

Perbaikan Faktor Daya Motor Induksi Tiga Fase

Oleh

Manan Ginting

Staff Pengajar di Pendidikan Teknologi Kimia Industri (PTKI) Medan

Abstrak

Faktor daya motor induksi yang rendah akan sangat merugikan konsumen terutama kalangan industri sebagai pengguna terbesar. Bagi industri kondisi faktor daya rendah tak dapat dihindari karena beban motor yang bervariasi. Motor induksi dengan beban penuh dapat memberikan faktor daya tinggi, namun pada saat motor berbeban rendah faktor dayanya akan turun hingga dapat mencapai 0,3. Kondisi semacam ini dapat diatasi dengan penambahan kapasitor. Kapasitor yang dipasang secara paralel dengan motor dapat digunakan untuk memperbaiki faktor daya. Besarnya nilai kapasitor tergantung pada daya reaktif yang ditarik oleh motor. Nilai kapasitor tidak boleh melebihi 90% dari daya reaktif motor tanpa beban, sebab kapasitor yang nilainya terlalu tinggi dapat mengakibatkan tingginya tegangan kerja. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan pemasangan kapasitor 1 μF dapat perbaikan faktor daya hingga mencapai 0,93. Perbaikan faktor daya hanya efektif pada beban kurang dari 50% dari beban normal.

Kata Kunci: faktor daya, daya motor induksi, kapasitor

PENDAHULUAN

Motor induksi banyak digunakan sebagai pergerak utama pada sebagian besar industri. Pada umumnya motor yang digunakan untuk keperluan industri adalah motor-motor kecil yang efisiensinya tidak tinggi, sehingga banyak kerugian pada rangkaian magnetisasi saat berbeban ringan. Motor yang dibuat oleh pabrik dirancang untuk beroperasi mendekati beban penuh, sehingga jika beban turun dibawah beban tertentu maka efisiensi turun dengan cepat, mengoperasikan motor dibawah laju beban rendah memiliki dampak pada faktor dayanya. Faktor daya yang tinggi sangat diinginkan, agar operasi mesin lebih efisien dan menjaga biaya rendah untuk seluruh sistem kelistrikan pabrik.

Dalam praktek yang umum dilakukan adalah memilih motor berdasarkan beban antisipasi tertinggi. Namun hal ini membuat motor lebih mahal padahal motor hanya akan beroperasi pada kapasitas penuh untuk jangka waktu yang pendek, dan beresiko motor bekerja pada beban rendah. Unjuk kerja dan faktor daya motor induksi banyak berkurang bila beban berkurang. Faktor daya rendah pada motor induksi disebabkan oleh belitan motor sendiri yang bersifat induktif, dan karakteristik beban yang tidak konstan besarnya yang selalu berubah-ubah dari beban ringan ke beban berat.

Untuk mengatasi rendahnya faktor daya, yang biasa dilakukan adalah dengan memasang kapasitor paralel dengan beban. Pemasangan kapasitor yang terlalu kecil tidak memberikan dampak yang berarti, sedangkan kapasitor yang terlalu besar akan berdampak naiknya tegangan kerja motor. Jika kenaikan tegangan kerja motor

berlangsung lama, maka suhu motor akan menjadi tinggi yang dapat mengakibatkan motor terbakar. Dengan pemasangan kapasitor yang sesuai diharapkan dapat memperbaiki faktor daya dan tidak terjadi kenaikan tegangan yang membahayakan.

DASAR TEORI

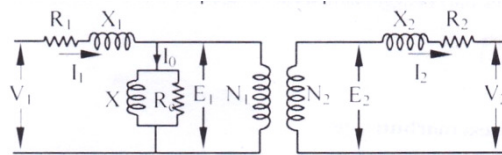
Motor Induksi

Motor induksi merupakan motor yang paling banyak digunakan pada berbagai peralatan industri. Motor induksi menjadi terkenal karena rancangannya yang sederhana, murah dan mudah didapat, dan dapat langsung disambungkan ke sumber daya listrik AC. Berdasarkan pasokan dayanya motor induksi dapat diklasifikasikan menjadi dua golongan:

1. Motor induksi satu fase, yaitu motor dengan satu gulungan stator yang beroperasi dengan pasokan daya satu fase. Motor jenis banyak digunakan dalam peralatan rumah tangga, seperti kipas angin, mesin cuci, dll.
2. Motor induksi tiga fase, yaitu motor dengan tiga gulungan stator yang beroperasi dengan pasokan listrik tiga fase. Motor jenis ini memiliki kemampuan daya yang tinggi, sehingga banyak digunakan di industri.

