

# PENGUKURAN DAN ANALISA KUALITAS DAYA LISTRIK DI PAVILIUN GARUDA RUMAH SAKIT DR. KARYADI SEMARANG

Luqman Assaffat<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Semarang  
Jl. Kasipah no 10 – 12, Semarang – Indonesia  
e-mail : [assaffat@yahoo.com](mailto:assaffat@yahoo.com)

## ABSTRAK

*Rumah Sakit dr Karyadi Semarang merupakan rumah sakit milik Pemerintah Provinsi Jawa Tengah dan merupakan Terbesar di kota Semarang, di mana rumah sakit ini mempunyai peralatan-peralatan kedokteran dan kesehatan yang modern dan canggih. Untuk peningkatan pelayanan kepada pasien dari kalangan yang berada, maka pihak manajemen Rumah Sakit Dr. Karyadi membangun fasilitas rawat inap yang khusus untuk kelas VIP dan VVIP yang ditempatkan pada suatu gedung rawat inap yang bernama Paviliun Garuda*

*Untuk menjamin kenyamanan dan pelayanan kesehatan yang prima bagi pasien kelas VIP dan VVIP tersebut, maka di Paviliun Garuda RS Dr. Karyadi terdapat perlengkapan-perengkapan kesehatan dan fasilitas-fasilitas penunjang lainnya yang memerlukan tenaga listrik. Untuk menjaga kualitas daya listrik pada sistem tersebut diperlukan pengukuran dan monitoring kualitas daya listrik dalam jangka waktu tertentu. Pengukuran kualitas daya ini menggunakan alat A3Q analyzer, di mana dengan alat tersebut dapat diketahui dan dianalisa tentang besaran listrik, bentuk gelombang tegangan dan arus listrik, spektrum harmonisa, daya dan faktor daya, arus netral, kesetimbangan beban.*

*Pengamatan dan pengukuran dilakukan pada Transformator 20 kV/380 V yang khusus mensuplai daya listrik untuk Paviliun Garuda, Rumah Sakit Dr. Karyadi. Data yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan standar yang berlaku dan sesuai dengan nilai yang diijinkan. Dari penelitian disimpulkan bahwa secara umum kualitas daya listrik di Paviliun Garuda Rumah Sakit DR Karyadi Semarang dalam keadaan baik, karena memenuhi syarat yang diijinkan*

Kata kunci : kualitas daya listrik, harmonisa, daya dan faktor daya, A3Q Analyzer

## 1. Pendahuluan

Kebutuhan terhadap energi listrik yang terus berkembang menghendaki suatu kontinuitas suplai listrik serta memerlukan kualitas dari suplai daya listrik itu sendiri. Adanya beban-beban listrik yang tak linier seperti peralatan-peralatan yang banyak menggunakan komponen elektronika di jaringan elektrik menyebabkan terjadinya polusi pada sistem tegangan, sehingga akan menurunkan kualitas dari daya listrik. Di mana hal ini sangat mengganggu dan bahkan dapat merusak bagi peralatan yang membutuhkan sistem atau bentuk dari tegangan yang mendekati sinusoidal.

Begitu pentingnya suatu kualitas daya listrik, maka akhir-akhir ini permasalahan kualitas energi listrik semakin mendapat perhatian, baik dari sisi konsumen listrik (beban) maupun dari sisi pengelola sistem kelistrikan. Salah satu aspek dari penurunan kualitas daya listrik adalah berkurangnya efisiensi energi. Sehingga dapat dikatakan bahwa kualitas daya listrik merupakan salah satu parameter yang perlu dipertimbangkan dalam pengelolaan energi listrik pada suatu sektor.

Rumah Sakit Dr. Karyadi Semarang yang merupakan suatu rumah sakit terbesar di Jawa Tengah, dilengkapi dengan peralatan-peralatan kesehatan dan kedokteran yang modern. Di mana peralatan-peralatan tersebut pastilah memerlukan

suatu kualitas daya listrik yang baik, untuk menunjang bekerjanya peralatan tersebut. Sehingga diperlukan suatu pengukuran dan monitoring yang rutin dan berkala terhadap kualitas daya listrik di Rumah sakit tersebut. Dengan adanya penelitian terhadap kualitas daya listrik ini, di harapkan suplai energi listrik di Rumah Sakit Dr. Karyadi Semarang, khususnya di Paviliun Garuda akan selalu terjaga dengan baik.

