

PENILAIAN KUALITAS DAYA SISTEM KELISTRIKAN PT SAI-PASURUAN

FERDIAN RONILAYA

Politeknik Negeri Malang Jalan Soekarno Hatta No. 9 Malang 65141
ferdian.polinema@yahoo.com

ABSTRACT

The reliability services and power quality of power system nowadays become popular in industry because of cost energy reason, not exception for PT SAI. This company utilize control unit process to produce aluminum foil. The purpose of this research is identifying and analyzing the power quality of PT SAI and then to find the correct and economical solution to extinguish the source of bad power quality. After we identified, we conclude that 65% of load are AC motors, 25% of DC motors, 8% of heater and 2% of lightning. For over voltage and under voltage, refers to IEEE 519 – 1995 standard, PT SAI have 99% of nominal voltage. But for voltage imbalanced, refers to NEMA MG-1-1993 standard, PT SAI have 1,22%. For THD of voltage, PT SAI have 1,98%. But for THD of current, PT SAI have 34,47%. While transformer loading between 0,47% - 29,7%.

Key words: power quality, harmonic, total harmonic distortion, voltage and current imbalanced

PENDAHULUAN

Kualitas daya listrik didefinisikan sebagai tolok ukur kemampuan sistem untuk memberikan pelayanan daya listrik kepada pengguna sehingga peralatan-peralatan yang digunakan pengguna dapat bekerja sesuai dengan spesifikasi dari peralatan tersebut secara kontinyu. Beberapa penyebab berkurangnya kualitas daya sistem antara lain adalah petir (*lightning*), *switching* beban dengan daya besar, *starting* motor, beban tak seimbang, harmonisa, *power factor* rendah dan *noise* (*Electromagnetic interference, EMI*). Dampak terhadap sistem itu sendiri adalah terjadinya distorsi tegangan, distorsi arus, distorsi frekuensi, tegangan lebih (*over voltage*), tegangan turun (*under voltage*), ketidakseimbangan tegangan sistem dan ketidakseimbangan beban sehingga munculnya tegangan antara titik bintang dengan tanah. Semua dampak-dampak tersebut sangat merugikan (Dugan, 2007).

Di lain pihak, sumber penyebab dari berkurangnya kualitas daya listrik salah satunya disebabkan oleh pensaklaran dengan semi konduktor (*variable speed drives*), mikro komputer. Penggunaan perangkat semi konduktor dapat menimbulkan harmonisa, yang bisa disebut dengan distorsi frekuensi dari gelombang tegangan dan arus sistem.

PT. SAI adalah perusahaan yang bergerak dalam produksi aluminium foil. Proses produksi pokok dari perusahaan ini adalah merubah lembaran aluminium foil dengan ketebalan tertentu menjadi lembaran aluminium dengan ketebalan yang semakin kecil hingga beberapa mikron saja. Dalam proses produksi tersebut, agar diperoleh kontinuitas produksi yang berkelanjutan, ketebalan aluminium foil sesuai dengan yang diharapkan dan penggunaan tenaga listrik yang efisien maka dibutuhkan sumber tenaga listrik yang berkualitas.

Tujuan dari penelitian ini adalah mengidentifikasi dan mengkaji kualitas daya listrik PT SAI untuk kemudian dicarikan cara-cara yang tepat dan ekonomis untuk memperbaiki kualitas daya listrik yang telah teridentifikasi.

METODE

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini adalah diawali dengan studi literatur tentang teori kualitas daya. Langkah yang kedua adalah perencanaan data-data yang hendak diambil. Data-data yang akan diambil antara lain *single line diagram* sistem tenaga listrik PT SAI, data-data beban; mencakup data-data nominal beban, data trafo; mencakup *name plate* dari masing-masing trafo, data arus, data tegangan, faktor daya,

THD tegangan, THD arus, Daya. Semua besaran listrik tersebut di atas diukur pada sisi sekunder trafo atau sisi tegangan rendah dari *cubicle*-nya dan untuk masing-masing fasanya. Pengukuran besaran listrik tersebut dilakukan dengan menggunakan bantuan *Power Logger*. *Power Logger* tersebut menggunakan PM 500 buatan Merlin Gerlin yang *feature*-nya dapat digunakan dalam pengambilan data yang telah direncanakan. Titik pengukuran adalah pada tiap *cubicle* tegangan rendah (sisi sekunder trafo distribusi). Apabila data-data telah diperoleh maka data beban yang telah diperoleh, diklasifikasikan dalam tabel agar dapat lebih mudah dalam pembacaan. Data beban dikelompokkan (dibuatkan tabel) dalam tiap trafo-nya. Dari data beban tersebut juga dapat diketahui jenis beban, apakah termasuk beban yang sensitif atautkah beban yang tidak sensitif. Jenis beban juga dapat digunakan sebagai rujukan adanya sumber harmonisa.