Konstruksi motor induksi terdiri dari kumparan stator (N_1) dan kumparan rotor (N_2). Kumparan stator berfungsi sebagai kumparan medan, yaitu membangkitkan medan magnet putar melalui

pasokan arus I_0 . Sedangkan kumparan rotor disebut dengan kumparan jangkar. Jika sumber listrik dihubungkan ke kumparan stator, maka pada kumparan tersebut timbul medan magnet putar. Medan magnet putar stator ini kan memotong batang-batang konduktor dari kumparan rotor yang mengakibatkan timbulnya gaya gerak listrik. Rangkaian motor induksi tiga fase dapat digambarkan dengan menggunakan rangkaian ekuivalen satu fase seperti terlihat pada gambar 1.



Gambar 1 Rangkaian ekuivalen satu fase

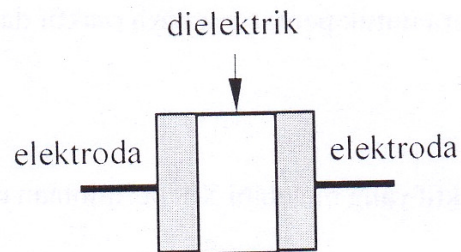
Motor induksi bekerja berdasarkan induksi elektromagnetik dari kumparan stator ke kumparan rotornya. Garis-garis gaya fluks yang diinduksikan dari kumparan stator akan memotong kumparan rotornya sehingga timbul ggl atau tegangan induksi. Karena kumparan rotor merupakan rangkaian yang tertutup, maka akan mengalir arus pada kumparan tersebut. Kumparan rotor yang dialiri arus ini berada dalam garis gaya fluks yang berasal dari kumparan stator sehingga kumparan rotor akan mengalami gaya Lorentz yang menimbulkan torsi yang cenderung menggerakkan rotor sesuai dengan arah pergerakan medan induksi stator. Perbedaan medan putar stator dan perputaran rotor disebut slip (S), sehingga

$$n_r = \frac{120 \cdot f}{P}$$

Kapasitor

Kapasitor adalah komponen yang dapat menyimpan muatan listrik. Kapasitansi didefinisikan sebagai kemampuan dari suatu kapasitor untuk dapat menampung muatan electron. Sebuah kapasitor akan memiliki kapasitansi sebesar 1 farad jika dengan tegangan 1 volt dapat memuat muatan electron sebanyak 1 coulomb atau setara dengan $6,25 \times 10^{18}$ elektron. Struktur sebuah kapasitor yang terbuat dari 2 buah pelat metal yang dipisahkan oleh suatu bahan dielektrik ditunjukkan pada Gambar 2. Bahan-bahan dielektrik yang umum dikenal misalnya keramik, gelas dan lain-lain. Jika kedua ujung pelat metal diberi tegangan listrik, maka muatan-muatan positif akan mengumpul pada salah satu kaki elektroda metalnya dan pada saat yang sama muatan-muatan

negative terkumpul pada ujung metal yang lain. Muatan positif tidak dapat mengalir menuju ujung kutub negative dan sebaliknya muatan negative tidak bisa menuju ke ujung kutub positif, karena terpisah oleh bahan dielektrik yang non- konduktif. Muatan elektrik ini tersimpan selama tidak ada konduksi pada ujung-ujung kakinya.

