

KAJIAN PENINGKATAN FAKTOR DAYA MOTOR POMPA PA03 AP01 SISTEM PENDINGIN SEKUNDER RSG-GAS

Teguh Sulistyio
PRSG-BATAN

Email: tsulistyo123@yahoo.com

ABSTRAK

KAJIAN PENINGKATAN FAKTOR DAYA MOTOR POMPA PA03 AP01 SISTEM PENDINGIN SEKUNDER RSG-GAS. Telah dilakukan kajian perbaikan faktor daya motor pompa PA03 AP01 Sistem Pendingin Sekunder dengan menggunakan metoda diagram. Kegiatan kajian ini diawali dengan melakukan pengukuran terhadap motor pompa tersebut menggunakan alat ukur *Power Quality Analyzer*. Tujuan kajian ini untuk mengkompensasi kekurangan faktor daya motor yang terjadi pada motor tersebut. Dari hasil pengukuran diketahui bahwa motor pompa PA03 AP01 beroperasi pada faktor daya rendah yaitu rata-rata 0,83. Sedangkan dari hasil perhitungan, motor pompa PA03 AP01 membutuhkan kapasitor bank sebesar 50,42 kVAR (yang tersedia dipasaran 50 kVAR) dengan faktor daya yang diinginkan sebesar 0,9 dapat dicapai.

Kata kunci: faktor daya

ABSTRACT

POWER FACTOR IMPROVEMENT STUDY OF MOTOR PUMP COOLING SYSTEM SECONDARY PA03 AP01 RSG-GAS. Studies have been carried out pump motor power factor improvement PA03 AP01 Secondary Cooling System by using the method of diagrams. Activity this study begins with measuring the pump motor is using measuring devices *Power Quality Analyzer*. The purpose of this study to compensate for the lack of motor power factor that occurs in the motor. From the measurement results it is known that PA03 AP01 pump motor operates at low power factor which is an average of 0,83. While the results of the calculation, PA03 AP01 pump motor requires at 50.42 kVAR capacitor bank (a commercially available 50 kVAR) with the desired power factor of 0,9.

Keywords: factor power

PENDAHULUAN

Motor pompa PA01 AP01, PA02 AP01, dan PA03 AP01; kapasitas 220 kW; 50 Hz; 380 VAC yang dihubungkan dengan Pompa Sentrifugal kapasitas 1950 m³/jam melalui Koupling Hidroulik type MKWN-315-1 merupakan salah satu fasilitas sistem pendingin RSG-GAS yang dimiliki oleh Pusat Reaktor Serba Guna Batan. Motor pompa tersebut dioperasikan berdasarkan moda operasi 2 dari 3, artinya dua unit motor bekerja sementara satu unit lainnya disiapkan sebagai cadangan, sebelum reaktor RSG-GAS dioperasikan.

Saat ini motor pompa PA01 AP01, PA02 AP01, dan PA03 AP01 dioperasikan tanpa menggunakan kapasitor bank, sehingga daya nyata (kW) dan daya reaktif (kVAR) yang disuplai dari PLN seluruhnya diserap oleh motor-motor pompa tersebut.

Untuk mengetahui faktor daya yang digunakan oleh masing-masing motor tersebut pada tanggal 13 Maret 2014 telah dilakukan pengukuran faktor daya dengan menggunakan *Power Quality Analyzer*

(PQA). Pengukuran dilaksanakan saat operasi reaktor RSG-GAS teras ke-85 berlangsung.

Perihal yang melatar belakangi penelitian ini yaitu dari hasil pengukuran diketahui bahwa motor pompa PA03 AP01 beroperasi pada faktor daya rendah yaitu rata-rata sebesar 0,83. Mengingat pentingnya hal ini maka perlu dilakukan kajian peningkatan faktor daya supaya motor pompa PA03 AP01 dapat beroperasi dengan faktor daya maksimal.

