tabel 6 menunjukkan bahwa daya listrik yang berasal dari feeder PLN 555 kVA berkisar antara 285,98 kVA s/d. 351,62 kVA, dengan rata-rata 324,38 kVA pada faktor daya 0,73 s/d 0,79. Ini berarti bahwa faktor bebannya berkisar antara 51,55% s/d. 63.35%. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan listrik dari PLN masih rendah dibanding dengan kontrak dayanya. Disamping itu faktor daya masih cukup rendah yaitu antara 0,7 s/d. 0,8. Rendahnya faktor daya ini menyebabkan Pabrik Gula “A” harus membayar pemakaian kVARh ke PLN. Bagi pelanggan PLN yang menggunakan listrik dengan faktor daya di bawah 0,85 maka PLN mengenakan penalty factor yang ditunjukkan oleh besarnya pemakaian kVARh.

**Tabel 6. Data daya keluaran dari PLN 555 kVA**

DATE of current DATA	TIME of current DATA	Daya Aktif PLN 555 ( KW )	Daya Reaktif PLN 555 ( KVAR )	Daya Semu PLN 555 ( KVA )	Faktor Daya cos Q
10/6/2003	11:04:58	211.90	192.05	285.98	0.74
10/6/2003	12:04:58	218.24	205.84	300.04	0.73
10/6/2003	13:04:58	222.19	205.67	302.87	0.74
10/6/2003	14:04:58	247.28	220.71	331.50	0.75
10/6/2003	15:04:58	261.01	235.46	351.62	0.74
10/6/2003	16:04:58	252.77	235.89	345.85	0.73
10/6/2003	17:04:58	247.76	213.42	327.14	0.76
10/6/2003	18:04:58	252.86	205.04	325.60	0.78
10/6/2003	19:04:58	249.97	198.49	319.20	0.78
10/6/2003	20:04:58	248.98	194.39	315.90	0.79
10/6/2003	21:04:58	251.75	221.45	335.35	0.75
10/6/2003	22:04:58	261.83	226.12	346.01	0.76
10/6/2003	23:04:58	246.26	220.47	329.85	0.75
	Max.	261.83	235.89	351.62	0.79
	Rata-rata	244.06	213.46	324.38	0.75
	Min	211.90	192.05	285.98	0.73

Sumber : Sudirman Palaloi dkk. (2003).



**Gambar 6. Kurva beban harian dari PLN 555 kVA, tanggal 6 Oktober 2003.**

Kurva Beban dari feeder PLN 197 kVA

Seperti telah dijelaskan di atas bahwa untuk keperluan penerangan, kontak-kontak, listrik untuk pompa-pompa air sumur, besali, water treatment serta keperluan lainnya yang esensial disuplai dari feeder PLN 197 kVA. Pada feeder ini, pengukuran dilakukan sesaat secara manual beberapa kali. Rata-rata hasil pengukuran diperlihatkan pada Tabel 7.

**Tabel 7. Data pemakaian daya listrik pada beban feeder PLN 197 kVA**

Jenis beban	Daya Aktif kW	Daya Reaktif kVAr	Daya Semu KVA	Faktor Daya Cos Q
Sumur Timur	27.98	15.86	32.16	0.87
Sumur Utara	3.02	2.66	4.03	0.75
Water Treatment	18.69	20.71	27.90	0.67
Kontak-kontak	6.91	6.09	9.21	0.75
Besali	5.22	9.29	10.65	0.49
PH Lama, Motor Pompa, Penerangan dll	4.56	3.06	5.49	0.83
<b>Total</b>	<b>66.38</b>	<b>57.67</b>	<b>87.94</b>	<b>0.75</b>

Sumber: Sudirman Palaloi dkk (2003).

Berdasarkan Tabel 7 terlihat bahwa daya listrik di dibutuhkan oleh beban-beban listrik yang berada di feeder PLN 197 kVA adalah sebesar 87,94 kVA atau 44,64% dari kontrak daya. Faktor daya dari feeder ini masih berada di bawah 0,85, sehingga harus membayar kelebihan pemakaian kVArh ke PLN.