Hal yang terpenting adalah masalah pembebanan trafo. Dari data name plate trafo dapat diketahui bagaimana seharusnya pembebanan trafo dilakukan agar pendistribusian daya dapat berjalan efektif dan efisien sehingga trafo dapat bekerja optimal. Data name plate trafo ini dibandingkan dengan daya hasil pengukuran.

Pengukuran arus dilakukan di sisi sekunder per-fasa untuk tiap-tiap trafo. Dari data nilai arus per fasa untuk tiap trafo dibuat nilai rata-ratanya. Kemudian dikaji pada trafo mana saja yang mengalami pembebanan tidak setimbang yang berakibat pada munculnya arus netral, dan mencari jawaban, apa penyebab ketidaksetimbangan beban/ arus tersebut

Data tegangan (*line-line* dan *line-netral*) diukur disisi sekunder trafo. Pengukuran dilakukan tiap 30 menit sekali yang kemudian dirata-rata. Dari data tegangan tersebut dianalisis tentang tegangan berlebih (*over voltage*), tegangan kurang (*under voltage*) dan tegangan tidak setimbang (*voltage imbalanced*).

Parameter *over voltage*, sesuai dengan standard IEEE, *Recommended For Monitoring Electric Power Quality*, tegangan berlebih maksimum yang diijinkan adalah 110% tegangan nominal. Untuk *under voltage*, tegangan kurang minimum yang diijinkan adalah sebesar 90% tegangan nominal.

Ketidaksetimbangan tegangan digunakan, standard NEMA MG-1-1993, Rev 3 yang mensyaratkan bahwa ketidaksetimbangan tegangan tidak boleh melebihi 1%. Ada pula yang mensyaratkan sebesar 5%. Untuk penelitian ini dipilih 5%.

Pengukuran faktor daya juga dilakukan pada sisi sekunder tiap-tiap trafo. Disyaratkan besar faktor daya minimum adalah 0,85. Jika lebih kecil dari 0,85 akan meningkatkan cost energy perusahaan yang bersangkutan. Data THD tegangan diperoleh dengan menggunakan *Power Logger*. THD tegangan diukur pada PCC (*point of common coupling*) seperti yang disyaratkan oleh standard IEEE 519-1992. Untuk tegangan nominal di bawah 69 KV, THD tegangan tidak boleh melampaui 5%.

Pengukuran THD arus sama dengan THD tegangan. Untuk penentuan THD arus agar sesuai dengan standar dilakukan beberapa langkah tambahan. Antara lain, harus diketahui MVA hubung singkat untuk tiap trafo. Dari MVA hubung singkat tersebut dicari arus hubung singkatnya, kemudian arus hubung singkat tersebut dibagi dengan arus beban. Hasilnya untuk kemudian disesuaikan dengan standard IEEE 519-1992.

Data daya berguna untuk penentuan kapasitas pembebanan trafo. Menurut standard SPLN II 1995, sebaiknya trafo dibebani antara 50–85%. Tapi ada standard lain, standard NEMA, yang menganjurkan agar pembebanan trafo berkisar antara 35–65%. Penulis memakai standar NEMA TP-1.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sesuai dengan standard IEEE 1159 – 1995 (*Recommended For Monitoring Electric Power Quality*) bahwa tegangan berlebih adalah kenaikan tegangan efektif (RMS) AC 110% lebih besar dari tegangan nominal pada frekuensi nominal sistem.

Data tegangan hasil pengukuran dapat diketahui bahwa untuk tiap-tiap trafo tidak pernah terjadi tegangan berlebih. Atau dalam kata lain, tegangan sistem tidak pernah melampaui 110% dari tegangan nominalnya. Kenaikan tegangan terbesar adalah sebesar 104,1% yang terjadi pada trafo 9 pada sekitar jam 23:00 WIB pada tanggal 26 Juli 2008. Jadi, untuk parameter kenaikan tegangan (*over voltage*) masih dalam limit yang

telah ditentukan, yaitu tidak boleh lebih dari 110%.