Tujuan penelitian ini yaitu memperoleh hasil perhitungan besarnya kapasitas kapasitor bank yang dapat meningkatkan faktor daya motor induksi PA03 AP01. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan metoda diagram.

TEORI DASAR

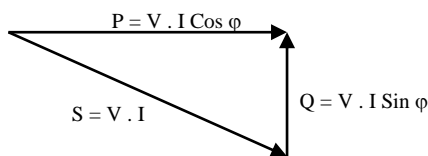
Beban mekanik yang digerakkan oleh motor listrik memerlukan daya kerja yang dikonsumsi sebagai energi. Daya kerja tersebut adalah daya nyata (simbol P, satuan kW). Motor PA03 AP01 Sistem Pendingin Sekunder RSG-GAS merupakan

mesin penggerak pompa PA03 AP01 yang bersifat induktif, yang berarti arus yang diserap oleh motor listrik untuk berputar tertinggal terhadap tegangan suplainya (*lagging*). Dalam kondisi seperti ini, daya reaktif (simbol Q, satuan kVAR) diserap oleh motor listrik. Daya reaktif ini tidak dapat digunakan untuk mengoperasikan beban mekanik, namun diperlukan oleh motor listrik guna membangkitkan medan magnet (*magnetic field*) untuk memutar kumparan rotor motor listrik.

Dampak kerugian yang dirasakan ketika suatu jala-jala sistem kelistrikan beroperasi dengan faktor daya rendah yaitu penurunan kemampuan suplai daya listrik, timbulnya tegangan jatuh, kenaikan arus dan kenaikan temperatur disepanjang penghantar. Untuk mencegah penurunan tersebut, PLN mengharuskan setiap pelanggannya supaya selalu menjaga faktor daya jala-jala sistem kelistrikannya pada batas yang telah ditetapkan dan akan memberi pinalti apabila faktor daya pelanggan berada di bawah batas yang telah ditetapkan yaitu 0,8.^[1] Sedangkan dampak yang terjadi ketika motor listrik beroperasi pada faktor daya rendah (kurang dari 0,85) antara lain timbulnya kenaikan temperatur pada belitan motor yang akhirnya dapat menurunkan efisiensi motor tersebut.^[1]

Faktor daya

Faktor daya bukanlah satu-satunya parameter untuk menilai efisiensi suatu motor listrik namun faktor daya merupakan sebuah rasio perbandingan antara daya nyata terhadap daya semu (simbol S, satuan kVA). Hasil penjumlahan vektor antara daya nyata dengan daya reaktif merupakan daya semu. Untuk memudahkan dalam memahami perbedaan daya nyata, daya semu dan daya reaktif dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Segitiga daya^[2]

Persamaan segitiga daya dapat dituliskan sebagai berikut:^[2]

$$P = V \times I \times \text{Cos } \phi \dots\dots\dots(1)$$

$$S = V \times I \dots\dots\dots(2)$$

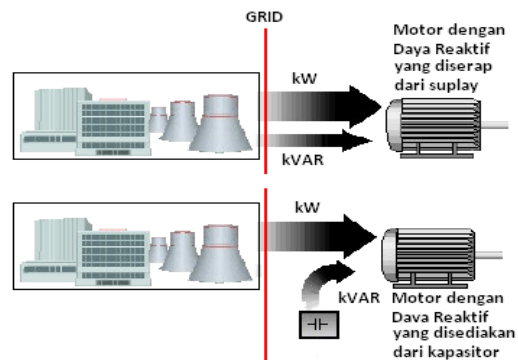
$$Q = V \times I \times \text{Sin } \phi \dots\dots\dots(3)$$

Dimana:

- P = daya nyata (kW)
- Q = daya reaktif (kVAR)
- S = daya semu (kVA)
- V = tegangan jala-jala (V)
- I = arus jala-jala (A)
- Cos φ = faktor daya

