

EFEK PENGGUNAAN SCR MOTOR CONTROLLER UNTUK PENINGKATAN EFISIENSI PADA MOTOR INDUKSI TIGA FASA

Yuli Asmi Rahman* dan Deny Wiria Nugraha *

Abstract

AC Induction motors are sized for maximum load and are operated at a constant full speed, because they are supplied with power from AC lined at a fixed-sinusoidal voltage and fixed frequency. However, load of motor does not always same at many conditions but the input voltage and power of motor is fixed. Of course, it will influence the efficiency of the motor. One method to improve efficiency of the motor is varying the voltage as loaded its and called Motor Controlled. Motor Controlled is AC Drive that using SCR (Silicon Controlled Rectifier) as the output voltage controller by controlling the firing angle. By employing SCR Motor Controller that adjust the voltage of the motor offers advantageous to improve efficiency of motor and potential for significant energy savings.

Keyword: Motor Controller and Efficiency of Motor

1. Pendahuluan

Motor listrik merupakan salah satu peralatan yang sangat penting dalam dunia industri yang digunakan sebagai penggerak atau sumber energi meknik. Motor induksi menjadi salah satu jenis motor yang paling banyak digunakan dibandingkan jenis motor listrik lainnya karena keandalan motor induksi berupa konstruksi yang lebih kokoh, harganya tidak begitu mahal dan tidak membutuhkan banyak perawatan.

Namun dari kelebihan tersebut terdapat kekurangan pada pengaplikasian motor induksi tiga fasa yaitu ketidakmampuan motor untuk mencocokkan torsi motor dengan torsi beban selama pengasutan dan saat motor beroperasi. Hal lainnya yaitu adanya rugi-rugi tembaga stator dan rotor, rugi-rugi inti stator dan rotor, rugi angin dan rugi gesekan, dimana hal tersebut akan mempengaruhi besarnya efisiensi motor.

Untuk mengatasi hal tersebut di atas, digunakan SCR (*Silicon Controlled Rectifier*) sebagai salah satu alternatif *Motor Controller* untuk peningkatan efisiensi motor induksi tiga fasa.

2. Tinjauan Pustaka

2. 1. Motor induksi tiga fasa

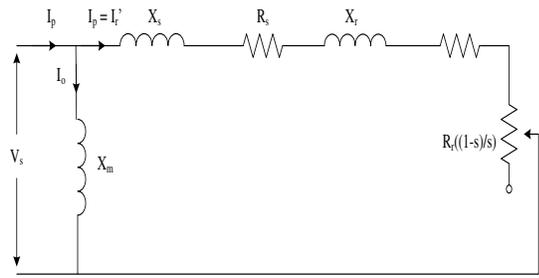
Motor induksi tiga fasa, sesuai dengan namanya, bekerja berdasarkan induksi tegangan dari stator ke rotornya. Arus rotornya berasal dari induksi dari stator

karena adanya perbedaan kecepatan relatif antara fluks medan putar yang dihasilkan oleh arus di stator dengan putaran rotornya. Jenis motor induksi tiga fasa dibagi dua menurut jenis rotornya, yaitu motor rotor sangkar (*Squirrel Cage Induction Motor*) dan motor rotor belitan (*Wound Rotor Induction Motor*). Keduanya memiliki konstruksi stator yang sama tapi berbeda konstruksi rotornya. Rotor dari motor induksi rotor sangkar adalah konstruksi dari inti berlapis dengan konduktor dipasangkan paralel dengan poros mengelilingi rangkaian inti. Konduktor rotor semuanya dihubungsingkatkan dengan cincin ujung serupa dengan sangkar tupai yang berputar. Motor induksi rotor belitan memiliki belitan 3 fasa dan terbagi secara seragam pada slot dan biasanya ujungnya dihubung Y. Terminalnya dihubungkan dengan 3 buah cincin slip yang berputar bersama rotor. Dengan menggunakan cincin slip yang berputar dan dihubung sngkat memungkinkan untuk menghubungkan belitan rotor dengan tahanan luar.