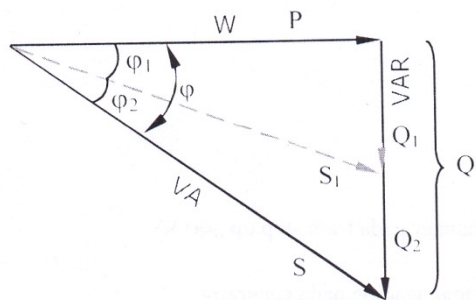


Gambar 2. Prinsip dasar kapasitor

Kapasitor yang akan digunakan untuk memperbesar faktor daya dipasang parallel dengan rangkaian itu dberi tegangan maka elektron akan mengalir masuk ke kapasitor. Pada saat kapsitor penuh dengan muatan elektron maka tegangan akan berubah. Kemudian electron akan keluar dari kapasitor dan mengalir ke dalam rangakaian yang memerlukannya, dengan demikian pada saat itu kapasitor membangkitkan daya reaktif. Bila tegangan yang berubah itu kembali normal, maka kapasitor akan menyimpan kembali electron. Pada saat kapasitor mengeluarkan electron (I_c) berarti kapasitor menyuplai daya reaktif ke beban. Karena beban bersifat induktif (+) sedangkan daya reaktif bersifat kapasitif (-) akibatnya daya reaktif akan menjadi kecil.

Faktor daya

Daya didefenisikan sebagai laju energi yang dibangkitkan atau dikonsumsi oleh suatu peralatan listrik, satuannya adalah Joule/detik atau watt yang disebut sebagai daya aktif (P). selain daya aktif, kita kenal daya reaktif (Q), memiliki satuan VAR atau volt-ampere reaktif. Daya reaktif (Q) ini tidak memiliki dampak apapun dalam kerja suatu beban listrik. Dengan kata lain daya reaktif ini tidak berguna bagi konsumen listrik. Gabungan antara daya aktif dan reaktif adalah daya seu (S) dengan satuan VA atau volt-ampere. Jika digambarkan dalam segitiga daya, maka daya semu direpresentasikan oleh sisi miring sedangkan oleh sisi segitiga yang saling tegak lurus, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3 segitiga daya

Faktor daya (*power factor*) atau sering disebut dengan $\cos \varphi$ adalah perbandingan daya aktif dan daya semu. Sudut φ adalah sudut yang dibentuk antara sisi daya aktif (P) dan daya semu (S), sedangkan daya reaktif (Q) tegak lurus terhadap daya aktif (P), maka :

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} \quad (1)$$

besarnya daya semu (S) motor induksi adalah :

$$S = V \cdot I \text{ (volt-ampere)} \quad (2)$$

Besarnya daya P motor induksi satu fase adalah :

$$P = V \cdot I \cos \varphi \text{ (watt)} \quad (3)$$

Besarnya daya P motor induksi tiga fase adalah :

$$P = V \cdot I \cdot \sqrt{3} \cos \varphi \text{ (watt)} \quad (4)$$

Dimana, P = daya motor (watt)

V = tegangan kerja motor (volt)

I = arus motor (ampere)

$\cos \varphi$ = faktor daya

Daya semu, S adalah daya yang harus dipasok oleh PLN untuk memikul beban P yang diperlukan industry, sehingga besarnya sudut φ sangat berpengaruh terhadap besarnya pasokan daya. Semakin besar sudut φ , maka semakin besar daya yang harus dipasok oleh PLN, sehingga biaya yang harus ditanggung oleh industry juga semakin besar. Besarnya faktor daya yang ditetapkan PLN untuk kalangan industry sebesar 0,85.

Untuk memperkecil sudut φ , maka diperlukan penambahan kapasitor. Besarnya sudut $\varphi = \varphi_1 + \varphi_2$, maka besarnya daya reaktif $Q = Q_1 + Q_2$, sehingga $Q_2 = Q - Q_1$, yang tak lain adalah daya yang tersimpan dalam kapasitor.

Besarnya sudut φ dipengaruhi oleh besarnya impedansi beban, jika beban bersifat induktif (+) maka impedansi mengarah ke sumbu positif dan jika beban bersifat kapasitif (-) mengarah ke sumbu negative, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.

Untuk beban yang bersifat induktif, besarnya impedansi adalah :

$$Z_L = \sqrt{R^2 + X_L^2} \quad (5)$$

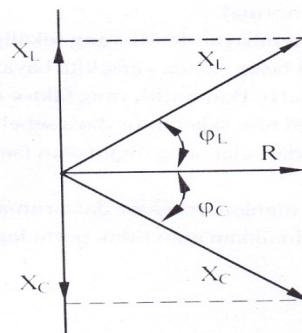
$$X_L = \varphi L = 2\pi \cdot f \cdot L$$