Tegangan kurang (*undervoltage*) adalah penurunan tegangan lebih kecil 90% dari tegangan nominalnya. Dari data pengukuran tegangan menunjukkan bahwa tegangan tidak pernah mengalami penurunan di bawah 90%. Hal ini mempunyai arti bahwa sistem tegangan yang dipunyai oleh PT Supra Aluminium ditinjau dari *under voltage*, masih dalam batas standard yaitu tidak boleh di bawah 90%. Dari pengukuran, tegangan kurang paling kecil adalah sebesar 94,9% terjadi pada trafo 2 sekitar pukul 19:00 tanggal 14 Juli 2008. Penyebab tegangan turun antara lain adalah karena beban yang besar sehingga beban ‘menarik’ arus yang lebih besar sehingga tegangan drop saluran juga semakin besar.

Gangguan listrik padam (*sustained interruptions*) yang dimaksudkan di sini adalah tegangan bernilai nol untuk periode melebihi 1 menit. Sering kali gangguan listrik padam ini terjadi karena intervensi manusia dalam rangka perbaikan. Dari data yang didapat selama pengukuran belum pernah terjadi gangguan listrik padam.

Ketidaksetimbangan tegangan yang berlebihan akan menjadi masalah bagi motor induksi tiga fasa. Ketidaksetimbangan tegangan mengakibatkan arus yang mengalir pada stator motor induksi menjadi tidak sama sehingga rugi-rugi akan semakin besar dan akibatnya efisiensi motor akan berkurang. Ketidaksetimbangan tegangan juga berdampak pada sistem proteksi dari sistem daya secara keseluruhan. (D. Martzloff, 1990)

PT SAI dalam menjalankan proses produksinya banyak memanfaatkan VSD (*variable speed drives*) untuk mengatur kecepatan motor DC-nya. Ketidaksetimbangan tegangan akan sangat berpengaruh pada kinerja VSD ini. Mengacu kepada standard NEMA MG-1-1993, Rev 3 bahwa ketidaksetimbangan tegangan dinyatakan dengan:

$$\% \text{ Voltage unbalanced} = \frac{\text{Deviasi max. tegangan rata-rata}}{\text{Tegangan rata-rata}}$$

Ketidaksetimbangan tegangan disyaratkan untuk tidak lebih dari 1%. Sebagai contoh, mengacu kepada hasil pengukuran pada trafo 1 pukul 17:00, tegangan saluran fasa R, S dan T berturut-turut

adalah 600, 596, 602. Maka tegangan rata-ratanya adalah

$$\text{Tegangan rata-rata} = \frac{600+596+602}{3} = 599,33 \text{ volt}$$

$$\text{Deviasi Max.} = 602 - 596 = 6 \text{ volt}$$

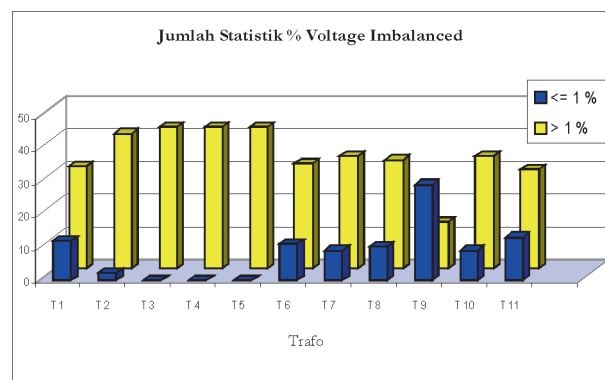
$$\% \text{ Voltage unbalanced} = \frac{6}{599,33} \times 100\% = 1\%$$

Ketidaksetimbangan tegangan tertinggi adalah 1,9% yang terjadi pada trafo 4. Sedangkan ketidaksetimbangan tegangan terendah adalah 0,78% terjadi pada trafo 8. Ketidaksetimbangan tegangan rata-rata dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Ketidaksetimbangan Tegangan Rata-rata

Trafo	% Voltage Imbalanced Rata-rata
1	1.10
2	1.27
3	1.53
4	1.51
5	1.38
6	1.11
7	1.14
8	1.14
9	0.96
10	1.17
11	1.11

Gambar grafik yang menunjukkan jumlah statistik ketidaksetimbangan tegangan berdasarkan kelompok % voltage imbalanced kurang dari 1% dan yang lebih dari 1% untuk pengukuran tiap 30 menit ditunjukkan pada Gambar 1.