Secara umum kontruksi motor induksi tiga fasa sangat mirip dengan konstruksi trafo 3 fasa. Belitan di sisi primer trafo merupakan bagian stator motor dan belitan sisi sekunder trafo adalah rotor dari motor.

Untuk memudahkan perhitungan maka rangkaian sederhana motor induksi tiga fasa dapat digambarkan dalam pendekatan rangkaian ekuivalen pada Gambar 1.

* Staf Pengajar D3 Teknik Listrik Fakultas Teknik Universitas Tadulako, Palu



Gambar 1. Pendekatan Rangkaian Ekivalen Motor Induksi Tiga Fasa

Berdasarkan Gambar 1, formula-formula yang digunakan adalah:

- Rugi tembaga motor:

$$P_{ru} = I_r'^2 R_r \dots\dots\dots(1)$$
- Rugi tembaga stator

$$P_{su} = I_s^2 R_s \dots\dots\dots(2)$$
- Rugi besi

$$P_c = V_m^2 / R_m \dots\dots\dots(3)$$
- Daya mekanik motor

$$P_m = P_r(1-s) \dots\dots\dots(4)$$
- Daya output stator

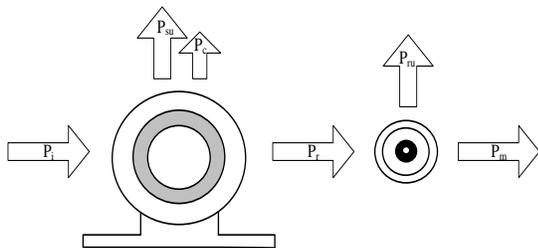
$$P_r = P_{ru} + P_m = V_s I_r' \cos\phi_2 \dots\dots\dots(5)$$
- Daya input

$$P_i = P_r + P_{su} = V_s I_s \cos\phi_s \dots\dots\dots(6)$$
- Daya output

$$P_o = P_m - P_{mpbeban} \dots\dots\dots(7)$$
- Efisiensi motor

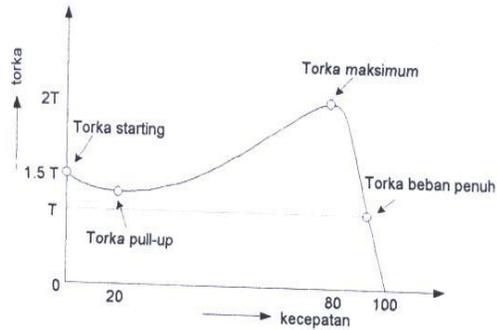
$$\eta = (P/P_i) \times 100\% \dots\dots\dots(8)$$

Untuk lebih jelasnya, aliran daya motor induksi diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Aliran Daya Aktif Motor Induksi Tiga Fasa

Torka yang dihasilkan motor induksi bergantung pada kecepatannya. Akan tetapi hubungan antara keduanya tidak dapat ditunjukkan dengan persamaan yang sederhana, sehingga hubungannya akan lebih jelas dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Karakteristik Torka-Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa

Motor yang pada kondisi beban penuh berputar pada kecepatan n . Penambahan beban mekanis menyebabkan kecepatan motor akan turun sampai torka motor sama dengan torka beban. Saat kedua torka seimbang, motor akan berputar pada putaran konstan tetapi dengan kecepatan yang lebih rendah, jika torsi beban telah mencapai $2,5T$ motor akan langsung berhenti.

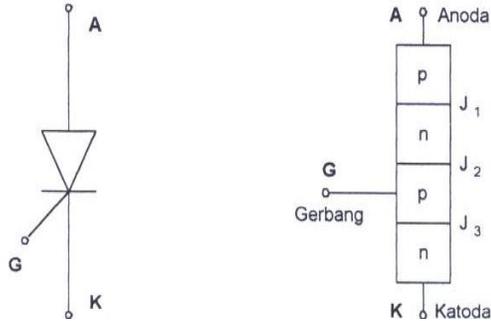
Motor berdaya kecil (kurang dari 10kW) menghasilkan torka maksimum pada kecepatan rotor 80% dari kecepatan sinkronnya, sedangkan untuk motor besar (1000 kW ke atas) mencapai torka maksimum pada kecepatan rotor 98% dari kecepatan sinkronnya.

