

**ANALISIS PERBANDINGAN EFISIENSI DAN FAKTOR DAYA
MOTOR KAPASITOR START DENGAN MOTOR KAPASITOR RUN DENGAN
TEORI MEDAN PUTAR SILANG DAN TEORI MEDAN PUTAR GANDA
(Aplikasi pada Pusat Pengembangan Pemberdayaan Pendidik dan Tenaga
Kependidikan (P4TK))**

Ahmad Muhajir Hasibuan, Surya Tarmizi Kasim
Konsentrasi Teknik Energi Listrik, Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara (USU)
Jl. Almamater, Kampus USU Medan 20155 INDONESIA
e-mail: muhazier.ahmad@yahoo.com,

ABSTRAK

Tulisan ini membahas perbandingan efisiensi dan faktor daya pada motor kapasitor start dan kapasitor run. Motor kapasitor start dan motor kapasitor run adalah jenis motor induksi satu phasa yang pemakaiannya cukup luas. Pada penggunaan motor kapasitor start dan motor kapasitor run ini perlu diketahui besar perbandingan efisiensi dan faktor daya, karena efisiensi dan faktor daya merupakan hal yang penting dari sebuah motor listrik dari umumnya. Penelitian ini bertujuan untuk memberikan uraian tentang analisis perbandingan efisiensi dan faktor daya dengan teori medan putar silang dan teori medan putar ganda. Berdasarkan hasil pengukuran dan proses analisis ditunjukkan bahwa motor kapasitor run dengan torsi 0,3 Nm diperoleh efisiensi sebesar 11,90 % dan faktor daya 0,5. dengan torsi 0,5 Nm diperoleh efisiensi sebesar 17,80 % dan faktor daya 0,52. sedangkan pada motor kapasitor start dengan torsi 0,3 Nm diperoleh efisiensi sebesar 11,38 % dan faktor daya 0,432. pada torsi 0,5 Nm diperoleh efisiensi sebesar 17,30 % dan faktor daya 0,449. Berdasarkan analisa data diperoleh bahwa efisiensi pada motor kapasitor start dan motor kapasitor run dengan torsi yang sama diperoleh bahwa efisiensi dan faktor daya yang dihasilkan pada motor kapasitor run lebih baik daripada motor kapasitor start.

Kata Kunci: efisiensi, faktor daya, motor kapasitor

1. Pendahuluan

Motor induksi satu phasa adalah motor yang paling banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari, yang biasanya diaplikasikan pada peralatan rumah tangga, kantor, pabrik, bengkel, maupun perusahaan-perusahaan. Motor kapasitor start dan motor kapasitor run adalah jenis motor induksi satu phasa yang pemakaiannya cukup luas. Pada penggunaan motor kapasitor start dan motor kapasitor run ini perlu diketahui besar perbandingan efisiensi dan faktor daya, karena efisiensi dan faktor daya merupakan hal yang penting dari sebuah motor listrik dari umumnya, dan Untuk itu hal tersebut sangat diperlukan untuk memilih motor yang sesuai dengan kebutuhan sehingga memenuhi syarat teknis dan ekonomis serta efisien.

Tujuan dari penulisan ini adalah untuk memberikan uraian tentang analisis perbandingan efisiensi dan faktor daya dengan teori medan putar silang dan teori medan putar ganda.

Adapun batasan masalah dari percobaan yang dilakukan adalah:

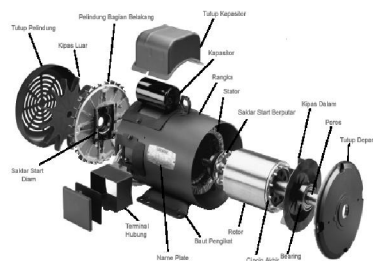
1. Motor yang digunakan adalah motor induksi satu phasa.
2. Tidak membahas mengenai pengaturan kecepatan motor induksi satu phasa pada kapasitor start dan motor kapasitor run.
3. Tidak membahas jenis beban yang digunakan dalam percobaan.
4. Tidak membahas gangguan yang terjadi pada motor induksi satu phasa.
5. Tidak membahas mengenai saklar sentrifugal secara mendetail.