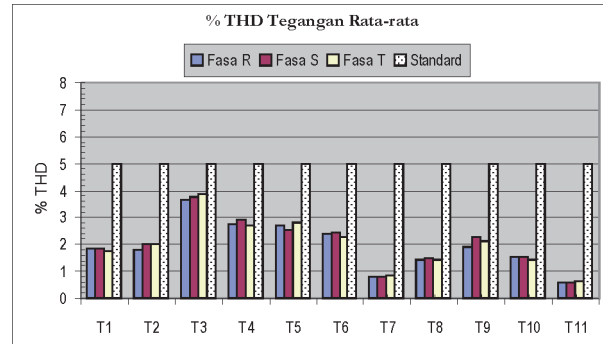


Gambar 1. Grafik jumlah statistik % voltage imbalanced

Harmonisa timbul karena adanya beban non-linieryangberinteraksidengansistemsuplai(Dugan, 2007). Oleh karenanya dibutuhkan batasan-batasan agar harmonisa tidak mempengaruhi sistem daya yang nantinya dapat mengganggu kinerja peralatan listrik. Batasan atau limit tentang harmonisa telah dibuat diantaranya adalah IEEE standard 519-1992. Untuk *end users*, IEEE standard 519-1992 membatasi injeksi arus harmonisa pada PCC (*Point Of Common Coupling*). (Kay, 1996)

Pengambilan data THD, alat ukur *Power Logger* ditempatkan pada PCC tersebut, yaitu pada *cubicle*-nya. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa % THD tegangan tertinggi adalah 8% yang terjadi pada trafo 5. Hal ini dapat dimaklumi karena beban untuk trafo 5 adalah motor DC yang kecepatan putarnya dikontrol oleh VSD yang mana VSD ini adalah sumber harmonisa. Sedangkan % THD tegangan yang mempunyai nilai yang kecil dikarenakan tipe beban pada trafo yang bersangkutan tidak atau menginjeksikan arus harmonisa yang kecil. Seperti yang terjadi pada trafo 7 yang mana mempunyai beban motor-motor induksi 3 fasa.

Secara rata-rata, % THD tegangan secara keseluruhan untuk pengambilan data tiap 30 menit yang melampaui batas yang diijinkan menurut standard IEEE 519-1992 ditunjukkan pada Tabel 2.



Gambar 2. Grafik% rata-rata THD tegangan

Arus

Total Harmonic Distortion) THD Arus

Secara umum, distorsi arus didefinisikan dengan perbandingan antara arus harmonisa total dengan arus fundamentalnya yang biasanya dalam

Tabel 2. % THD Tegangan Rata-Rata

Trafo	THD (%)		THD aktual rata-rata (%)		
	Standard	R	S	T	
T1	5	1.88	1.852	1.727	
T2	5	1.78	2.03	1.988	
T3	5	3.65	3.787	3.884	
T4	5	2.77	2.894	2.68	
T5	5	2.71	2.565	2.783	
T6	5	2.4	2.439	2.282	
T7	5	0.81	0.804	0.823	
T8	5	1.45	1.504	1.445	
T9	5	1.88	2.289	2.115	
T10	5	1.55	1.561	1.441	
T11	5	0.6	0.567	0.61	

Tabel 3. Standar THD Arus

I_{sc}/I_L	$V_n (< 69 \text{ KV})$					THD
	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$h \leq 35$	
< 20	4	2	1.5	0.6	0.3	5
20 - 50	7	3.5	2.5	1	0.5	8
50 - 100	10	4.5	4	1.5	0.7	12
100 - 1000	12	5.5	5	2	1	15
>1000	15	7	6	2.5	1.4	20

persen. Sama dengan distorsi tegangan, akan tetapi perbedaannya terletak pada pengukuran % THD arus berdasarkan arus hubung singkat maksimum dan arus maksimum yang 'ditarik' oleh beban (Dugan, 2007). Tabel 3 menunjukkan standar THD arus berdasarkan publikasi IEEE 519-1992.

Prosedur untuk memperoleh arus hubung singkat adalah sebagai berikut:

1. Tentukan arus hubung singkat tiga fasa pada PCC. Dengan cara pendekatan, untuk memperolehnya adalah

$$I_{sc} = \frac{MVA_{SC}}{\sqrt{3} \times KV \times 1000} = \frac{KVA_{trafo}}{\sqrt{3} \times KV \times Z(\%)} A$$

Z (%) adalah impedansi trafo dalam p.u.