2. 2. SCR (Silicon Controlled Rectifier)

SCR (*Silicon Controlled Rectifier*) merupakan salah satu jenis thyristor yang sering digunakan. Divais semikonduktor empat lapisan *pnpn* memiliki tiga pn-junction dengan tiga terminal masing-masing anode, katode dan gate.

Sama halnya dengan diode, apabila susunan lapisan *pnpn* SCR diberi tegangan positif pada terminal katodenya dan tegangan negatif pada anode maka SCR dikatakan dalam kondisi *reverse bias* (arah balik) dan mengalirkan arus balik (*reverse blocking*) yang sangat kecil hingga mencapai tegangan *breakdown*. Dalam kondisi anode dihubungkan dengan tegangan positif maka SCR mengalami *forward bias* (bias maju) dan mengalirkan arus bocor arah maju (*forward blocking current*). Apabila tegangan arah maju dihasilkan maka titik tegangan akan dicapai pada saat arus arah maju bertambah besar secara cepat (tegangan *breakover*). Tegangan ini tergantung besarnya arus gate yang digunakan. Makin

besar arus gate yang digunakan maka SCR semakin dapat menghantar.



Gambar 4. Simbol SCR

Pada kerja normal, SCR dioperasikan pada tegangan kerja yang lebih rendah daripada tegangan *breakdown* maksimum dan dengan sinyal gate yang cukup besar untuk menjamin *turn-on* (penyalan) yang sempurna.

2. 3. SCR Motor Controller

Aplikasi SCR (*Silicon Controlled Rectifier*) pada motor induksi dikenal sebagai *SCR Motor Controller*. Jenis *Controller* (penggerak) ini merupakan divais yang dirancang untuk meningkatkan efisiensi motor induksi tiga fasa rotor sangkar pada saat dibebani ringan.

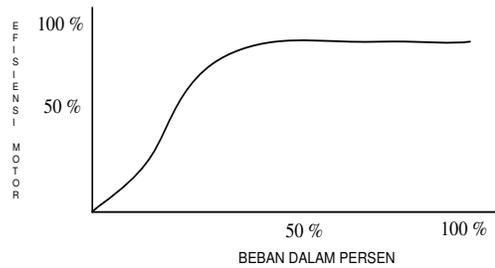
Pada saat motor induksi tiga fasa rotor sangkar diberikan beban nol, arus yang ditarik besar karena belitan stator harus menyuplai arus magnetisasi, berarti meskipun tanpa beban, motor tetap akan menarik arus yang besarnya signifikan dengan arus beban penuh. Daya yang ditarik tidak dikonversi dengan melakukan kerja tapi dikonversi menjadi panas, vibrasi dan *noise*.

SCR Motor Controller berperan pada saat motor tidak dapat divariasikan kecepatannya dengan beban yang berubah maka divais tersebut akan mengkondisikan perubahan beban tersebut dengan mengatur tegangan yang masuk ke terminal tegangan stator secara tepat.

Seperti diketahui, pada saat motor bekerja pada beban penuh atau 2/3 beban penuh, motor induksi terlihat lebih efisien, nilai efisiennya sekitar 80% - 92%. Saat motor bekerja pada beban dibawah 2/3 beban penuh, efisiensi motor akan turun drastis seperti terlihat pada gambar 5.

Motor Controller ini menggunakan SCR untuk mengontrol tegangan yang masuk ke terminal motor. Karakteristik pensaklaran SCR yang cepat