## 2. Tujuan Penelitian

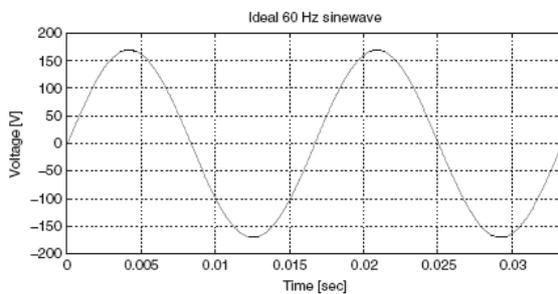
Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengukur dan menganalisa kualitas daya listrik di Paviliun Garuda

## 3. Kualitas Daya Listrik

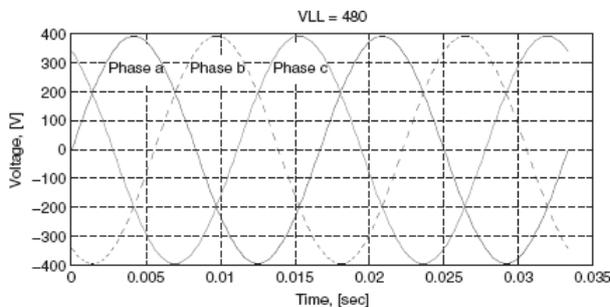
Kualitas daya listrik ditentukan oleh kualitas dari arus, tegangan, frekuensi, harmonisa, Rugi daya, faktor daya dan pengetanahan (grounding), serta kesetimbangan system. Kualitas daya listrik dapat dikatakan baik jika arus, tegangan, dan frekuensi yang terdapat di suatu tempat atau sektor selalu konstan. Tetapi pada kenyataannya arus, tegangan dan frekuensi tersebut tidak selalu bernilai konstan, tergantung pada peralatan listrik atau beban yang dipakai dan pengaturan sistem distribusi listriknya.

### 3.1. Tegangan, Arus dan Frekuensi Ideal

Tegangan yang baik adalah tegangan yang berbentuk sinusoidal murni. Selain dari bentuk gelombang yang sinusoidal, kualitas tegangan yang baik ditentukan pula oleh besarnya yang konstan serta kesetimbangannya terjaga. Kualitas tegangan ini tergantung dari pihak suplai energi listrik, dalam hal ini adalah PLN. Faktor – faktor yang mempengaruhi kualitas tegangan adalah dari sistem pembangkitan yang baik serta sistem distribusi listrik yang baik pula. Apabila kedua faktor tersebut kurang baik, maka tegangan yang diterima pada sisi konsumen juga kurang baik. Tegangan ideal yang seharusnya diterima oleh pihak konsumen adalah  $220\angle 0^0$  untuk fasa A (R atau L1),  $220\angle -120^0$  untuk fasa B (S atau L2) dan  $220\angle 120^0$  untuk fasa C (T atau L2).



Gambar 1. tegangan sinusoidal ideal, dengan  $v_{rms}$  120 V 60Hz



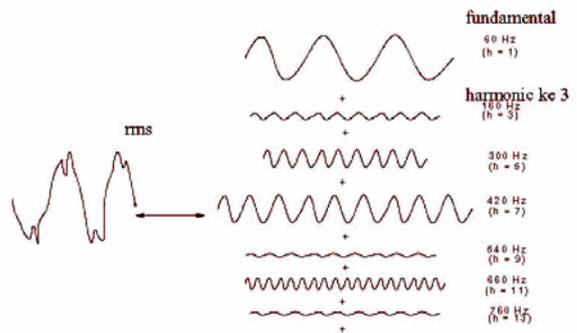
Gambar 2. tegangan tiga fasa ideal , dengan  $v_{L-L}$  480 V 60Hz

Bentuk gelombang arus listrik yang baik berbentuk sinusoidal juga. Kualitas arus listrik dipengaruhi oleh beban atau peralatan-peralatan yang dipakai pada suatu tempat. Beban-beban listrik yang bersifat resistif akan menghasilkan faktor daya 1, beban-beban listrik yang bersifat induktif akan menghasilkan faktor daya tertinggal dan beban-beban listrik yang bersifat kapasitif akan menghasilkan faktor daya mendahului. Selain itu, beban-beban yang bersifat tak linier akan menyebabkan bentuk gelombang arus listrik menjadi tidak sinusoidal lagi.