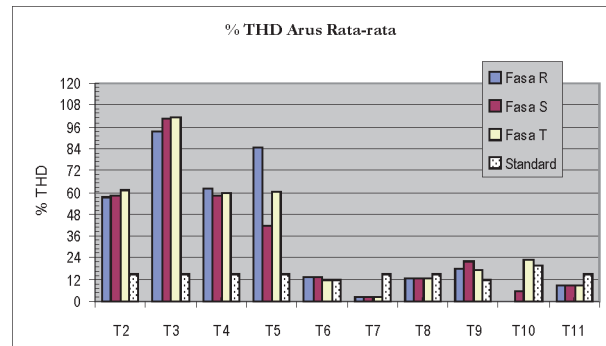
2. Cari daya KW rata-rata untuk selang waktu tertentu.
3. Carilah arus permintaan beban dan pf rata-rata dengan cara

$$I_L = \frac{KW}{\sqrt{3} \times KV \times pf}$$

4. Dan sekarang rasio hubung singkat dapat ditentukan.

Analisis data menunjukkan bahwa THD arus yang masih memenuhi standard IEEE 519-1992 adalah trafo 7, 8 dan 11. Sedangkan untuk trafo yang lain masih belum sesuai dengan standard. Nilai THD arus untuk trafo yang masih belum

memenuhi standard Gambar grafik % THD arus aktual rata-rata ditunjukkan pada Gambar 3.



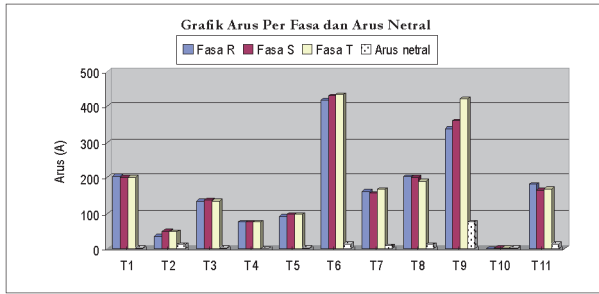
Gambar 3. Grafik % rata-rata THD arus Kesetimbangan Arus (Beban)

Kesetimbangan arus untuk tiap fasanya menunjukkan kesetimbangan beban. Memang mustahil untuk memperoleh kesetimbangan arus 100%. Akan tetapi diusahakan agar kesetimbangan beban diperhatikan benar karena jika tidak akan berakibat pada ketidaksetimbangan tegangan sistem. Selain itu pada titik netral akan muncul arus netral yang apabila sistem tidak ditanahkan secara benar akan mengakibatkan lonjakan tegangan pada salah satu fasanya.

Tabel 4 menunjukkan data arus per fasa untuk masing-masing trafo. Dari data ini akan diperoleh informasi trafo mana saja yang mengalami pembebanan tidak setimbang.

Tabel 4. Data Arus Per Fasa Untuk Masing-Masing Trafo

Trafo	Rata-rata Arus (A)		
	R	S	T
T1	204.80	201.50	200.30
T2	36.04	49.22	47.17
T3	134.86	137.67	134.43
T4	75.82	75.20	75.69
T5	92.61	97.62	96.24
T6	418.39	431.21	434.44
T7	161.93	156.97	167.11
T8	203.27	201.67	190.26
T9	337.67	360.87	421.80
T10	0.00	4.57	3.49
T11	180.76	164.95	169.98



Gambar 4. Grafik rata-rata arus tiap trafo

Gambar 4 memperlihatkan bahwa ketidaksetimbangan arus yang mengalir pada trafo yang terbesar terjadi pada trafo 9. Ketidaksetimbangan arus yang terendah terjadi pada trafo 4. Sedangkan trafo 10 mengalami pembebanan yang sangat ringan sehingga arusnya kecil.

Ketidaksetimbangan arus disini diakibatkan oleh beban-beban satu fasa atau perbedaan impedansi saluran untuk masing-masing saluran. Bisa juga terjadi karena beban tiga fasa itu sendiri yang mempunyai impedansi yang tidak setimbang mengingat bahwa pada trafo 9 terdapat beban heater. Sedangkan pada trafo 4, bebannya adalah motor DC yang mendapat suplai dari tegangan AC yang telah disearahkan dengan menggunakan *power converter* tiga fasa. Sehingga arusnya relatif sama untuk tiap fasanya.

Faktor Daya

Faktor daya merupakan besaran yang berdampak langsung terhadap *energy cost*. PT PLN akan memberikan penalti apabila sebuah perusahaan mengkonsumsi daya reaktif yang melebihi dari batas yang ditentukan. Atau dengan kalimat lain, PT PLN akan memberikan denda berupa sejumlah uang apabila faktor daya sistem daya buruk. Disyaratkan bahwa faktor daya tidak boleh lebih kecil dari 0,85. Hal ini cukup beralasan karena jika faktor dayanya buruk, maka rugi-rugi daya akan semakin besar. Sehingga PT PLN juga akan mengalami kerugian secara finansial.