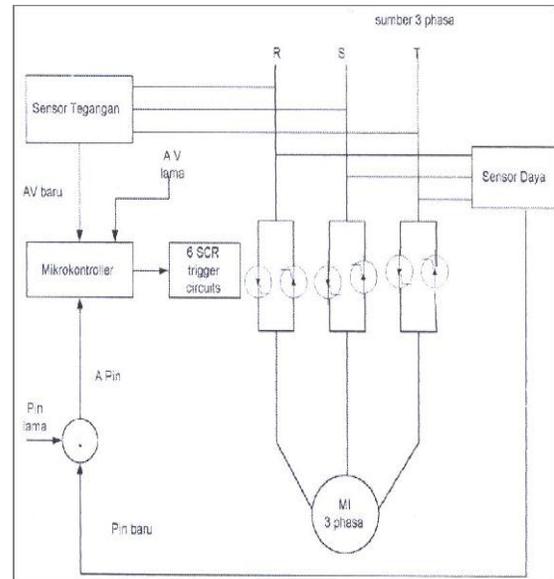
dari “OFF” ke “ON” memberikan kemungkinan untuk dapat mengontrol tegangan masukan motor.



Gambar 5. Karakteristik Beban terhadap Efisiensi

Dengan mengatur besarnya sudut pemucuan pada setiap setengah siklus masukan, memungkinkan untuk besarnya arus yang melalui SCR. Semakin besar sudut pemucuan maka semakin besar pula arus yang dihasilkan. Dengan menggunakan prinsip ini dan menghubungkan dua SCR yang anti paralel pada setiap fasa masukan motor, *SCR Motor Controller* dapat terus menerus mengatur tegangan terminal motor melalui sudut pemucuan SCR. Ini menghasilkan tegangan dan daya yang sesuai dengan beban yang dipikul oleh motor.

Bagan *SCR Motor Controller* dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6. Blok Diagram SCR Motor Controller

Fuzzy Controller digunakan untuk mengontrol tegangan ke motor (dengan mengatur sudut picu dari thyristor). *Fuzzy Controller* merupakan kontroler dengan menggunakan sistem daya loop tertutup, dimana *feedback* yang menjadi masukan dari kontroler adalah daya input ke motor (P_{in}) dan merupakan tegangan ke motor (ΔV baru).

Pada saat motor starting, *Fuzzy Controller* merupakan tegangan input ΔV baru, sehingga daya input ke motor berubah menjadi P_{in} baru. P_{in} baru dibandingkan dengan daya motor sebelumnya P_{in} lama. Sehingga didapatkan perubahan daya input ($\Delta P_{in} = P_{in}$ baru - P_{in} lama).

Cara kerja *Fuzzy Controller* mengacu pada aturan sebagai berikut :

- Mengkaji arah perubahan daya P_{in} motor, berdasarkan perubahan besarnya tegangan input (ΔV baru ke motor, untuk mendapatkan P_{in} yang minimum.
- Mengetahui kapan daya input P_{in} sudah minimum, sehingga perubahan tegangan input ΔV baru tidak berpengaruh lagi terhadap daya input P_{in} .
- Mengontrol besarnya variasi perubahan tegangan input (ΔV baru, sehingga didapatkan tingkat pencapaian “daya input P_{in} minimum” yang optimum.
- Mengatur batas tingkat perubahan tegangan input (ΔV baru, sehingga tidak terjadi kekurangan torsi atau kelebihan pada motor (biasanya perubahan tegangan (ΔV baru dibatasi -5% dan $+5\%$ dari nilai V_{in} sebelumnya).

ΔP_{in} , ΔV baru dan ΔV lama dalam logika fuzzy mempunyai tiga nilai dasar yaitu: P jika nilainya naik, N jika nilainya turun, dan Z jika nilainya tidak berubah. Pengaturan pada *Fuzzy Controller* harus mengikuti lima aturan sebagai berikut:

- Jika $\Delta P_{in} = N$ dan ΔV lama = N, maka ΔV baru = N

- Jika $\Delta P_{in} = N$ dan ΔV lama = P, maka ΔV baru = P
- Jika $\Delta P_{in} = P$ dan ΔV lama = N, maka ΔV baru = P
- Jika $\Delta P_{in} = P$ dan ΔV lama = P, maka ΔV baru = N
- Jika $\Delta P_{in} = Z$ dan ΔV lama = P, N, atau Z maka ΔV baru = Z

Aturan ke 5 dibutuhkan untuk mendapatkan daya input P_{in} yang optimum yaitu saat perubahan tegangan input ΔV baru tidak menghasilkan perubahan yang signifikan dari daya input ($\Delta P_{in} = Z$).