Frekuensi ideal yang diterima oleh konsumen listrik adalah harus sesuai dengan standar yang berlaku. Di Indonesia, frekuensi tegangan listrik di atur pada 50 Hz.

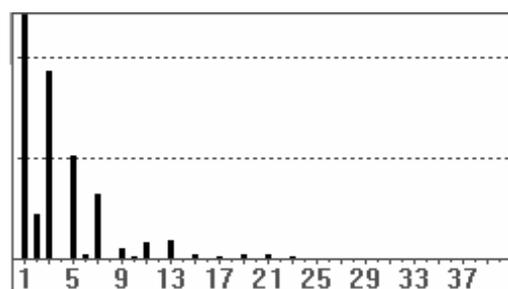
### 3.2. Harmonisa

Harmonisa merupakan gejala pembentukan gelombang-gelombang dengan frekuensi berbeda yang merupakan perkalian bilangan bulat dengan frekuensi dasarnya. Frekuensi dasar sistem tenaga listrik di Indonesia adalah 50 Hz, sehingga harmonisa mempunyai frekuensi dengan nilai kelipatan dari 50 Hz. Sebagai contoh, harmonisa kedua adalah gelombang dengan frekuensi sebesar 100 Hz, harmonik ketiga adalah gelombang dengan frekuensi sebesar 150 Hz dan seterusnya. Gelombang-gelombang ini kemudian menumpang pada gelombang murni atau aslinya sehingga terbentuk gelombang cacat yang merupakan jumlah antara gelombang murni sesaat dengan gelombang harmoniknya.



Gambar 3. Bentuk gelombang harmonisa dengan frekuensi dasar 60 Hz

Harmonisa dapat menyebabkan suatu distorsi harmonisa, yaitu suatu gangguan yang terjadi pada sistem distribusi tenaga listrik akibat terjadinya distorsi gelombang arus dan tegangan. Tingkat distorsi harmonisa dijelaskan melalui spektrum harmonisa yang lengkap dengan magnitude dan sudut fase masing – masing komponen harmonisa tunggal. Hal yang juga umum untuk kuantitas tunggal, *Total Harmonics Distortion* (THD)/Distorsi Total Harmonisa , sebagai ukuran nilai efektif dari distorsi harmonisa.



Gambar 4. Spektrum harmonisa

Nilai Distorsi Harmonisa Total (THD) dari suatu gelombang dapat dihitung dengan formula :

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h_{max}} M_h^2}}{M_1} \dots\dots\dots(1)$$

Di mana  $M_h$  adalah nilai rms komponen harmonisa  $h$  dari kuantitas  $M$ . Kuantitas  $M$  dapat berupa besaran tegangan  $V$  maupun besaran arus  $I$ , sehingga  $THD_V$  nilai distorsi harmonisa total tegangan dan  $THD_I$  nilai distorsi harmonisa total arus listrik, dimana :

$$THD_V = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h_{max}} V_h^2}}{V_1} \dots\dots\dots(2)$$

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h_{max}} I_h^2}}{I_1} \dots\dots\dots(3)$$

Nilai rms dari total bentuk gelombang bukanlah penjumlahan dari setiap komponen harmonisa, tetapi akar kuadrat dari penjumlahan kuadratnya. Hubungan THD dengan nilai rms dari gelombang adalah :

$$rms = \sqrt{\sum_{h=1}^{h_{max}} M_h^2} = M_1 + \sqrt{1 + THD^2} \dots\dots\dots(4)$$

Standar harmonisa berdasarkan standar IEEE 512-1992. Ada dua kriteria yang digunakan untuk mengevaluasi distorsi harmonisa. Yaitu batasan untuk harmonisa arus, dan batasan untuk harmonisa tegangan. Untuk standard harmonisa arus, ditentukan oleh rasio  $I_{SC}/I_L$ .  $I_{SC}$  adalah arus hubung singkat yang ada pada PCC (*Point of Common Coupling*), sedangkan  $I_L$  adalah arus beban fundamental nominal. Sedangkan untuk standard harmonisa tegangan ditentukan oleh tegangan sistem yang dipakai.