Pemasangan kapasitor bank pada motor listrik

Pada gambar 2, motor listrik yang dioperasikan tanpa menggunakan kapasitor bank, maka daya aktif (kW) dan daya reaktif (kVAR) yang disuplai dari PLN seluruhnya akan diserap oleh motor listrik, sebaliknya apabila kapasitor bank dipasang pada sebuah motor listrik, kebutuhan daya reaktif motor listrik diperoleh dari kapasitor bank sehingga daya reaktif yang disuplai dari PLN akan berkurang dan bahkan bisa mendekati nol. Hal ini sangat dimungkinkan mengingat kapasitor bank merupakan komponen elektronik yang menyerap arus listrik dan bersifat *leading* (arus yang mengalir mendahului tegangan), dan dapat melepaskan muatan arusnya ke beban bila diperlukan.



Gambar 2. Ilustrasi pemasangan kapasitor bank pada motor listrik^[2]

Perhitungan model metoda diagram

Metoda diagram merupakan salah satu model metoda perhitungan yang dapat digunakan untuk menentukan kebutuhan kapasitas kapasitor. Model metoda diagram ini dapat menggambarkan diagram sebelum kompensasi dan sesudah kompensasi guna perbaikan faktor daya.

Besarnya kapasitas kapasitor bank sebelum kompensasi dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Cos } \phi_1 = \frac{P_1}{S_1} \dots\dots\dots(4)$$

atau

$$S_1 = \frac{P_1}{\text{Cos } \phi_1}$$

$$Q_1 = S_1 \times \text{Sin } \phi_1 \dots\dots\dots(5)$$

setelah kompensasi dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Cos } \phi_2 = \frac{P_2}{S_2} \dots\dots\dots(6)$$

atau

$$S_2 = \frac{P_2}{\text{Cos } \phi_2}$$

$$Q_2 = S_2 \times \text{Sin } \phi_2 \dots\dots\dots(7)$$

Sehingga besarnya kapasitas kapasitor bank yang diperlukan yaitu:

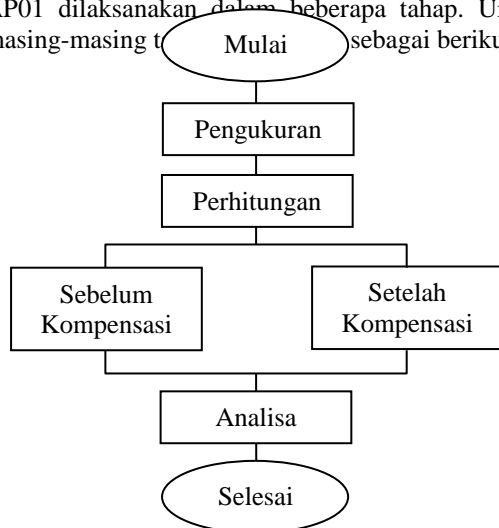
$$Q_C = Q_1 - Q_2 \dots \dots \dots (8)$$

Dengan:

- P_1 = daya motor (kW)
- S_1 = daya semu sebelum kompensasi (kVA)
- $\cos \varphi_1$ = faktor daya sebelum kompensasi
- Q_1 = kapasitas kapasitor sebelum kompensasi (kVAR)
- P_2 = daya motor (kW)
- S_2 = daya semu setelah kopensasi (kVA)
- $\cos \varphi_2$ = faktor daya yang diinginkan
- Q_2 = kapasitas kapasitor setelah kompensasi (kVAR)
- Q_C = kapasitas kapasitor bank yang diperlukan (kVAR)

METODOLOGI KAJIAN

Kajian peningkatan faktor daya motor PA03 AP01 dilaksanakan dalam beberapa tahap. Uraian masing-masing tahap sebagai berikut:



Gambar 4. Alur tahapan kajian peningkatan faktor daya

Pengukuran faktor daya motor dilaksanakan pada tanggal 13 Maret 2014 dengan menggunakan *Power Quality Analyzer* (PQA) saat operasi reaktor RSG-GAS teras ke-85 berlangsung. Selama operasi reaktor berlangsung, pengukuran hanya dilakukan pada motor PA02 AP01 dan PA03 AP01. Hal ini dikarenakan kedua motor tersebut, sedangkan motor PA01 AP01 tidak dioperasikan (difungsikan sebagai cadangan) sehingga nilai faktor daya motor PA01 AP01 tidak diperoleh.