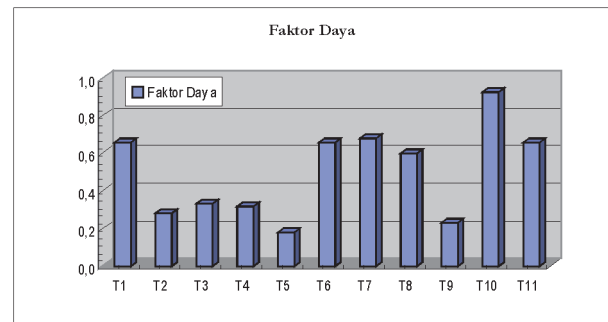
Faktor daya dirumuskan dengan perbandingan antara daya aktif (W) dengan daya semu (VA). Semakin besar daya aktif dibandingkan dengan daya reaktif (VAR), faktor daya semakin baik.

Beban-beban yang menyebabkan besarnya daya reaktif adalah motor-motor AC dan Trafo yang tidak berbeban atau berbeban sangat ringan. Tidak dapat dipungkiri bahwa industri membutuhkan motor-motor sebagai sumber penggerak mekanis.

Pengambilan data faktor daya dilakukan dengan menggunakan *Power Logger*. Pengukuran dilakukan pada *cubicle* pada sisi tegangan rendah yang jumlahnya adalah 11 buah (11 trafo). Tabel 5 menunjukkan faktor daya rata-ratanya.

Tabel 5. Faktor Daya Rata-rata

Trafo	Faktor Daya
T1	0.65
T2	0.28
T3	0.33
T4	0.32
T5	0.18
T6	0.66
T7	0.68
T8	0.60
T9	0.23
T10	0.92
T11	0.65



Gambar 5. Grafik faktor daya untuk masing-masing trafo

Dari Gambar 5 dapat diketahui bahwa faktor daya yang berada di atas 0,85 terjadi pada trafo 10.

Pembebanan Trafo

Trafo yang dibebani kurang (*under load*) akan tidak efektif karena daya beban jauh di bawah nilai kapasitas dari trafo itu sendiri. Selain tidak ekonomis, hal ini akan memberikan kontribusi pada memburuknya faktor daya sistem. (Iglesias, 2002) Sedangkan jika dibebani berlebih, maka akan mengakibatkan suhu trafo yang akan semakin

tinggi sehingga *life time* trafo akan semakin pendek. Dan dampak lain adalah kekuatan isolasi minyak juga semakin berkurang sehingga penggantian minyak trafo harus dilakukan dalam jangka waktu yang agak dipercepat.

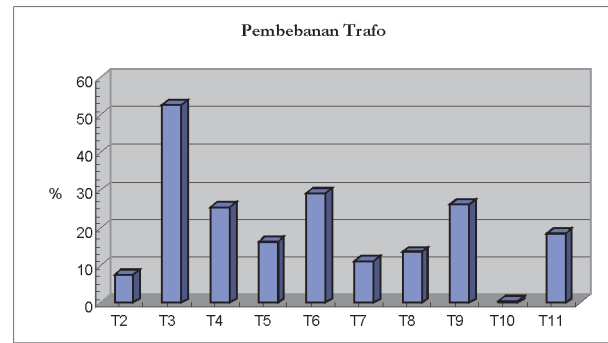
Menurut SPLN II tahun 1995 bahwa disyaratkan pembebanan trafo berada pada kisaran 50–85% . Tetapi ada standard lain, NEMA TP-1, yang mensyaratkan agar pembebanan trafo berkisar antara 35–65%. Standard acuan yang dipakai penulis adalah standard NEMA TP-1.

Pembebanan yang ringan dialami oleh trafo 10, yaitu dalam kisaran di bawah 2%. Hal ini tentu akan sangat merugikan baik ditinjau dari segi teknis maupun ekonomis. Dari segi teknis, pembebanan yang sangat ringan akan memperburuk faktor daya sistem dan menambah rugi-rugi daya (*power losses*). Ditinjau dari segi ekonomis, tagihan rekening listrik akan menjadi besar.

Tabel 6 menunjukkan pembebanan rata-rata untuk masing-masing trafo, sedangkan grafik pembebanan rata-rata dapat dilihat pada Gambar 6.