3. Metode

Berdasarkan teori sebelumnya maka dilakukan percobaan pada motor induksi jenis rotor sangkar dengan data-data sebagai berikut:

- Tegangan rating Δ/Y = 220/380 V
- Daya rating = 2,2 kW
- Kecepatan rating = 1410 rpm
- Kecepatan nominal = 1500 rpm
- Frekuensi rating = 50 Hz
- Jumlah kutub = 4
- Arus nominal stator = 10,7 / 6,2 A
- Faktor daya = 0,67

Selanjutnya motor ini akan dioperasikan dengan beban yang diubah-ubah dalam dua perlakuan. Perlakuan pertama motor tidak menggunakan SCR Motor Controller dan perlakuan kedua yaitu motor dengan menggunakan SCR Motor Controller. Selanjutnya dicatat data-data baik pada sisi motor dan sisi generator DC sebagai beban.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Hasil percobaan

Hasil percobaan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Data Percobaan Tanpa Menggunakan SCR Motor Controller

No.	Berat (kg)	Sisi Motor Induksi Tiga Fasa				Sisi Generator DC (beban)	
		V_{in} (Volt)	I_{in} (A)	PF Cos θ	Kecepatan rpm)	V (Volt)	Arus (A)
1	0,20	350	3,50	0,63	1480	91,60	1,35
2	0,22	350	3,60	0,63	1480	91,20	1,40
3	0,25	350	3,65	0,63	1475	89,10	1,70
4	0,28	350	3,70	0,63	1470	88,90	2,00
5	0,31	350	3,70	0,63	1467	87,20	2,20
6	0,34	350	3,75	0,63	1466	85,90	2,50
7	0,37	350	3,80	0,63	1466	85,70	2,80
8	0,40	350	3,80	0,63	1465	81,90	3,00
9	0,43	350	3,80	0,63	1464	81,80	3,30
10	0,46	350	3,85	0,63	1464	80,50	3,30

Tabel 2. Data Percobaan Dengan menggunakan SCR Motor Controller

No.	Sisi Motor Induksi Tiga Fasa						Sisi Generator DC (beban)	
	Berat (kg)	V _{in} (Volt)	V _{out} (Volt)	Arus (A)	PF cos θ	Kecepatan (rpm)	V (Volt)	Arus (A)
1	0,20	350	324	3,15	0,62	1481	86,90	1,40
2	0,22	350	322	3,15	0,62	1481	86,70	1,55
3	0,25	350	322	3,15	0,62	1480	85,40	1,80
4	0,28	350	320	3,15	0,62	1475	85,00	2,00
5	0,31	350	318	3,15	0,62	1473	84,00	2,30
6	0,34	350	317	3,20	0,62	1470	83,60	2,50
7	0,37	350	317	3,22	0,62	1468	80,80	2,60
8	0,40	350	319	3,22	0,62	1464	79,60	3,00
9	0,43	350	319	3,25	0,62	1452	78,10	3,40
10	0,46	350	318	3,25	0,62	1452	76,80	3,60

Tabel 3. Hasil Perhitungan untuk Data yang lebih lengkap dengan Torka yang bervariasi tanpa menggunakan SCR Motor Controller

No	T _d (Nm)	V _{in} (V)	I _{in} (A)	PF cosφ	n (rpm)	P _{in} (W)	P _{out} (W)	η (%)	S (VA)	Q (VAR)
1	1,3	350	3,50	0,63	1480	1335,13	201,47	15,09	2119,25	1645,80
2	1,4	350	3,60	0,63	1480	1373,27	216,96	15,80	2179,80	1692,82
3	1,6	350	3,65	0,63	1475	1392,35	247,12	17,75	2110,08	1716,33
4	1,8	350	3,70	0,63	1470	1411,42	277,07	19,63	2240,35	1739,85
5	2,0	350	3,70	0,63	1467	1411,42	307,23	21,77	2240,335	1739,85
6	2,2	350	3,75	0,63	1466	1430,49	337,72	23,61	2270,63	1763,36
7	2,4	350	3,80	0,63	1466	1449,57	368,42	25,42	2300,90	1786,87
8	2,6	350	3,80	0,63	1465	1449,57	398,85	27,51	2300,90	1786,87
9	2,7	350	3,80	0,63	1464	1449,57	413,91	28,55	2300,90	1786,87
10	2,9	350	3,85	0,63	1464	1468,64	444,57	30,27	2331,81	1810,38