Dari hasil pengukuran diketahui, motor pompa PA02 AP01 beroperasi pada faktor daya rata-rata 0,86 sedangkan motor PA03 AP01 rata-rata 0,83.

Artinya motor PA03 AP01 beroperasi pada kondisi faktor daya kurang baik karena berada di bawah nilai *name plate*-nya sehingga perlu dilakukan perhitungan peningkatan faktor daya motor PA03 AP01. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan metoda diagram.

Spesifikasi teknis motor PA03 AP01 pada Sistem Pendingin Sekunder RSG-GAS berdasarkan *name plate* pada motor ditunjukkan pada tabel 2.



Gambar 5. Motor PA03 AP01 Sistem Pendingin Sekunder RSG-GAS

Tabel 2. Spesifikasi motor PA03 AP01 Sistem Pendingin Sekunder RSG-GAS

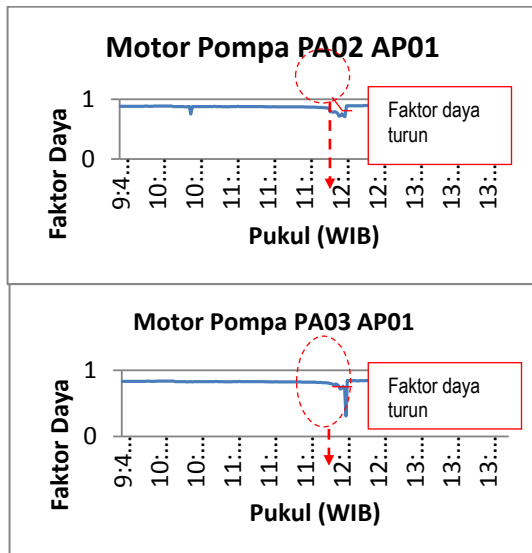
Motor Induksi	: 3 fasa; 50 Hz
Merk	: SCHORCH
Pabrik Pembuat	: Germany
Tahun pembuatan	: 1994
Standar IEC	: 315L-IMB3
Type	: KN7317L-BX014-7
IP	: 23
Arus	: 470 A/270 A
Cos φ	: 0,86
Kapasitas	: 220 kW
Tegangan	: 380 V/660 V
Hubungan	: Δ/Y
Frekuensi	: 50 Hz
Putaran	: 1480 rpm
Rotor	: Sangkar
DIN VDE	: 0530

HASIL DAN PEMBAHASAN

Secara lengkap hasil pengukuran faktor daya motor PA01 AP01; PA02 AP01 dan PA03 AP01 ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengukuran faktor daya motor PA01 AP01; PA02 AP01 dan PA03 AP01

		Motor Induksi 3 Fasa		
Uraian		PA01	PA02	PA03
Faktor daya	(Cos ϕ)	AP01	AP01	AP01
		-	0,86	0,83

**Gambar 6.** Grafik hasil pengukuran faktor daya motor PA02 AP01 dan PA03 AP01 Sistem Pendingin Sekunder RSG-GAS

Pada gambar 6, menunjukkan grafik hasil pengukuran faktor daya motor PA02 AP01 dan motor PA03 AP01. Hasil pengukuran pada motor PA02 AP01 diperoleh nilai faktor daya sama dengan nilai *name plate*-nya yaitu 0,86, sedangkan pada motor PA03 AP01 diperoleh faktor daya lebih rendah dari *name plate*-nya yaitu 0,83. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa motor PA02 AP01 beroperasi pada faktor daya baik sedangkan motor PA03 AP01 beroperasi pada faktor daya kurang baik.