Sedangkan untuk beban kapasitif, besarnya impedansi adalah :

$$Z_C = \sqrt{R^2 - X_C^2} \quad (6)$$

$$X_C = \frac{1}{\varphi C} = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C}$$

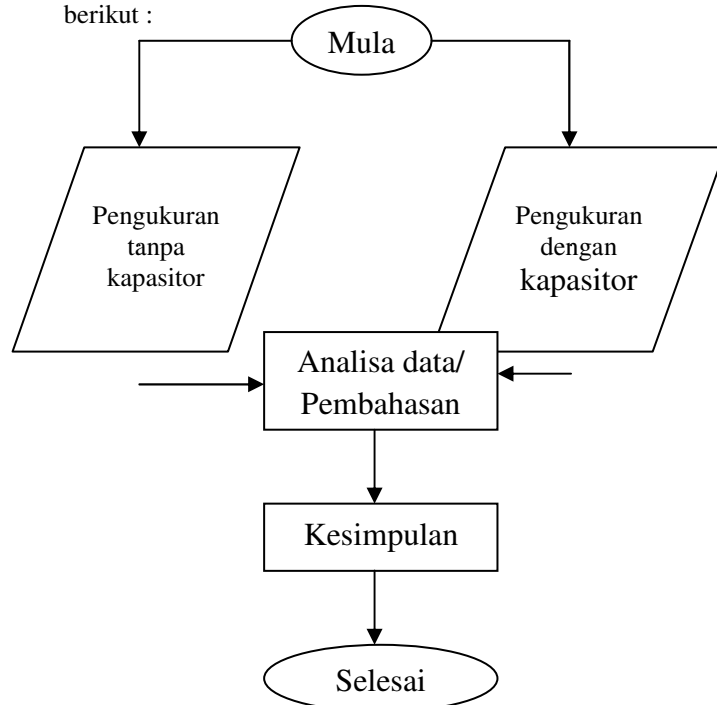
$$C = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot X_C}$$



Gambar 4 diagram vector impedansi beban

METODE

Lokasi penelitian dilakukan di Laboratorium Teknik Tenaga Listrik, Pendidikan Teknologi Kimia Industri (PTKI) Medan. Langkah-langkah kerja yang dilakukan adalah sebagai berikut :



Gambar 5 Skema Penelitian

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian :

1. Motor induksi 3 fase
2. Voltmeter
3. Amperemeter
4. Wattmeter
5. Tachometer

6. Beban motor
7. Sumber tegangan
8. Terminal/kabel

Spesifikasi motor induksi yang digunakan :

- Merk motor : ELWE
- Motor 3 fase; 0, 12 kW
- Tengan 380/220-50 Hz
- Cos $\phi = 0,84$

Pengujian motor :

Untuk mempelajari faktor daya motor induksi dilakukan pengujian dalam dua tahap, yaitu pengujian motor tanpa kapasitor dan dengan kapasitor. Tahap pertama pengujian motor tanpa kapasitor dilakukan untuk mengetahui besaran-besaran yang diperlukan untuk perhitungan penentuan nilai kapasitor. Pengamatan meliputi besar arus, tegangan kerja, daya kerja motor, dan putara. Hasil pengujian tahap I ditunjukkan pada tabel I. pengujian tahap kedua adalah pengujian motor dengan kapasitor yang dilakukan untuk mengetahui besarnya perbaikan faktor daya Setelah pemasangan kapasitor. Pengamatan meliputi besar arus, tegangan kerja, daya kerja motor, dan putaran. Hasil pengujian motor dengan kapasitor ditunjukkan pada Tabel 2.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk mengetahui besarnya faktor daya motor induksi pada penelitian ini dilakukan dalam dua tahap. Tahap pertama adalah pengukuran arus, tegangan, putaran, dan daya motor tanpa kapasitor dengan variasi beban. Hasil pengukuran ini ditunjukkan pada Tabel 1. Tahap kedua adalah pengukuran arus, tegangan, putaran, dan daya motor setelah pemasangan kapasitor dengan variasi beban. Hasil pengukuran ini ditunjukkan pada Tabel 2. Data *name plate* motor:

Jenis motor : Induksi 3 fase, 380/220 V-50 Hz
 Daya motor : 0,12 kW
 Faktor daya : 0,84
 Arus nominal : 0,35 A
 Putaran : 2800 rpm