2. Motor Kapasitor Start dan Motor Kapasitor Run

Motor induksi adalah motor listrik arus bolak-balik (ac) yang putaran rotornya tidak sama dengan putaran medan stator, dengan kata lain putaran rotor dengan putaran medan stator terdapat selisih putaran yang disebut slip. Pada umumnya motor induksi dikenal ada dua macam berdasarkan jumlah fasa yang digunakan, yaitu motor induksi satu fasa dan motor induksi tiga fasa. Motor induksi satu fasa sering digunakan sebagai penggerak pada peralatan yang memerlukan daya rendah dan kecepatan yang relatif konstan. Motor induksi satu fasa yang akan dibahas dibagi menjadi dua jenis, yaitu:

- Motor Kapasitor Start
- Motor Kapasitor Run

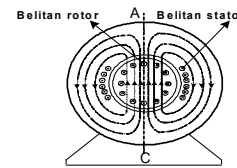
Konstruksi motor induksi satu fasa hampir sama dengan motor induksi fasa banyak, yaitu terdiri dari dua bagian utama yaitu stator dan rotor. Di antara rotor dan stator ini terdapat celah udara yang sempit [1]. Stator merupakan bagian yang diam. Motor induksi satu fasa dilengkapi dengan dua kumparan stator yang dipasang terpisah, yaitu kumparan utama atau sering disebut dengan kumparan berputar dan kumparan bantu yang sering disebut dengan kumparan start. Rotor merupakan bagian yang berputar. Bagian ini terdiri atas inti rotor, belitan rotor dan alur rotor. Terdapat dua jenis rotor yaitu rotor belitan (wound rotor) dan rotor sangkar (squirrel cage rotor) [2]. Seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Komponen Dasar Motor Induksi Satu fasa [3].

Ketika kumparan medan pada stator di suplai dengan sumber tegangan satu fasa (V_1) maka mengalir arus (I_1), dan arus tersebut akan menimbulkan fluksi. dengan adanya fluksi ini akan menimbulkan tegangan induksi sebesar $E_1 = 4,44 fN$ [3]. Selama setengah daur pertama,

arus yang mengalir akan menghasilkan medan magnet seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Arah medan yang demikian menyebabkan terbentuknya kutub selatan pada permukaan stator di A dan kutub utara di C. Untuk setengah daur berikutnya, arus yang mengalir akan berubah arahnya. Perubahan ini menyebabkan medan yang dihasilkan pun berubah polaritasnya. Akan tetapi walaupun kekuatan medan berubah-ubah secara sinusoidal, aksinya tetap sepanjang garis AC, yaitu sepanjang sumbu belitan stator. Dengan demikian medan magnet ini tidak berputar tetapi hanya merupakan sebuah medan magnet yang berpulsa pada posisi tetap (stationery) seperti pada Gambar 2.

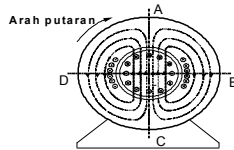


Gambar 2. Medan Magnet Stator Berpulsa Sepanjang Garis AC [4].

Akan tetapi, jika rotor diputar dengan tangan atau dengan menambah kumparan lain maka fluksi yang diam pada stator melalui celah udara akan memotong konduktor rotor dimana rotor merupakan rangkaian tertutup sehingga pada rotor akan timbul tegangan induksi sebesar E_2 kemudian akan timbul arus (I_2). Mengalirnya arus melalui suatu belitan akan timbul fluksi. Dengan dihasilkannya besar fluksi yang berbeda antara dua bagian penting tersebut yang menyebabkan adanya gaya sebesar $F = B.i.l$ kemudian akan menimbulkan torsi. Jika $T_{start} > T_{load}$ maka motor akan berputar [5].