Selama pengukuran, faktor daya motor PA02 AP01 dan PA03 AP01 mengalami drop faktor daya sekitar pukul 12.19 WIB. Hal ini dimungkinkan karena adanya fluktuasi tegangan pada jala-jala PLN. Drop faktor daya berlangsung tidak lama hanya beberapa detik saja sehingga secara umum tidak mengganggu kerja motor listrik.

Penentuan kapasitas kapasitor bank motor PA03 AP01

Berikut ini disajikan perhitungan peningkatan faktor daya motor PA03 AP01 sebelum dan setelah kompensasi sebagai berikut:

Perhitungan sebelum kompensasi

Daya motor = 220 kW

Hasil pengukuran faktor daya motor PA03 AP01 (Cos ϕ_1) = 0,83

$$\cos \phi_1 = 0,83$$

$$\phi_1 = \cos^{-1} \times 0,83$$

$$\phi_1 = 33,90 \text{ --- } \sin \phi_1 = 0,55$$

Dengan menggunakan persamaan (13) besarnya daya semu (S, VA) sebelum kompensasi dapat dihitung sebagai berikut:

$$\cos \phi_1 = \frac{P_1}{S_1}$$

atau

$$S_1 = \frac{P_1}{\cos \phi_1}$$

$$S_1 = \frac{220}{0,83}$$

$$S_1 = 265,06 \text{ kVA}$$

Selanjutnya dengan menggunakan persamaan (15) besarnya kapasitas kapasitor bank sebelum kompensasi dapat dihitung sebagai berikut:

$$Q_1 = S_1 \times \sin \phi_1$$

$$= 265,06 \times 0,55$$

$$Q_1 = 145,78 \text{ kVAR}$$

Perhitungan Setelah Kompensasi

Daya nyata (P) = 220 kW

Faktor daya yang diinginkan (Cos ϕ_2) = 0,9

$$\cos \phi_2 = 0,9$$

$$\phi_2 = \cos^{-1} \times 0,9$$

$$\phi_2 = 25,84 \text{ --- } \sin \phi_2 = 0,43$$

Dengan menggunakan persamaan (13) besarnya daya semu (S, VA) setelah kompensasi dapat dihitung sebagai berikut:

$$\cos \phi_2 = \frac{P_2}{S_2}$$

atau

$$S_2 = \frac{P_2}{\cos \phi_2}$$

$$S_2 = \frac{220}{0,9}$$

$$S_2 = 244,44 \text{ kVA}$$

Dengan menggunakan persamaan (16) besarnya kapasitas kapasitor bank setelah kompensasi dapat dihitung sebagai berikut:

$$Q_2 = S_2 \times \sin \phi_2$$

$$= 244,44 \times 0,43$$

$$Q_2 = 105,11 \text{ kVAR}$$

Dengan menggunakan persamaan (17) kapasitas kapasitor bank yang dibutuhkan untuk motor PA01 AP01 sebagai berikut:

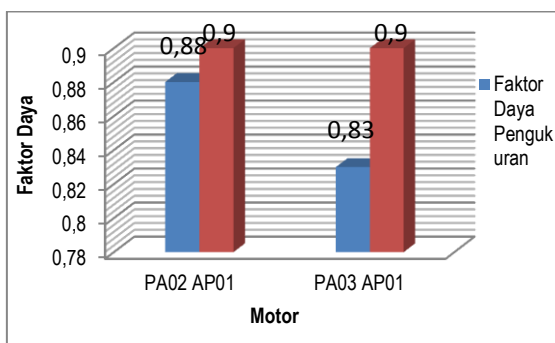
$$\begin{aligned}
 Q_C \text{ PA01 AP01} &= Q_1 - Q_2 \\
 &= 145,78 - 105,11 \\
 &= \mathbf{40,67 \text{ kVAR} \approx 50 \text{ kVAR}}
 \end{aligned}$$