Table 1. Batas distorsi tegangan (dalam % Vi)

Tegangan PCC	Harmonisa Individual (%)	$THD_V$ (%)
<20	4,0	2,0
20 – 50	7,0	3,5
50 – 100	10,0	4,5
100 – 1000	12,0	5,5
> 1000	15,0	7,0

### 3.3. Daya dan Faktor Daya

Daya listrik diukur dengan tiga besaran utama, yaitu : daya semu atau daya kompleks  $S$  dengan satuan Volt Ampere (VA), daya nyata atau daya aktif  $P$  dengan satuan Watt (W) serta daya reaktif  $Q$  dengan satuan Volt Amper Reaktif (VAR), di mana :

$$S = V * I \dots\dots\dots(5)$$

$$P = S \cos \varphi \dots\dots\dots(6)$$

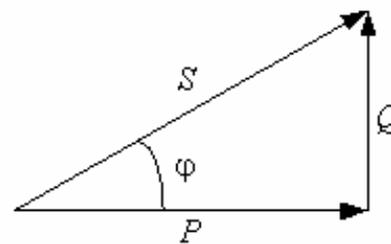
$$Q = S \sin \varphi \dots\dots\dots(7)$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \dots\dots\dots(8)$$

Faktor  $\cos \varphi$  sering disebut sebagai faktor daya (*power factor*, pf), sehingga dapat di formulasikan bahwa :

$$pf = \cos \varphi = \frac{P}{S} \dots\dots\dots(9)$$

Hubungan antara ketiga buah daya listrik tersebut, dapat digambarkan dengan suatu segitiga daya seperti pada gambar di bawah ini :



Gambar 5. Segitiga daya listrik

Namun dengan adanya suatu distorsi harmonisa pada gelombang tegangan dan arus listrik, maka persamaan (8) dan (9) tersebut tidak berlaku. Hal ini disebabkan oleh adanya distorsi tegangan dan arus menyebabkan terjadinya distorsi daya listrik  $D$  (VA), di mana :

$$D = \sqrt{S^2 - P^2 - Q^2} \dots\dots\dots(10)$$

Sehingga  $\cos \varphi$  digunakan untuk mengukur faktor daya dengan frekuensi dasar yang tidak mengandung harmonisa.  $\cos \varphi$  disebut juga *displacement power factor* atau disingkat dengan DPF, yang merupakan faktor daya karena pergeseran fasa antara tegangan dan arus listrik. Sedangkan besaran  $pf$  diperuntukkan untuk mengukur faktor daya dengan frekuensi yang mengandung harmonisa, di mana :

$$pf = \frac{1}{\sqrt{1 + THD^2}} DPF \dots\dots\dots(11)$$

### 3.4. Kestimbangan Sistem

Sistem dapat dikatakan seimbang apabila tegangan tiga fasa yang mensuplai suatu tempat atau sektor adalah seimbang, di mana setiap fasa mempunyai besar tegangan yang sama dan mempunyai perbedaan sudut fasanya adalah  $120^{\circ}$  listrik, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2. Selain tegangan tiga fasa yang seimbang, kualitas daya listrik juga dilihat dari keseimbangan beban tiga fasa yang seimbang. Apabila pembebanan pada suatu sistem seimbang, maka indikatornya adalah arus pada setiap fasa idealnya adalah sama besar dan mempunyai sudut fasa yang idealnya juga terpisah  $120^{\circ}$  listrik juga. Menurut ANSI C84.1 – 1995 ketidak-seimbangan tegangan sistem tidak boleh melebihi 3% pada saat tidak dibebani, dan maksimal 6% untuk sistem yang dibebani.

### 3.5. Grounding

Pentanahan atau grounding yang baik dan ideal adalah tidak adanya arus netral yang mengalir padanya. Adanya arus pada netral disebabkan oleh ketidak-seimbangan pembebanan pada sistem tiga fasa, atau resistansi pada pentanahan yang terlalu tinggi. Menurut PUIL, resistansi pentanahan standar tidak boleh melebihi dari 2 Ohm.

### 4. Metodologi

Metodologi yang digunakan pada penelitian ini adalah dengan cara pengukuran langsung menggunakan alat ukur Power Quality Analyzer A3Q merk LEM, pada sisi sekunder Transformator Distribusi 20 kV / 380 V yang khusus mensuplai daya listrik untuk Paviliun Garuda.