Kurva Beban Tranformator

Seperti telah dijelaskan di sebelumnya bahwa keluaran daya dari STG Kanis 6000 V masuk ke dua buah trafo penurun tegangan menjadi 380 Volt. Untuk mendapatkan informasi pembebanan pada kedua trafo tersebut, maka pada kegiatan ini telah dilakukan pengukuran secara kontinyu (*on-line*). Hasil pengukuran *on-line* pada ke-2 buah trafo tersebut tersaji pada Tabel 8 dan secara grafik diperlihatkan pada Gambar 7.

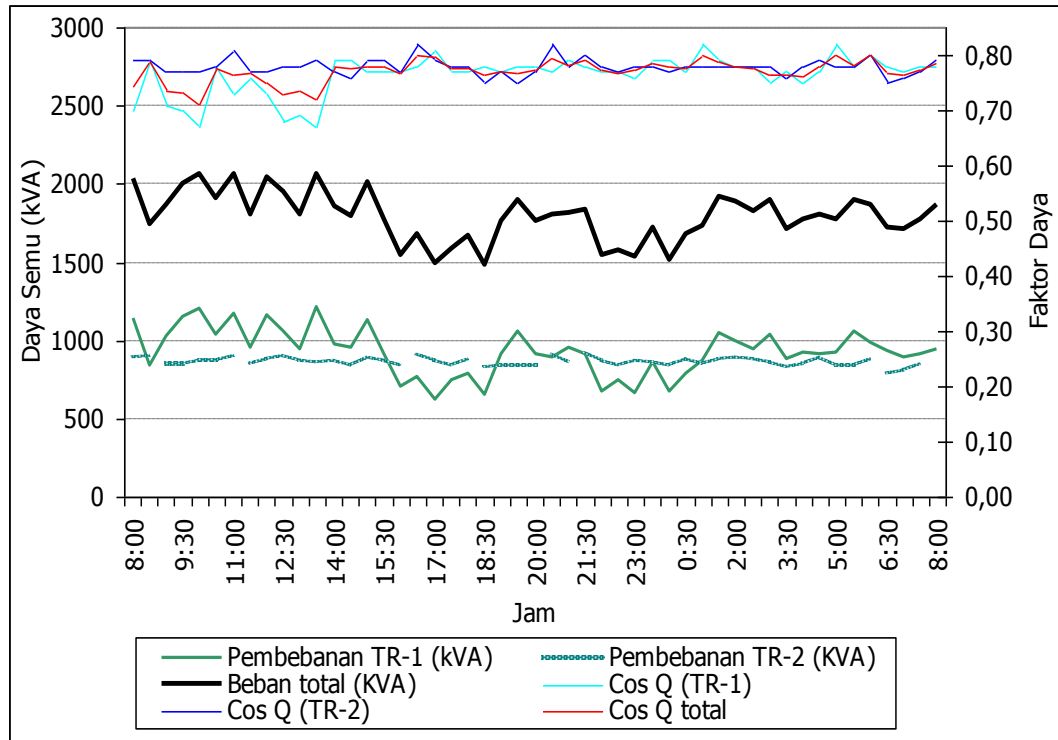
**5. POTENSI PENGHEMATAN PADA SISTEM KELISTRIKAN.**

Secara umum penghematan energi yang dapat ditempuh pada sistem kelistrikan antara lain melalui manajemen pembebanan dan perbaikan factor daya sistem. Berdasarkan hasil eveluasi di atas, peluang penghematan energi utama pada system kelistrikan di Pabrik Gula "A" adalah melalui manajemen pembebanan dan perbaikan faktor daya serta peningkatan efisiensi motor-motor listrik.