Tabel 4. Hasil Perhitungan untuk Data yang lebih lengkap dengan Torka yang bervariasi dengan menggunakan SCR Motor Controller

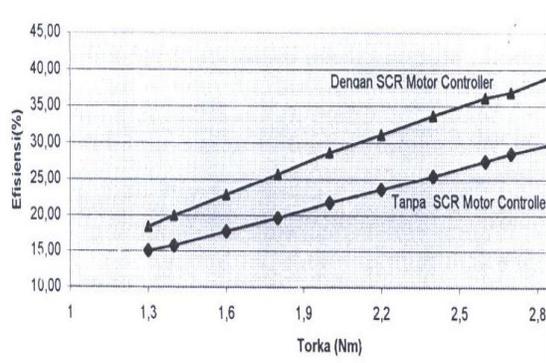
No	T _d (Nm)	V _{in} (V)	I _{in} (A)	PF cosφ	n (rpm)	P _{in} (W)	P _{out} (W)	η (%)	S (VA)	Q (VAR)
1	1,3	324	3,15	0,62	1481	1094,70	201,60	18,42	1765,64	1385,32
2	1,4	322	3,15	0,62	1481	1087,94	217,11	19,96	1754,74	1376,77
3	1,6	321	3,15	0,62	1480	1084,56	247,96	22,86	1749,29	1372,50
4	1,8	320	3,15	0,62	1475	1081,18	278,01	25,71	1743,84	1368,22
5	2,0	318	3,15	0,62	1473	1074,42	308,48	28,71	1732,94	1359,67
6	2,2	317	3,20	0,62	1470	1088,05	338,64	31,12	1754,91	1376,90
7	2,4	317	3,22	0,62	1468	1094,85	368,92	33,70	1765,88	1385,51
8	2,6	319	3,22	0,62	1464	1101,75	398,58	36,18	1777,02	1394,26
9	2,7	319	3,25	0,62	1452	1112,02	410,11	36,92	1793,58	1407,24
10	2,9	318	3,25	0,62	1452	1108,53	440,92	39,78	1787,96	1402,83

4. 2. Hasil analisis

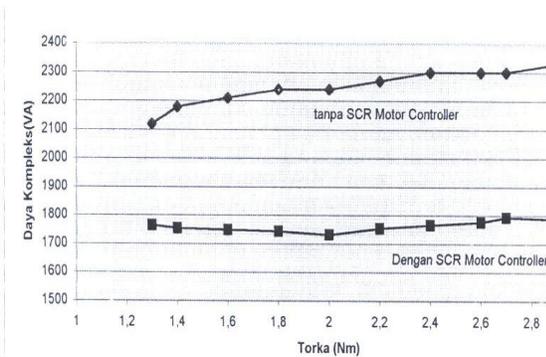
Hasil analisis data ditabelkan pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Kemudian hasil analisis/perhitungan pada tabel 3 dan Tabel 4 digambarkan grafiknya untuk melihat perbandingan secara jelas Efisiensi tanpa SCR Motor Controller dengan yang menggunakan

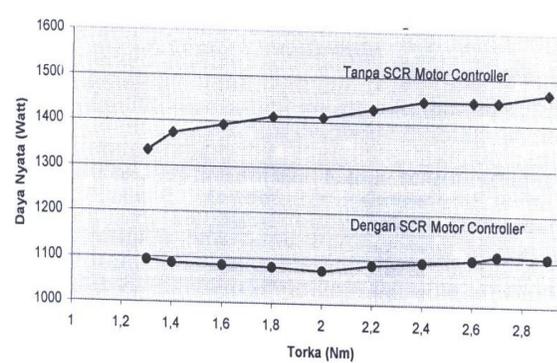
SCR Motor Controller. Grafik-grafik tersebut dapat dilihat pada Gambar 7, Gambar 8, Gambar 9 dan Gambar 10.