Gambar 6. Pemasangan Alat Ukur A3Q pada sisi sekunder Transformator Distribusi



Gambar 7. Alat Ukur A3Q – LEM

### 5. Hasil Pengukuran dan Analisa

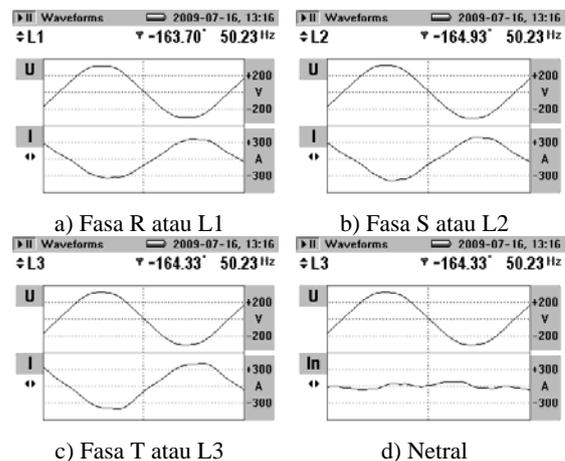
Hasil pengukuran terhadap besaran listrik pada sisi sekunder transformator distribusi Paviliun Garuda di Rumah Sakit Dr. Karyadi Semarang dengan menggunakan alat ukur A3Q analyzer diperlihatkan pada gambar berikut ini.

▶ II Volts/Amps/Hertz 2009-07-16, 13:12		
⇩ L123 In 0.040 kA 50.12 Hz		
	V rms	kA rms
L1	223.9	0.260
L2	226.7	0.269
L3	225.6	0.296

Gambar 8. Hasil Pengukuran Besaran Listrik

Tabel 8 memperlihatkan bahwa besarnya tegangan rata-rata di atas 220 V, dan dianggap masih ideal. Frekuensi 50,12 dianggap baik dan ideal. Arus listrik pada sistem dapat dikatakan kurang seimbang, terutama pada fasa T atau L3 yang terlihat paling tinggi. Pada netral terdapat arus listrik yang cukup tinggi sebesar 40 A.

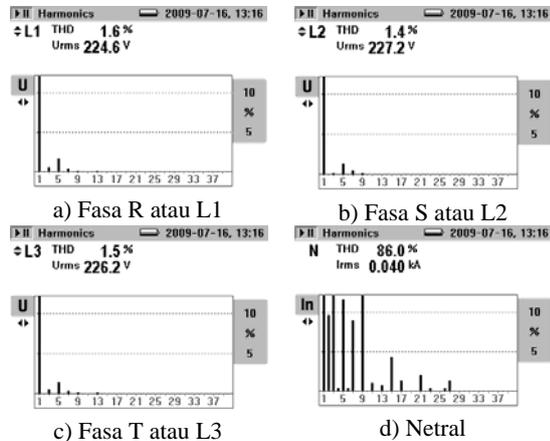
Hasil pengukuran terhadap bentuk gelombang tegangan dan arus listrik dengan menggunakan alat ukur A3Q analyzer diperlihatkan pada gambar berikut ini :



Gambar 9. Bentuk tegangan dan arus listrik hasil pengukuran

Dari gambar di atas terlihat bahwa bentuk gelombang tegangan setiap fasa berbentuk sinusoidal yang berarti tegangan sistem mempunyai kualitas yang baik serta ideal. Begitu juga bentuk gelombang arus listrik pada semua fasa mempunyai bentuk gelombang yang baik. Terlihat pula bentuk gelombang arus pada netral yang seharusnya berupa garis lurus.

Hasil pengukuran terhadap spectrum harmonisa tegangan dengan menggunakan alat ukur A3Q analyzer pada sisi sekunder transformator distribusi pada Paviliun Garuda Rumah Sakit Dr. Karyadi Semarang diperlihatkan pada gambar dan tabel berikut ini



Gambar 10. Spektrum harmonisa tegangan fasa dan arus netral

Dari gambar di atas terlihat bahwa THD tegangan pada semua fasa di bawah 2%, sehingga THD pada sistem ini dapat dikategorikan baik, karena masih berada pada standar yang diijinkan. Namun THD pada arus netral sangat tinggi sekali sebesar 86,0%, hal ini menandakan bahwa sistem pentanahan pada sistem tenaga listrik di Paviliun Garuda Rumah Sakit Dr. Karyadi Semarang sangat buruk.