**Tabel 8. Data pembebanan trafo dari STG Kanis.**

Date of Current Data	Time of current Data	Trafo TR-1				Trafo TR-2				Total			
		Daya Aktif (kW)	Daya Reaktif (kVAr)	Daya Semu (kVA)	Faktor Daya (Cos Q)	Daya Aktif (kW)	Daya Reaktif (kVAr)	Daya Semu (kVA)	Faktor Daya (Cos Q)	Daya Aktif (kW)	Daya Reaktif (kVAr)	Daya Semu (kVA)	Faktor Daya (Cos Q)
10/6/2003	8:00	733,11	666,79	993,21	0,75	710,83	548,81	898,05	0,79	1443,94	1215,59	1888,69	0,77
10/6/2003	9:00	768,94	774,12	1091,14	0,71	651,04	542,40	847,39	0,77	1419,98	1316,52	1936,39	0,73
10/6/2003	10:00	808,91	772,30	1121,98	0,73	671,47	552,74	869,73	0,78	1480,38	1325,04	1989,12	0,75
10/6/2003	11:00	791,23	711,23	1064,17	0,75	691,24	534,05	873,83	0,79	1482,47	1245,27	1936,09	0,77
10/6/2003	12:00	786,31	787,36	1113,44	0,71	692,35	559,77	890,36	0,78	1478,66	1347,13	2000,51	0,74
10/6/2003	13:00	730,33	790,08	1076,02	0,68	678,17	535,53	864,13	0,79	1408,50	1325,61	1934,31	0,73
10/6/2003	14:00	763,82	592,79	966,86	0,79	656,80	552,72	858,45	0,77	1420,62	1145,51	1824,94	0,78
10/6/2003	15:00	785,23	650,67	1019,78	0,77	696,47	537,20	879,58	0,79	1481,70	1187,87	1899,07	0,78
10/6/2003	16:00	571,51	465,66	737,22	0,78	695,69	535,65	878,72	0,80	1267,19	1001,31	1615,58	0,78
10/6/2003	17:00	538,36	419,76	683,02	0,79	673,81	531,42	858,17	0,79	1212,16	951,18	1541,06	0,79
10/6/2003	18:00	561,05	458,17	724,38	0,78	657,85	547,41	856,02	0,77	1218,90	1005,58	1580,21	0,77
10/6/2003	19:00	767,62	625,16	990,02	0,78	640,28	546,81	842,07	0,76	1407,90	1171,97	1831,86	0,77
10/6/2003	20:00	702,78	572,91	906,74	0,78	695,29	533,78	877,26	0,80	1398,07	1106,68	1783,30	0,78
10/6/2003	21:00	734,81	579,65	935,95	0,79	703,20	544,89	889,82	0,79	1438,01	1124,54	1825,55	0,79
10/6/2003	22:00	544,49	451,18	707,13	0,77	660,29	544,38	855,78	0,78	1204,78	995,56	1562,90	0,77
10/6/2003	23:00	593,26	480,42	763,60	0,78	676,84	542,72	867,55	0,78	1270,10	1023,14	1631,01	0,78
10/7/2003	0:00	572,72	460,46	734,96	0,78	669,30	543,79	862,40	0,78	1242,01	1004,25	1597,22	0,78
10/7/2003	1:00	771,94	571,06	960,51	0,81	675,83	542,54	866,68	0,78	1447,77	1113,59	1826,59	0,79
10/7/2003	2:00	756,94	607,28	970,43	0,78	688,22	557,37	885,61	0,78	1445,15	1164,65	1856,04	0,78
10/7/2003	3:00	728,76	624,56	959,89	0,76	652,33	535,45	844,07	0,77	1381,09	1160,01	1803,62	0,77
10/7/2003	4:00	699,48	598,03	920,39	0,76	682,86	540,29	870,82	0,79	1382,33	1138,32	1790,88	0,77
10/7/2003	5:00	794,79	597,94	995,15	0,80	656,40	528,22	842,56	0,78	1451,19	1126,15	1837,10	0,79
10/7/2003	6:00	757,50	587,17	958,55	0,79	649,58	527,66	837,44	0,78	1407,07	1114,83	1795,77	0,78
10/7/2003	7:00	709,00	577,90	914,72	0,78	605,02	525,20	801,18	0,76	1314,02	1103,10	1715,66	0,77
10/7/2003	8:00	738,16	592,22	946,36	0,78	727,64	564,35	920,84	0,79	1465,80	1156,57	1867,14	0,79
<b>MIN</b>		<b>538,36</b>	<b>419,76</b>	<b>683,02</b>	<b>0,68</b>	<b>605,02</b>	<b>525,20</b>	<b>801,18</b>	<b>0,76</b>	<b>1204,78</b>	<b>951,18</b>	<b>1541,06</b>	<b>0,73</b>
<b>RATA2</b>		<b>707,20</b>	<b>600,94</b>	<b>929,55</b>	<b>0,76</b>	<b>672,13</b>	<b>541,28</b>	<b>863,23</b>	<b>0,78</b>	<b>1379,33</b>	<b>1142,22</b>	<b>1791,81</b>	<b>0,77</b>
<b>MAX</b>		<b>808,91</b>	<b>790,08</b>	<b>1121,98</b>	<b>0,81</b>	<b>710,83</b>	<b>559,77</b>	<b>898,05</b>	<b>0,80</b>	<b>1482,47</b>	<b>1347,13</b>	<b>2000,51</b>	<b>0,79</b>

