

Perbaikan Faktor Daya Motor Induksi 3 fase menggunakan Mikrokontroler 68HC11

Bambang Sutopo ^{*)}, F. Danang Wijaya ^{*)}, Supari ^{**)}

^{*)} Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik, UGM, Yogyakarta

^{**)} Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Semarang

Abstrak

Faktor daya motor induksi yang rendah selalu tidak dikehendaki di industri. Tetapi dalam aplikasi industri kondisi faktor daya rendah tak dapat dihindari, terutama bila disebabkan beban motor yang tidak tetap dan sebagian waktunya berbeban nol. Motor induksi dengan beban penuh dapat memberikan faktor daya tinggi seperti tercantum dalam papan namanya (name plate) sekitar 0,8 sampai dengan 0,9. Namun bila motor berbeban kecil maka faktor daya akan turun, dan bahkan bila tanpa beban, faktor daya motor bisa mencapai 0,3. Kondisi ini dapat diatasi bisa dilakukan pengaturan tegangan motor yang selalu dapat disesuaikan dengan besarnya beban setiap saat. Penelitian ini mengatur tegangan masukan motor dengan cara mengatur sudut penyalan thyristor yang dipasang seri dengan kumparan motor. Dengan bantuan mikrokontroler dapat dideteksi besarnya faktor daya setiap saat dan sudut tak hantar selalu diatur agar faktor daya sebaik mungkin tanpa motor berada dalam kondisi tak stabil. Hasil penelitian di laboratorium menunjukkan bahwa perbaikan faktor daya dapat dinaikkan sampai 0,9 dengan menurunkan besarnya tegangan masukan. Pengaturan menggunakan mikrokontroler dapat memperbaiki faktor daya 0,3 saat kondisi tanpa beban menjadi 0,7. Perbaikan faktor hanya efektif pada beban kurang dari 40% dari beban normal.

Kata Kunci : *factor daya, motor induksi mikrokontroler, thyristor*

1. Pendahuluan

Motor induksi merupakan penggerak utama pada sebagian besar industri. Sebagian besar motor induksi adalah motor kecil (dibawah 50 HP), biasanya berupa motor induksi yang efisiensinya tidak tinggi sehingga banyak kerugian pada rangkaian magnetisasi, saat berbeban ringan. Motor jenis ini unjuk kerjanya (termasuk faktor daya) banyak berkurang bila beban berkurang [4].

Faktor daya rendah pada motor induksi disebabkan oleh beberapa hal sebagai berikut :

1. Belitan motor sendiri yang bersifat induktif.
2. Dalam perancangan hampir tidak mungkin menggunakan motor yang sesuai dengan beban yang digerakkan, pasti dipilih daya motor yang lebih besar, sehingga saat berjalan motor berbeban ringan, maka akibatnya motor faktor daya motor mengecil.
3. Dalam industri bila terjadi kegagalan motor, maka selalu diganti motor yang pasti lebih besar dayanya bila tak ditemukan motor dengan yang sama, sehingga akibatnya akan lebih menurunkan faktor daya sistem listrik.
4. Karakteristik beban yang tidak konstan besarnya sehingga mengakibatkan beban selalu berubah-ubah dari beban ringan ke beban berat. Misalnya pada motor penggerak lift, eskalator, konveiyor, pompa, fan dan sebagainya.

Untuk mengatasi rendahnya faktor daya, yang biasa dilakukan adalah dengan memasang motor sinkron atau bank kapasitor. Cara penambahan kapasitor dalam prakteknya banyak kesulitan karena kemungkinan terjadinya tegangan lebih, juga tidak mungkin untuk mengatasi beban yang berubah dengan cepat, karena selain memerlukan sifat pengendali yang canggih juga sifat kapasitor sendiri yang lambat tanggapannya.

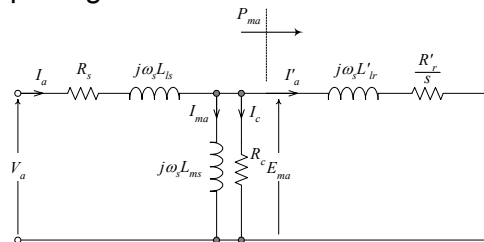
Dengan kemajuan dibidang elektronika daya dan mikrokontroler maka motor induksi dapat diatur besarnya faktor daya motor. Cara yang biasa dilakukan adalah dengan mengatur besarnya tegangan yang masuk ke motor, dengan pengaturan

sudut penyalan thyristor, sehingga motor dapat mendapat tegangan sesuai dengan kebutuhan beban. Studi teoritis dengan rangkaian ekivalen, menunjukkan bahwa perbaikan faktor daya dapat mencapai sampai dengan 0,92 untuk semua beban dengan mengatur tegangan masukan motor, dan menyesuaikan slip untuk mencapai torsi yang diinginkan.