Tabel 6. Pembebanan Rata-Rata Masing-Masing Trafo

Trafo	Pembebanan (%)
T2	7.61
T3	52.91
T4	25.59
T5	16.47
T6	29.37
T7	11.24
T8	13.69
T9	26.33
T10	0.47
T11	18.55



Gambar 6. Grafik Pembebanan Rata-Rata Masing-Masing Trafo

Dari Gambar 6 dapat dilihat secara jelas bahwa dari 10 trafo, 9 trafo yang mengalami *under load* di bawah 50%. Trafo 10 mengalami pembebanan yang sangat ringan. Dan juga dari gambar 6 dapat diketahui bahwa tidak ada trafo yang mengalami *over load*.

Tinjauan Aspek Ekonomis

Kajian ekonomis yang dimaksud dalam penelitian ini adalah seberapa besar rugi-rugi daya yang dialami perusahaan secara garis besar, yang mana rugi-rugi daya tersebut menyangkut efisiensi penyaluran tenaga listrik dan yang tak kalah pentingnya adalah menyangkut biaya tagihan energi listrik. Idealnya, kita menginginkan bahwa energi yang terbaca pada KWH meter adalah energi yang hanya digunakan oleh beban. Akan tetapi hal ini tidak mungkin karena adanya rugi-rugi daya baik di saluran maupun di peralatan itu sendiri. Rugi-rugi daya dinyatakan dengan satuan Watt atau Kilo Watt. (Sentosa, 2006)

Tabel 7. Data Beban Terpasang dan Rugi-Rugi Masing-Masing Trafo

Trafo	Daya Trafo (KVA)	Beban Terpasang (KW)	Rugi-rugi* (KW)		
			Tembaga	Besi	Total
2	400	250	4,6	0,93	5,53
3	400	268,56	4,6	0,93	5,53
4	400	268,56	4,6	0,93	5,53
5	400	186,55	4,6	0,93	5,53
6	1000	482,63	12,1	2,3	14,4
7	1000	293,695	12,1	2,3	14,4
8	1000	476,43	12,1	2,3	14,4
9	1000	637,89	12,1	2,3	14,4
10	400	109,95	4,6	0,93	5,53
11	630	275,68	6,5	1,3	7,8

* Sumber Data: SPLN 50, 1982

Tabel 8. Rugi-rugi Karena Arus Netral

Trafo	Arus (A)			Arus Netral (A)	Rugi-rugi (W)*
	IR	IS	IT		
2	36.03	49.22	47.17	31.48	485.70
3	107.40	109.42	107.62	4.716	10.89
4	91.51	91.05	92.24	12.26	73.74
5	73.14	75.97	76.40	13.93	95.16
6	561.6	557.76	563.52	7.43	27.07
7	167.30	162.52	175.10	19.98	195.80
8	196.86	195.36	181.13	27.96	383.27
9	338.76	363.52	425.26	4.97	12.10
10	0	4.7713	3.71	4.99	12.23
11	167.07	152.81	156.85	18.94	175.88
Total Rugi-rugi					1471.8

* Dari pengukuran tahanan pentanahan didapat sebesar 0,49 ohm

Titik tolak dalam pembahasan kajian ekonomis ini adalah manajemen pembebanan yang kurang optimal. Yang dimaksud manajemen pembebanan yang kurang optimal di sini adalah pembebanan transformator dimana pembebanan transformator yang terlampaui ringan dan pembagian beban satu fasa untuk masing-masing fasa R, S dan T yang tidak seimbang sehingga mengalir arus pada netral. Mengalirnya arus pada netral mengakibatkan rugi-rugi daya, besarnya tergantung pada tingkat ketidaksetimbangan beban dan besar tahanan pentanahan sistem

Dari pembahasan telah diketahui bahwa rata-rata trafo mengalami pembebanan yang terlampaui ringan. Hal ini merugikan karena dengan pembebanan yang terlalu ringan akan mengakibatkan efisiensi trafo akan rendah. Tabel 7 menunjukkan besar daya beban terpasang pada masing-masing trafo.

Dari tabel 7 dengan mengambil faktor daya sama dengan, terlihat bahwa kapasitas trafo dengan daya terpasang berselisih cukup signifikan. Dengan kata lain, trafo mengalami pembebanan yang terlalu ringan. Jika salah satu trafo dikurangi, misalnya trafo 10, dan beban-beban yang tersambung ke trafo 10 sebelumnya di gabungkan ke trafo yang lain, maka rugi-rugi tembaga dan rugi besi dapat dikurangi. Rugi-rugi daya pada trafo 10 adalah 5,53 KW. Maka energi yang dapat "diselamatkan" dalam jangka satu bulan adalah

$$\text{Energy saving} = 5,53 \text{ KW} \times 5 \text{ jam} \times 30 \text{ hari} = 829,5 \text{ KWH (saat WBP)}$$

$$\text{Energy saving} = 5,53 \text{ KW} \times 19 \text{ jam} \times 30 \text{ hari} = 3152 \text{ KWH (saat LWBP)}$$

Tarif per-KWH untuk golongan I-3 daya 2180 KVA adalah Rp 439,00. Maka nilai rupiahnya adalah $(829,5 \times \text{Rp}439) + (3152 \times \text{Rp}439) = \text{Rp}1.747.878,50$. Jika dalam jangka waktu 1 tahun nilai rupiahnya adalah Rp20.974.542,00. Bisa dihitung apabila trafo yang dikurangi berjumlah 2 trafo.