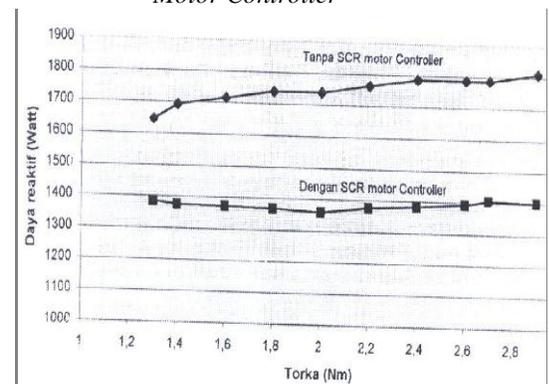
Gambar 7. Grafik Perbandingan Efisiensi tanpa SCR Motor Controller dengan yang menggunakan SCR Motor Controller



Gambar 8. Grafik Daya Kompleks tanpa menggunakan SCR Motor Controller dengan menggunakan SCR Motor Controller



Gambar 9. Grafik perbandingan daya Nyata menggunakan SCR Motor Controller dengan yang menggunakan SCR Motor Controller

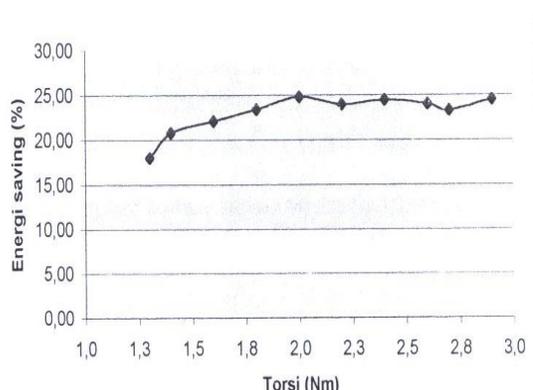


Gambar 10. Grafik Perbandingan Daya Reaktif tanpa menggunakan SCR Motor Controller dengan yang menggunakan SCR Motor Controller

Selanjutnya penghematan energi menggunakan SCR Motor Controller dengan yang menggunakan SCR Motor Controller dapat dilihat pada Tabel 5 dan Gambar 11.

Tabel 5. Hasil Perhitungan Penghematan Energi

No.	Torsi (Nm)	P_{in} tanpa SCR Motor Controller	P_{in} dengan SCR Motor Controller	Energi Saving (%)
1	1,3	1335,13	1094,70	18,01
2	1,4	1373,27	1087,94	20,78
3	1,6	1392,35	1084,56	22,11
4	1,8	1411,42	1081,18	23,40
5	2,0	1411,42	1074,42	31,37
6	2,2	1430,49	1088,05	23,94
7	2,4	1449,57	1094,85	24,47
8	2,6	1449,57	1101,76	23,99
9	2,7	1449,57	1112,02	23,29
10	2,9	1468,64	1108,53	24,52



Gambar 11. Grafik Penghematan energi (*energi savings*) jika menggunakan SCR Motor Controller

4. 3. Pembahasan

Pada Tabel 3 untuk torka 1,3 Nm saat motor dihubungkan langsung dengan sumber tiga fasa tanpa melalui SCR Motor Controller diperoleh daya input sebesar 1335,13 Watt dan daya output sebesar 201,47 Watt sehingga efisiensi yang didapatkan sebesar 15,09%. Untuk torka 1,4 Nm diperoleh daya input 1373,27 Watt dan daya output 216,96 Watt dengan efisiensi 15,80%. Untuk torka 2,4 Nm diperoleh daya input 2449,57 Watt dan daya output 368,42 Watt dengan efisiensi 25,42%.