Dalam studi empiris di laboratorium, pengaturan tegangan masuk dapat dilakukan dengan mengatur sudut penyalan (*trigger*) thyristor yang dipasang seri dengan kumparan stator motor dan dengan bantuan mikrokontroler 68HC11. Hasil yang didapat bahwa perbaikan faktor daya saat beban nol dapat mencapai 0,7.

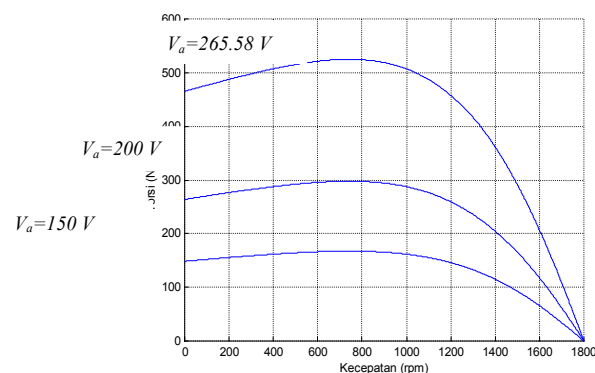
2. Dasar Teori

Motor induksi 3 phase dapat dianalisis dengan menggunakan rangkaian ekivalen satu fase sebagai terlihat pada gambar 1.



Gambar 1. Rangkaian ekivalen satu fase motor induksi tiga fase

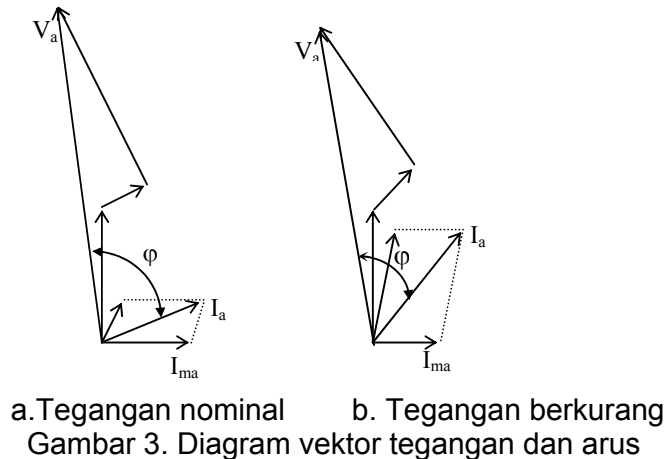
Faktor kerja dapat dihitung dengan menggunakan menghitung vektor impedansi masukan, namun cara ini tidak dapat memberi gambaran langsung hubungan antara penurunan tegangan masukan dengan kenaikan faktor daya [2]. Untuk analisis ini diperlukan besaran torsi dan kecepatan putar motor yang dapat diwakili dengan besaran slip atau s .



Gambar 2. Hubungan torsi dan kecepatan putar rotor untuk berbagai tegangan terminal motor

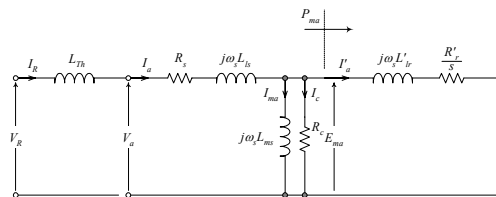
Pada gambar 2 diperlihatkan bila tegangan terminal motor dikurangi maka torsi maksimum motor akan berkurang. Agar torsi yang dihasilkan tetap besarnya maka kecepatan akan berkurang. Dengan tegangan tertentu torsi maksimum motor lebih kecil dibanding torsi beban, pada kondisi ini motor akan berada pada daerah kerja tidak stabil dan dengan cepat motor akan berhenti (*stalling*) sehingga arusnya sangat besar.

Pada keadaan yang nyata bila motor bebannya dipertahankan tetap, dan tegangan terminalnya dikurangi maka putaran akan berkurang, sehingga ekivalen hambatan rotor bertambah. Pengurangan tegangan ini akan menyebabkan berkurangnya arus rotor dan juga tegangan E_{ma} sehingga mengurangi arus magnetisasi. Keadaan ini dapat diterangkan dengan diagram vektor sebagai gambar 2.



Terlihat pada gambar 3 bahwa sudut ϕ bernilai kecil pada kondisi tegangan berkurang yang berarti $\cos \phi$ (faktor daya) bernilai besar.

Motor yang dikendalikan thyristor dapat dimodelkan dengan menambahkan reaktansi seri, X_{Th} , pada setiap fase motor [1]. Model tersebut seperti ditunjukkan oleh gambar 4.



Gambar.4 Motor induksi terkendali thyristor.