Tabel 2. Hasil perhitungan faktor daya sebelum dan setelah kompensasi

Uraian	Motor Induksi 3 Fasa		
	PA01 AP01	PA02 AP01	PA03 AP01
Perhitungan Sebelum Kompensasi			
Faktor daya	(Cos ϕ_1)	-	0,88
	(Sin ϕ_1)	-	0,55
Daya Nyata (P)	(kW)	-	220
Daya Semu (S_1)	(kVA)	-	265,06
Daya Reaktif (Q_1)	(kVAR)	-	145,78
Perhitungan Setelah Kompensasi			
Faktor daya	(Cos ϕ_2)	-	0,90
	(Sin ϕ_2)	-	0,43
Daya Nyata (P)	(kW)	-	220
Daya Semu (S_2)	(kVA)	-	244,44
Daya Reaktif (Q_2)	(kVAR)	-	105,11
$Q_C = Q_2 - Q_1$		-	12,39
			40,67

Susunan kombinasi kapasitas kapasitor bank yang tersedia dipasaran yaitu 1x25 kVAR; 2x25 kVAR atau 1x50 kVAR.

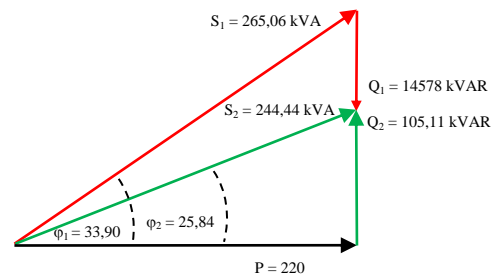
Sehingga untuk mencapai faktor daya yang diinginkan yaitu sebesar 0,9, motor PA02 AP01 membutuhkan kapasitor bank sebesar 1x25 kVAR dan motor PA03 AP01 sebesar 1x50 kVAR.



Gambar 7. Faktor daya yang diinginkan motor PA02 AP01 dan PA03 AP01

Dari gambar 7, selisih faktor daya hasil pengukuran dengan faktor daya yang diinginkan motor PA02 AP01 dan PA03 AP01 yaitu 0,04 kVAR dan 0,07 kVAR.

Pada gambar 8 menunjukkan grafik kompensasi faktor daya motor PA03 AP01.



Gambar 8. Peningkatan faktor daya motor PA03 AP01

Setelah menggunakan kapasitor bank sebesar 50 kVAR, motor PA03 AP01 dapat mencapai faktor daya yang diinginkan yaitu 0,9. Semakin tinggi faktor daya (mendekati 1) yang diinginkan semakin banyak daya yang diberikan oleh PLN dapat dimanfaatkan, sebaliknya semakin rendah faktor daya (mendekati 0) semakin sedikit daya yang bisa dimanfaatkan.

Ketika motor PA03 AP01 beroperasi pada faktor daya rendah kerugian yang timbul antara lain:

- 1) Kerugian pada penghantar.
Kerugian yang timbul akibat arus yang mengalir adalah berbanding lurus dengan nilai arus pangkat 2 (I^2), sehingga rugi-rugi daya pada penghantar yaitu $Rugi \text{ daya} = I^2 \times R$; semakin besar arus yang mengalir pada penghantar, semakin besar kerugian (*losses power*) pada penghantar tersebut, dimana $I = 1/\text{Cos}\phi$, sehingga $I^2 = 1/\text{Cos}\phi^2$. Jadi, apabila faktor daya = 0,83; maka kerugian akibat dari faktor daya rendah ini adalah $1/\text{Cos}\phi = 1/0,83 = 1,2$. Sehingga kerugian yang ditimbulkan adalah 1,2 kali dibanding bila faktor daya jaringan tersebut 1;
- 2) Besarnya kapasitas motor listrik yang dinyatakan dalam rating kVA yang dibutuhkan. Semakin rendah faktor daya, semakin besar rating kVA motor listrik tersebut, dan semakin besar rating kVA motor listrik maka semakin besar pula ukuran mesin yang diperlukan sehingga biaya pengadaan dan perawatan motor listrik meningkat;
- 3) Ukuran penghantar.
Ketika faktor daya rendah, arus yang mengalir akan meningkat, dengan demikian untuk mengalirkan arus yang besar dibutuhkan ukuran penghantar konduktor yang lebih besar dan semakin besar penghantar atau konduktor akan semakin besar biaya yang dibutuhkan untuk pengadaannya;