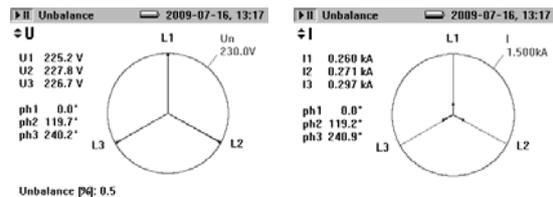
Hasil pengukuran terhadap daya, factor daya dan destorsi daya listrik dengan menggunakan alat ukur A3Q analyzer diperlihatkan pada gambar berikut ini berikut ini

	kW	kVA	PF		kW	kVA	cos $\phi$
L1	55.1	57.3	0.963	L1	55.1	57.3	0.963
L2	60.6	62.7	0.968	L2	60.6	62.7	0.968
L3	63.3	66.1	0.960	L3	63.3	66.1	0.959

Gambar 11. Daya dan faktor daya listrik

Dari hasil pengukuran daya, faktor daya memperlihatkan hasil yang baik, di mana faktor daya dan  $\cos \phi$  bernilai di atas 0,9.

Sedangkan hasil pengukuran ketidakseimbangan sistem diperoleh hasil sebesar 0,5% sehingga kesetimbangan sistem di Rumah Sakit Islam Sultan Agung masih dalam batas standar yang diijinkan.



a) Tegangan 3 fasa

b) Arus 3 fasa

Gambar 12. Ketidak-seimbangan sistem

## 6. Kesimpulan

Dari hasil pengukuran dan analisa kualitas daya di Paviliun Garuda Rumah Sakit Dr. Karyadi Semarang, dapat ditarik suatu kesimpulan bahwa :

1. Kualitas tegangan, arus dan frekuensi dalam keadaan baik
2. Tingkat distorsi harmonisa tegangan dan arus masih berada pada standar yang diijinkan
3. Kualitas daya, faktor daya,  $\cos \phi$  serta distorsi daya sangat baik
4. Ketidak-setimbangan sistem masih dalam batas standar yang diijinkan
5. Sistem pentanahan pada sistem tenaga listrik di Paviliun Garuda Rumah Sakit Dr. Karyadi Semarang tidak baik

## 7. DAFTAR PUSTAKA

1. Alexander Kusko, Marc T. Thompson, 2007, "Power Quality in Electrical System", McGraw-Hill Companies
2. Anggelo Baggingi, 2008, "Handbook of Power Quality", John Wiley & Sons Ltd, New York.
3. Arrilaga, J, Bradley, D.A., Bodger, P.S, 1985, "Power System Harmonics", John Wiley & Sons Ltd, New York.
4. Arrilaga, J, Watson N.R., S Chen, 2000, "Power System Quality Assesment", John Wiley & Sons Ltd, New York.
5. Barry Kennedy, 2004, "Power Quality Primer", McGraw-Hill Companies
6. Cristof Naek Halomon Tobing, 2008, "Pengaruh Harmonik Pada Transformator Distribusi" Tugas Akhir Universitas Indonesia, Jakarta
7. Dugan, R.C, McGranaghan M.F, Beaty H.W., 1996, "Electrical Power System Quality", McGraw-Hill Book Company, New York.
8. Davis, E.J, Emanuel, A.E., Pileggi, D.J., 2000, "Evaluation of Single Point Measurement Method for Harmonic Pollution Cost Allocation", IEEE Trans. On Power Delevary, pp14-15.
9. IEEE Task Force, April 1993, "Effect of Harmonic on Equipment", IEEE Trans. Power Delivery, vol.8, pp.672-680,
10. IEEE Task Force, Sept1985, "The Effect of Power system Harmonic on Power System Equipment and Loads" IEEE Trans. Power

- Apparatus and Systems, vol PAS-104, pp 2555-2563.
11. Mc Granaghan M.F, 1998,"*Overview of the Guide for Applying Harmonic Limits on Power Systems-IEEE P519A*", The 8<sup>th</sup> International Conference on Harmonic and Quality of Power ICHQP.
  12. Prasetyo Roem, 2006, "Penggunaan Alat Penghemat Energi Yang Melawan Hukum", Kompas, Jakarta
  13. Syafrudin Masri, 2004,"Analisa Kualitas Daya Sistem Distribusi Tenaga Listrik Perumahan Modern", Jurnal Rekayasa Elektrika Vol.3 no. 2, Universiti Sains Malaysia
  14. Usman Saleh Baafi,2006," Sistem Tenaga Listrik : Polusi Dan Pengaruh Medan Elektromagnetik Terhadap Kesehatan Masyarakat ", Pidato Pengukuhan Guru Besar Universitas Sumatera Utara, Medan