Besarnya X_{Th} , didefinisikan :

$$X_{Th} = \omega L_{Th} = \frac{\omega L f(\gamma)}{(1 - f(\gamma))} \text{ Ohm}$$

besaran,

$$f(\gamma) = (3/2\pi)(\gamma + \sin \gamma)$$

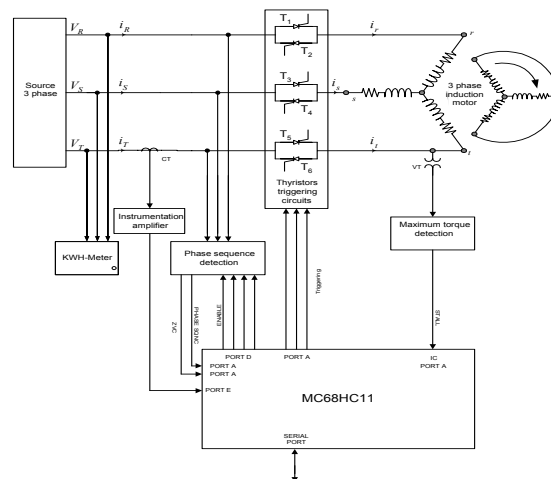
$$L = L_{ls} + L'_{lr}$$

3 Metodologi Penelitian

Untuk mempelajari sifat faktor daya motor induksi dilakukan tiga tahap. Tahap pertama adalah mempelajari secara simulasi dengan pemrograman Matlab pada rangkaian ekivalen satu fase motor induksi. Hasil simulasi ini ditunjukkan pada tabel 1, untuk model tanpa thyristor, dan tabel 2 untuk model dengan thyristor.

Tahap kedua dilakukan uji laboratorium terhadap motor induksi dengan menurunkan tegangan masukannya. Hasil tahap dua ini diperlihatkan pada tabel 4.

Tahap ketiga adalah menggunakan sistem kendali mikrokontroler [3], seperti diperlihatkan pada gambar 5. Mikrokontroler digunakan untuk mengatur penyalan thyristor sehingga motor dapat bekerja selalu pada faktor daya optimal untuk beban yang berubah-ubah. Untuk menjaga agar selama operasi arus tidak melebihi arus yang diijinkan maka besarnya arus dideteksi dengan trafo arus dan besarnya dihitung oleh mikrokontroler lewat ADC dalam mikrokontroler 68HC11.



Gambar 5. Sistem kendali motor berbasis Mikrokontroler

Sistem ini juga dilengkapi untuk mendeteksi torsi maksimum melalui deteksi salah tegangan fase. Besaran torsi maksimum ini sangat diperlukan pada saat motor sedang mulai berputar pertama kali dan dapat juga digunakan sebagai parameter agar motor tidak berada pada kondisi *stalling*.

4. Hasil dan pembahasan

Untuk simulasi digunakan parameter motor sbb :

$$\begin{aligned} 10 \text{ hp} / 220 \text{ V} / 60 \text{ Hz} / 4 \text{ kutub} \\ R_s = 0,294 \text{ Ohm}, \quad R'_r = 0,144 \text{ Ohm}, \\ L_{ls} = 0,503 \text{ mH}, \quad L'_{lr} = 0,209 \text{ mH}, \\ L_{ms} = 13,25 \text{ mH} \quad R_c = \infty \end{aligned}$$

Tabel 1 diperoleh dengan cara mengurangi tegangan motor dan mengatur slip motor agar motor selalu menghasilkan beban sesuai dengan yang diinginkan pada kolom pertama. Iterasi program akan berhenti setelah arus motor mendekati arus nominalnya atau faktor daya maksimum tercapai.

Tabel 1. Kenaikan faktor daya untuk berbagai beban

Beban	Faktor daya sebelum penurunan tegangan	Faktor daya setelah penurunan tegangan	Tegangan Akhir (Volt)
0,1	0,26	0,92	56
0,2	0,45	0,92	79
0,3	0,59	0,92	96
0,4	0,59	0,92	111
0,5	0,76	0,92	124
0,6	0,81	0,92	137
0,7	0,84	0,92	164
0,8	0,87	0,90	183

Hasil simulasi untuk motor yang dikendalikan thyristor diperlihatkan pada tabel 2. Perubahan tegangan diwakili dengan besarnya sudut tak hantar thyristor γ . Digunakan motor yang sama dengan tabel 1.