Data pengukuran besaran motor :

Tabel 1 Pengukuran besaan tanpa kapasitor:

No	% Beba n Penu h	Nilai Pengukuran				Perhitu ngan faktor daya
		Tegan gan (Volt)	Arus (Am p)	Day a (Wat t)	Putar an (Rp m)	
1.	20	380	0,20	24	2995	0,18
2.	30	380	0,22	80	2937	0,55
3.	40	380	0,24	96	2906	0,61
4.	50	380	0,26	140	2883	0,78
5.	60	380	0,28	160	2860	0,80
6.	70	380	0,30	164	2835	0,81
7.	80	380	0,32	170	2818	0,83
8.	90	380	0,34	200	2790	0,85

Perhitungan faktor daya :

Dari hasil pengamatan besaran pada beban 40% diperoleh data sebagai berikut:

$$\begin{aligned} V &= 380 \text{ volt} \\ I_1 &= 0,24 \text{ amper} \\ P &= 96 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Daya semu motor per fase adalah:

$$S = V \times I_1 = 380 \times 0,24 = 91,2 \text{ VA}$$

Hasil perhitungan faktor daya untuk motor 3 fase tanpa kapasitor, cos ϕ_1 adalah:

$$\text{Cos } \phi_1 = \frac{P}{S \sqrt{3}} = \frac{96}{198} = 0,61$$

Untuk meningkatkan besarnya faktor daya menjadi Cos $\phi_2 = 0,90$ diperlukan pemasangan kapasitor yang nilainya diperoleh melalui perhitungan sebagai berikut :

Dari hasil perhitungan motor tanpa kapasitor diperoleh:

$$\text{Cos } \phi_1 = 0,61, \text{ sehingga } \phi_1 = \text{Cos}^{-1} 0,61 = 52^\circ 25'$$

Arus reaktif yang diperlukan motor adalah :

$$I_{r1} = I_1 \text{ Sin } \phi_1 = 0,24 \cdot 0,79 = 0,19 \text{ A}$$

Jika kapasitor dipasang paralel, untuk menghasilkan Cos $\phi_2 = 0,9$ maka motor dengan kapasitor akan mengkonsumsi arus sebesar :

$$I_2 = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \text{Cos } \phi_2} = \frac{96}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,9} = 0,16 \text{ A}$$

Besarnya sudut $\phi_2 = \text{Cos}^{-1} 0,9 = 25^\circ,50'$, sehingga arus reaktif yang diperlukan:

$$I_{r2} = I_2 \text{ Sin } \phi_2 = 0,16 \cdot 0,436 = 0,07 \text{ A}$$

Arus reaktif yang lewat di kapasitor :

$$I_C = I_{r1} - I_{r2} = 0,19 - 0,07 = 0,12 \text{ A}$$

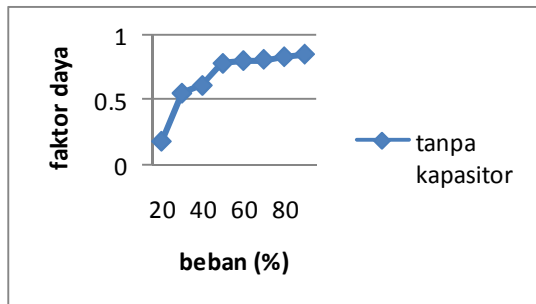
Tahanan reaktif kapasitor :

$$X_C = \frac{V}{I_C} = \frac{380}{0,12} = 3167 \text{ Ohm}$$

Sehingga kapasitor-kapasitor yang diperlukan adalah :