Pada Tabel 4 untuk torka 1,3 Nm saat motor controller dihubungkan dengan motor diperoleh daya input sebesar 1094,70 Watt dan daya output sebesar 201,60 Watt sehingga diperoleh efisiensi sebesar 18,42%. Untuk torka 1,4 Nm diperoleh daya input sebesar 1087,94 Watt dan daya output sebesar 217,11 Watt sehingga diperoleh efisiensi sebesar 19,96%. Untuk torka 2,4 Nm diperoleh daya input sebesar 1094,85 Watt dan daya output sebesar 368,92 Watt sehingga diperoleh efisiensi sebesar 33,70%.

Dari analisa tersebut di atas, diperoleh efisiensi yang berbeda untuk torka yang sama. Efisiensi saat menggunakan SCR Motor Controller lebih besar dibandingkan dengan tanpa menggunakan SCR Motor Controller, dimana kenaikan untuk torka 1,3 Nm adalah 3,33%, untuk torka 1,4 Nm adalah 4,16% dan untuk torka 2,4 Nm adalah 8,28%.

Pada Tabel 3 terlihat juga bahwa pada torka 1,3 Nm diperoleh daya aktif sebesar 1335,13 Watt, daya reaktif 1645,80 Var dan daya kompleks sebesar 2119,25 VA. Untuk torka 1,4 Nm diperoleh daya aktif sebesar 1373,27 Watt, daya reaktif 1692,82 Var dan daya kompleks sebesar 2179,80 VA. Untuk torka 2,4 Nm diperoleh daya aktif sebesar 1449,57 Watt, daya reaktif 1786,87 Var dan daya kompleks sebesar 2300,90 VA.

Pada Tabel 4 terlihat juga bahwa pada torka 1,3 Nm diperoleh daya aktif sebesar 1094,70 Watt, daya reaktif 1385,32 Var dan daya kompleks sebesar 1765,64 VA. Untuk torka 1,4 Nm diperoleh daya aktif sebesar 1087,94 Watt, daya reaktif 1376,77 Var dan daya kompleks sebesar 1754,74 VA. Untuk torka 2,4 Nm diperoleh daya aktif sebesar 1094, Watt, daya reaktif 1385,5180 Var dan daya kompleks sebesar 1765,88 VA.

Dari perbandingan daya aktif, daya reaktif dan daya kompleks terhadap torka dari Tabel 3 dan Tabel 4, diperoleh perbedaan yang cukup besar. Pada Tabel 4 dimana motor tidak menggunakan SCR Motor Controller memiliki daya aktif, daya reaktif dan daya kompleks yang lebih besar dibandingkan dengan yang menggunakan SCR Motor Controller. Ini terlihat pada Gambar 8, Gambar 9, Gambar 10. Hal ini membuktikan bahwa dengan menggunakan SCR Motor Controller dapat membantu penghematan daya listrik kurang lebih 23,59%.

5. Kesimpulan

1. SCR Motor Controller merupakan divais yang digunakan untuk meningkatkan efisiensi motor induksi tiga fasa pada saat dibebani kurang dari 50% beban penuh dengan cara mengatur sudut pemicuan SCR (*Silicon Controlled Rectifier*).
2. Efisiensi motor induksi tiga fasa dengan menggunakan SCR Motor Controller lebih besar dibandingkan dengan tanpa menggunakan SCR Motor Controller pada torka yang sama.
3. SCR Motor Controller menurunkan daya aktif, daya reaktif dan daya kompleks sehingga membantu dalam penghematan energi listrik terutama pada beban ringan.

6. Daftar Pustaka

- Andreas, John C., 1992, *Energy Efficient Electric Motors*, Marcel Dekker, Ic, NewYork.
- Dubey, Gopal K., 1989, *Power Semiconductor Controlled Drives*, Prentice Hall International Inc, New Jersey.
- Lister, Eugene C., 1993, *Mesin dan Rangkaian Listrik*, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Rashid, Muhammad Harunur, 1998, *Power Electronics*, Prentice Hall International Inc., New Jersey.
- Rua Cobnde de legas, 2001, *Three Phase Intelligent Motor Controllers*, Somar, Rio de Janeiro.
- Sumanto, 1993, *Motor Listrik Arus Bolak-Balik*, Andi Offset, Yogyakarta.
- Wildy, Theodere, 1981, *Electrical Power Tecnology*, Speriika Enterprices Ltd, Canada.