Sumber : Sudirman Palaloi dkk (2003).



**Gambar 7. Kuva beban dan faktor daya tranformator**

**5.1 Perbaikan Faktor Daya.**

Berdasarkan hasil pengukuran listrik dari PLN dan keluaran dari STG Kanis pada sisi tegangan rendahnya diperoleh data bahwa secara umum listrik yang dihasilkan memiliki faktor daya yang rendah. Bahkan hampir semuanya beroperasi pada faktor daya di bawah 0,85 (batas minimum yang disyaratkan PLN). Faktor daya yang rendah ini mungkin disebabkan oleh sumber listriknya yaitu faktor dayanya memang rendah, atau penggunaan peralatan induktif atau magnetik, misalnya motor induksi, transformator dll. Semakin rendah faktor daya akan semakin merugikan industri itu sendiri, karena akan menurunkan kapasitas sistem distribusi, yang pada gilirannya akan menimbulkan drop tegangan berlebihan dan rugi-rugi sistem, sedang ada trafo akan terjadi pemanasan yang berlebihan.

N. Fukusima (2002) dalam bukunya mengusulkan perbaikan faktor daya dengan cara:

- a. Penggunaan peralatan (beban) yang memiliki faktor daya tinggi
- b. Penggunaan motor serempak (sinkron) sebagai ganti dari penggunaan motor induksi.
- c. Menggunakan kapasitor bank.

Cara yang terakhir dianggap merupakan langkah praktis dalam memperbaiki faktor daya di Pabrik Gula “A”.

Besar kapasitor yang diperlukan untuk memperbaiki faktor daya adalah :

$$kVA_{cap} = kW * [ \tan (\text{arc cos } FD_1) - \tan (\text{arc cos } FD_2)] \tag{1}$$

dimana:  $kVA_{cap}$  = Kapasitas Kapasitor.  
 $FD_1$  = faktor daya sekarang  
 $FD_2$  = faktor daya yang diinginkan  
 $KW$  = beban maksimum selama 2 tahun terakhir

Trafo No. 1 yang berkapasitas 2.500 kVA/6kV dioperasikan selama 2.880 jam per tahun dengan asumsi 4 bulan operasi/tahun (=24 jam/hari x 120 hari/tahun), dengan beban kW rata-rata 707,58 kW, beban semu 929,57 kVA, dan Cos  $\theta$  adalah 0,76. Untuk memperbaiki factor daya hingga 0,95, diperlukan kapasitor sebesar  $(707,58 (\tan(\text{arc cos}0,76) - \tan(\text{arc cos } 0,95))) = 372,52 \text{ kVAr}$

Energi yang dapat dihemat per tahun pada trafo No.1 di atas dengan perbaikan factor daya hingga 0,95 dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$E_{fd} = P * (1 - \eta) * 0,8 * [(\frac{L1}{P})^2 - (\frac{L2}{P})^2] * h \tag{2}$$

dimana:  $E_{fd}$  = energi yang dihemat (kWh)  
 $P$  = kapasitas trafo (kVA)  
 $\eta$  = efisiensi trafo  
 $0,8$  = faktor rugi-rugi tembaga  
 $L1$  = beban trafo setelah perbaikan faktor daya (kVA)  
 $L2$  = beban trafo sebelum perbaikan faktor daya (kVA)  
 $h$  = jam kerja trafo dalam setahun

dengan memanfaatkan data pengukuran yang diperoleh, maka diperoleh :

$$E_{fd} = 2500 * (1 - 0,9) * 0,8 * [(\frac{929,57}{2500})^2 - (\frac{744,8}{2500})^2] * 2880 = 28.511,8 \text{ kWh/tahun}$$

Artinya energi yang dapat dihemat pertahun adalah sebesar 28.512 kWh/tahun.