$$C = \frac{1}{2\pi f X_C} = \frac{1}{314.3167} \times 10^6 = 1 \mu F$$

Dari variasi beban dan hasil perhitungan faktor daya dapat dibuat Grafik 1

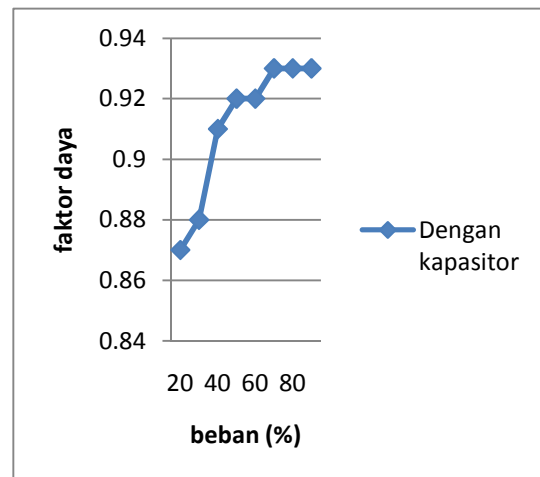


Grafik 1. Hubungan Antara Faktor Daya dengan Beban

No	% Beban Penuh	Tegangan (volt)	Arus (Amp)	Daya (watt)	Putaran (rpm)	Perhitungan faktor daya
1.	20	400	0,20	120	295	0,87
2.	30	400	0,22	134	288	0,88
3.	40	400	0,24	152	287	0,91
4.	50	400	0,26	166	285	0,92
5.	60	400	0,28	178	284	0,92
6.	70	400	0,30	193	284	0,93
7.	80	400	0,32	206	280	0,93
8.	90	400	0,34	220	277	0,93

Dari grafik 1 terlihat bahwa pada prosentase beban dibawah 50%, faktor daya turun sangat rendah. Sehingga diperlukan penambahan kapasitor.

Dari variasi dan hasil perhitungan faktor daya setelah pemasangan kapasitor dapat dibuat Grafik 2.



Grafik 2. Hubungan antara faktor daya dengan beban

Manfaat dari koreksi faktor daya adalah penurunan kebutuhan VA, sehingga dapat mengurangi biaya kebutuhan utilitas. Ukuran kapasitor tergantung pada daya reaktif tanpa beban (VAR) yang ditarik oleh motor. Ukuran ini tidak boleh melebihi 90% dari VAR motor tanpa beban, sebab kapasitor yang lebih tinggi dapat mengakibatkan motor terbakar.

Untuk memperbesar harga faktor daya yang dilakukan adalah rendah hal yang mudah dilakukan adalah memperkecil sudut ϕ , agar komponen daya reaktif (VAR) menjadi rendah. Komponen daya reaktif yang bersifat induktif harus dikurangi dan pengurangan itu bisa dilakukan dengan menambah suatu sumber daya reaktif yaitu berupa kapasitor. Proses pengurangan itu bisa terjadi karena kedua beban bersifat induktif dan kapasitif yang arahnya berlawanan akibatnya daya reaktif menjadi kecil. Dari grafik 2 terlihat bahwa pada pembebanan 20% beban penuh terjadi perbaikan faktor daya 0,18 menjadi 0,87.

KESIMPULAN

Kesimpulan

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa perbaikan faktor daya motor dapat dilakukan dengan pemasangan kapasitor. Dengan pemasangan kapasitor 1 μF dapat memperbaiki faktor daya hingga mencapai 0,87 saat berbeban 20% beban penuh.

DAFTAR PUSTAKA

1. RASID, MUHAMMAD H. "Power Electronics Circuits Devices and Application" Third Edition, Pearson Education, Inc., 2004, pp. 68-87
2. TELLA, PRANAVI CHOWDARI. "The Study Of Single Phase Diode Rectifiers with High Power Factor and Low Total Harmonic Distortion." Thesis Master Of Science University of Missouri, Colombia, December, 2008.
3. HARTEN P. VAN, SETIAWAN E., 1998, *Instalasi Listrik Arus Kuat*, Jilid I dan II, Penerbit Bina Cipta Bandung.
4. HARTEN P. VAN, SETIAWAN E., 2002, *Instalasi Listrik Arus Kuat*, Jilid III, Penerbit Trimitra Mandiri.
5. BASU, SUPRATIM. "Single Phase Active Power Factor Correction Methods for Optimizing EMI, Performance and Costs." Thesis for the Degree of Doctor of Philosophy, Department of Energy and Environment, Division of Electric Power Engineering, CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY Goteborg, Sweden, June, 2006.
6. RIJONO Y., 2002, *Dasar Teknik Tenaga Listrik*, Edisi Revisi, Penerbit Andi Yogyakarta.
7. GRADY, W. MACK. "Harmonics and How They Relate to Power Factor." Proc. Of the EPRI Power Quality Issue and Opportunities Conference [PQA'93], San Diego. C A. November 9 93.