- 4) Efisiensi kerja motor rendah
Ketika motor PA03 AP01 beroperasi pada faktor daya rendah, akan menimbulkan tegangan jatuh yang cukup besar dan kerugian disepanjang penghantar sehingga menyebabkan sistem atau peralatan memiliki nilai efisiensi kerja motor rendah.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat dibuat kesimpulan sebagai berikut:

- 1) Untuk mencapai faktor daya yang diinginkan sebesar 0,9 motor PA02 AP01 memerlukan kapasitor bank sebesar 1x25 kVAR dan motor PA03 AP01 sebesar 1x50 kVAR;
- 2) Dengan melakukan peningkatan faktor daya motor PA03 AP01 akan diperoleh beberapa keuntungan antara lain:
 - a) Meningkatkan efisiensi motor PA03 AP01 dikarenakan motor bekerja pada faktor daya tinggi;
 - b) Mengurangi beban pada transformator BHT03;
 - c) Menghindari tegangan jatuh disepanjang kabel penghantar motor induksi;
 - d) Mengurangi rugi-rugi penghantar akibat dari kenaikan arus dan temperatur pada kabel penghantar motor induksi.

DAFTAR PUSTAKA

1. **ANTHONY ZURIMAN**, Tumiran dan Berahim Hamzah, 2003, “ Kinerja pengoperasian motor induksi 3-fase pada sistem tenaga 1-fase dengan menggunakan kapasitor”,

TEKNOSAINS, Seri B, Jilid 16, Nomor 1, terakreditasi No. 22/ DIKTI/kep/ 2002/ tanggal 8 mei 2002, UGM, Yogyakarta, hal. 1-12.

2. **ANTHONY ZURIMAN**, 2008, “Perancangan kapasitor jalan untuk mengoperasikan motor induksi 3-fasa pada sistem tenaga 1-fasa”, *JURNAL TEKNIK ELEKTRO*, Volume 8, Nomor 1, Maret 2008, ISSN: 1411-870X, Universitas Kristen Pentra Surabaya, Indonesia, hal. 46-51.
3. **ATTAIANESE, C., TOMASSO, G., DAMIANO, A., MARONGIU, I. AND PERFETTO, A.**, 1999, “ A Novel Approach to Speed and Parameters Estimation in Induction Motor Drives “, *IEEE Trans. on Energy Conversion*, 14 (4), pp. 939-945.
4. **CADIRCI, I., ERMIS, M., NALCACI, E., ERTAN, B. AND RAHMAN, M.**, 1999, “ A Solid State Direct On Line Starter for Medium voltage Induction Motors with Minimized Current and Torque Pulsations “, *IEEE Trans. On Energy Conversion*, Vol. 14 (3), pp. 402-412.
5. **KRAUSE, P.C.**, 1986, “ Analysis of Electric Machinery “, McGraw-Hill Book Company, USA, pp.164-181, 415-447.
6. **KUMAR R SRECRAMA, R RAMAMUJAM AND JENKINS L KHINCHA H.P**, 1998, “Induction motor modelling and interfacing technique for fast transient stability simulation”, *IEEE Trans. Catalogue No. 98EX137*, pp. 548-550.
7. **SEN P.C.**, 1989, “ Principles of Electric Machines and Power Electronics ”, John Wiley & Son, Singapore.