Hal yang sama dapat dilakukan pada Trafo TR-2, serta feeder dari PLN. Penghematan yang dapat diperoleh dengan perbaikan faktor daya adalah :

- TR -1 dari STG I : 28.512 kWh/tahun
- TR- 2 dari STG Kanis : 18.977 kWh/tahun

Capasitor yang dibutuhkan untuk memperbaiki faktor daya menjadi 0,95 masing-masing adalah:

- Feeder PLN 555 kVA membutuhkan kapasitor sebesar 150 kVAr untuk memperbaiki faktor daya menjadi 0,95 Dengan cara demikian Pabrik Gula “A” bebas dari penalti PLN sekitar Rp. 16,3 juta/bulan seperti selama ini dibayar karena rendahnya faktor daya.
- Fedeer PLN 197 kVA membutuhkan kapasitor 40 kVAr untuk memperbaiki faktor daya menjadi 0,95. Besar biaya yang dapat dihemat dengan cara ini adalah Rp.2,58 juta/bulan.

## 5.2 Peningkatan Efisiensi Motor.

Disamping menggunakan uap untuk memutar turbin pada proses produksi (penggilingan), banyak juga digunakan motor-motor listrik untuk memutar pompa, fan dan sistem proses produksi. Potensi penghematan energi melalui peningkatan efisiensi motor ini cukup besar. Agar dapat dihemat pemakaian energinya, diupayakan agar motor bekerja pada efisiensi yang tinggi. Adapun faktor-faktor yang berpengaruh pada efisiensi motor induksi adalah ukuran motor, beban motor, cara pemilihan motor, variasi tegangan, dan pemeliharaan.

Penghematan energi pada motor adalah mengupayakan pemakaian yang optimum, sehingga motor bekerja dengan efisiensi yang tinggi.

## 6. KESIMPULAN.

- Hasil audit mendapati bahwa jumlah dan prosentasi kebutuhan energi harian diperoleh dari pembangkit sendiri (STG Kanis) sebesar 34.606 kWh/hari (82,2%) dan dari PLN sebanyak 7.495 kWh/hari (17,8%).
- Faktor daya yang rendah disamping menimbulkan rugi-rugi pada saluran dan transformator juga berakibat adanya pemakaian kVArh yang cukup besar sehingga mendapatkan penalti faktor dari PLN. Jumlah yang harus dibayar ke PLN karena adanya pemakaian kVArh adalah sebesar Rp. 18,88 juta/bulan atau sekitar Rp. 151 juta/tahun
- Rugi-rugi yang dapat dihemat dengan adanya perbaikan faktor daya pada 2 buah trafo daya yang dihubungkan dengan Steam Turbin Generator Kanis adalah sekitar 47.488 kWh/tahun setara dengan Rp. 20,8 juta /tahun.

### Ucapan Terima Kasih

Diucapkan terimakasih kepada seluruh team Audit Energi LSDE yang telah membantu dalam pengambilan data dan juga kepada karyawan dan staf PT. Pabrik Gula "A" di Jawa Timur

## DAFTAR PUSTAKA

- Norio Fukushima (2002), *Technologies to Improve Energy Efficiency and Energy Management Methods in Factories*, Energy Conservation Center Japan (ECCJ), Textbook No. 9, 2002
- Pabrik Gula "A" (1983), *Single Line Diagram dan Wiring Diagram Pabrik Gula "A"*, Jawa Timur.
- Sudirman Palaloi dkk. (2003), *Laporan Audit Energi pada Sistem Kelistrikan di Pabrik Gula "A"*, UPT-LSDE, BPP Teknologi, PUSPIPTEK Serpong, Indonesia.
- PLN (2003), *Tarif Dasar Listrik*, Jakarta, Indonesia.