Namun pertimbangan yang harus mendapat perhatian lebih adalah dalam pengalihan beban trafo yang akan dikurangi, harus memperhatikan kelompok jenis beban trafo yang akan mendapat beban tambahan. Dan apabila mungkin, melakukan pengajuan untuk mengurangi daya kontrak ke PLN.

Tabel 8 menunjukkan rugi-rugi karena arus netral. Arus netral timbul karena ketidaksetimbangan beban. Dari keseluruhan trafo, rugi-ruginya adalah sekitar 1,471 KW. Energi yang terbuang dalam satu bulan adalah

$1,471 \text{ KW} \times 24 \text{ jam} \times 30 \text{ hari} = 1059,012 \text{ KWH}$. Energi ini cukup untuk memberikan suplai energi ke konsumen rumah tangga tarif R1 450 VA sebanyak 3 pelanggan. Bisa dibayangkan apabila tahanan pentanahannya lebih besar lagi dan terjadi ketidaksetimbangan beban. Energi hanya terbuang percuma tanpa memberikan manfaat.

SIMPULAN

Beban motor ini akan mempengaruhi faktor daya sistem. Dan sebanyak 25% adalah beban yang sensitif, yaitu beban yang dikontrol oleh Power Converter. Analisis menunjukkan bahwa tegangan di PT SAI tidak mengalami over voltage maupun under voltage. Tegangan rata-rata berkisar 99,9%.

Sedangkan ketidakseimbangan tegangan rata-rata 1,22%. Jika mengacu pada standard NEMA MG-1-1993, nilai ini belum sesuai dengan standard tersebut, yaitu kurang dari 1%. Ketidaksetimbangan tegangan tertinggi terjadi pada trafo 3 sedangkan yang terendah pada trafo 9.

Parameter penting dalam analisis data pengukuran arus antara lain adalah ketidaksetimbangan beban/arus. Dari data dan analisis data diperoleh informasi bahwa trafo yang mengalami pembebanan yang paling tidak seimbang adalah trafo 10. THD arus yang tertinggal terjadi pada trafo 3. Hal ini sangat beralasan karena pada trafo 3 terdapat power converter sebagai drive dari motor DC sedangkan THD arus yang terendah terjadi pada trafo 7. Hal ini karena beban terpasang pada trafo 7 sedikit atau tidak melibatkan beban yang berpotensi menghasilkan distorsi frekuensi (harmonisa). Sesuai dengan Standard IEEE 519-1992 untuk THD tegangan secara rata-rata mempunyai nilai 1,98% dari nilai $\leq 5\%$ yang dipersyaratkan sedangkan untuk THD arus mempunyai nilai rata-rata 34,47% dari nilai $\leq 15\%$ yang dipersyaratkan.

Faktor daya yang diijinkan sesuai dengan standar SPLN adalah 0.85. Setelah pengukuran dapat disimpulkan bahwa faktor daya rata-rata secara keseluruhan adalah masih dibawah nilai 0,85. Hal ini tentu akan menyebabkan inefisiensi pendistribusian tenaga listrik perusahaan. Dari hasil pengukuran juga didapatkan fakta bahwa 11 trafo yang ada di PT SAI mengalami pembebanan yang terlalu ringan. Trafo yang terbebani paling ringan adalah Trafo 10 yaitu sebesar 0.47%.

DAFTAR PUSTAKA

- D. Martzloff, François, 1990. *Monitoring Power Quality*, Gaithersburg.
- Dugan, Roger C., 2007. *Electrical Power System Quality*, Mc Graw-Hill.
- Iglesias et al, 2002. *Power Quality In European Electricity Supply Networks*, 1st Edition, Euroelectric, Brussels.
- Kai, M. Chan, 1996. *Power Quality Reference Guide*, Ontario.
- Sentosa, Julius. *Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses pada Trafo Distribusi* dalam Jurnal Teknik Elektro Vol. 6 No. 1, Maret 2006.