Tabel 2. Kenaikan faktor daya untuk berbagai beban, dengan penurunan sudut γ

Beban (thd nominal)	Faktor daya Sebelum penurunan tegangan	Faktor daya setelah penurunan tegangan	Sudut γ (derajat)
0,1	0,26	0,92	62
0,2	0,45	0,92	60
0,3	0,59	0,92	57
0,4	0,59	0,92	55
0,5	0,76	0,92	53
0,6	0,81	0,92	51
0,7	0,84	0,92	47
0,8	0,87	0,90	45

Hasil tabel 1 dan 2 terlihat sangat baik artinya faktor daya dapat ditingkatkan secara optimal. Hal ini disebabkan karena semua parameter motor dianggap mempunyai nilai yang konstan. Pada kenyataannya parameter motor ini tidak konstan tetapi fungsi dari tegangan. Rangkaian magnetisasi sangat berpengaruh pada unjuk kerja motor pada saat motor sangat berkurang tegangannya.

Perubahan arus karena aksi penurunan tegangan ini dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Perubahan arus motor

Beban (thd nominal)	Arus saat tegangan normal (A)	Arus motor setelah penurunan tegangan (A)
0,1	9,49	10,28
0,2	10,27	14,46
0,3	11,45	17,68
0,4	12,95	20,44
0,5	14,59	22,84
0,6	16,54	25,64

Terlihat dalam tabel 3 bahwa penurunan tegangan mengakibatkan arus yang meningkat. Pada beban lebih besar dari 0,6 x torsi nominalnya, arus sudah melebihi arus nominalnya. Secara teoritis perbaikan faktor daya hanya akan efektif kalau pada motor yang bebannya kurang dari 0,6 x beban nominalnya.

Untuk percobaan di lab digunakan motor tiga fase, terhubung Y, 380/220, 1,5 Hp, 4 kutub, 1420 rpm dan hasilnya diperlihatkan pada tabel 4 dibawah ini.

Tabel 4. Kenaikan faktor daya untuk berbagai beban

Beban (%)	Faktor daya Sebelum penurunan tegangan	Faktor daya setelah penurunan tegangan	Tegangan motor akhir (V)
0	0,67	0,99	60
5	0,71	0,99	60
10	0,75	0,99	60
20	0,80	0,99	60
30	0,85	0,99	60
40	0,90	0,99	100
50	0,75	0,99	140

Akibat dari penurunan tegangan menyebabkan perubahan kecepatan motor, hal ini dapat dilihat pada tabel 5.

Beban (%)	Kecepatan Sebelum penurunan tegangan (rpm)	Kecepatan setelah penurunan tegangan (rpm)
0	1500	1500
5	1500	1260
10	1500	1250
20	1490	1180
30	1480	1160
40	1470	1250

Terlihat dalam tabel 4 bahwa faktor daya bisa diperbaiki dengan penurunan tegangan dan menghasilkan faktor daya yang sangat baik. Pada tabel 5 terlihat ada penurunan kecepatan putar motor dari kondisi normalnya (1420 rpm). Untuk beban yang lebih dari 40% ternyata faktor daya motor sudah baik yaitu 0,8, sehingga tak perlu perbaikan.

Pada percobaan dengan menggunakan mikrokontroler didapatkan bahwa faktor daya motor pada kondisi tanpa beban dapat diperbaiki dari 0,3 menjadi 0,7. Keterbatasan faktor daya pada aplikasi nyata ini disebabkan karena adanya thyristor, yang secara teoritis berupa induktans, sehingga memperburuk factor daya. Putaran motor pada motor dengan kendali thyristor ternyata tidak sehalus dengan masukan tegangan sinus dari PLN.

5. Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa perbaikan faktor daya dapat dilakukan dengan mengurangi tegangan masukan motor pada saat motor berbeban ringan. Perbaikan faktor daya tidak akan efektif bila beban motor lebih besar dari 0,4 beban normal. Agar dapat bekerja secara on line maka perubahan tegangan dapat dilakukan dengan menggunakan mikrokontroler dan pemasangan thyristor pada terminal motor. Dengan mikrokontroler perbaikan faktor daya bisa mencapai 0,7 saat beban nol. Satu kelemahan sistem ini adalah motor mendapat tegangan sumber yang tidak sinus lagi, sehingga ada kemungkinan timbul banyak frekuensi harmonis. Mungkin pengendalian motor dengan inverter akan lebih baik karena bentuk tegangan yang dihasilkan bisa mendekati sinus.

5. Daftar pustaka

- [1] Khater, F.M.H., Novotny, D.W., 1986, An Equivalent Circuit Model for Phase Back Voltage Control of AC Machines, III Transaction on Industry Application Vol. IA-22 No. 5, September/October 1986.
- [2] Riyadi, S., 2000, Simulasi perbaikan factor daya motor induksi terkendali thyristor, Skripsi S1, TE-UGM, Yogyakarta
- [3] Supari, 2001, Kendali Tegangan Motor Induksi untuk Penghematan Energi Berbasis Mikrokontroler, Tesis S2, TE-UGM, Yogyakarta
- [4] Sutopo,B, 1991, "Energy Saving Algorithm on Thyristor Controlled Induction Motor", M.Phil thesis, University of Sussex, Brighton