3. Medan Fluksi Silang dengan Medan Fluksi Ganda

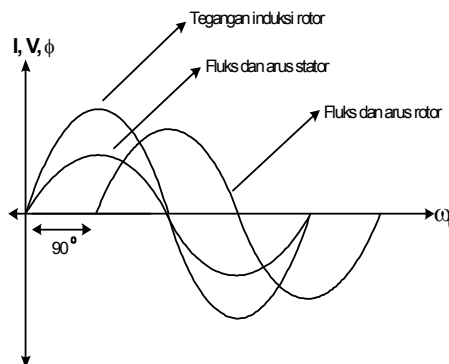
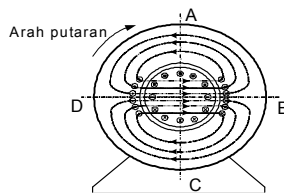
Prinsip kerja motor induksi satu fasa dapat dijelaskan dengan menggunakan teori medan putar silang (*cross-field theory*). Misalnya sekarang motor sedang berputar. Hal ini dapat dilakukan dengan memutar rotor dengan tangan atau pun dengan rangkaian bantu. Konduktor-konduktor rotor memotong medan magnet stator sehingga timbul gaya gerak listrik pada konduktor-konduktor tersebut. yang menunjukkan rotor sedang berputar searah jarum jam. Seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Motor Dalam Keadaan Berputar [3].

Jika fluks stator seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3 mengarah ke atas, sesuai dengan kaidah tangan kanan Fleming, arah gaya gerak listrik (ggl) rotor akan mengarah keluar kertas pada setengah bagian atas rotor dan mengarah ke dalam kertas pada setengah bagian bawah rotor. Pada setengah periode berikutnya arah dari gaya gerak listrik yang dibangkitkan akan terbalik. Gaya gerak listrik yang diinduksikan ke rotor adalah berbeda dengan arus dan fluks stator. Karena konduktor-konduktor rotor terbuat dari bahan dengan tahanan rendah dan induktansi tinggi, maka arus rotor yang dihasilkan akan tertinggal terhadap gaya gerak listrik rotor mendekati 90° [6].

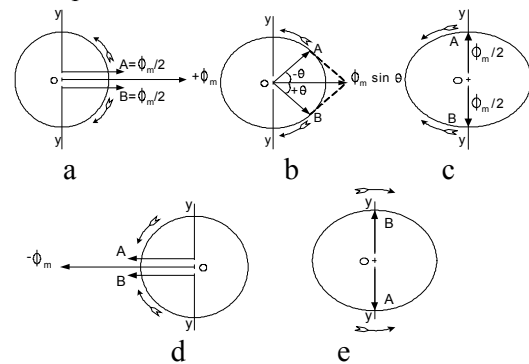
Gambar 4 menunjukkan hubungan fasa dari arus arus dan fluks stator, gaya gerak listrik, arus dan fluks rotor.

Gambar 4. Fluks Rotor Tertinggal Terhadap Fluks Stator Sebesar 90° [3].

Gambar 5. Medan Silang yang Dibangkitkan Arus-Arus Stator [3].

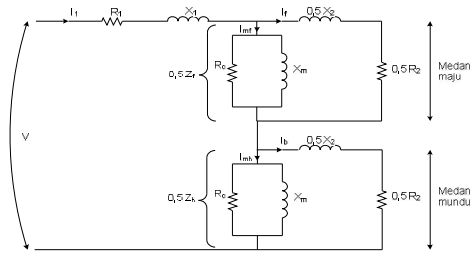
Sesuai dengan kaidah tangan kanan Fleming, arus rotor ini akan menghasilkan medan magnet, seperti yang ditunjukkan Gambar 5 Karena medan rotor ini terpisah sebesar 90° dari medan stator, maka disebut sebagai medan silang (cross field).

Teori medan putar ganda (double revolving-field theory) adalah suatu metode lain untuk menganalisa prinsip perputaran motor induksi satu fasa disamping teori medan putar silang. Teori medan putar ganda (double revolving-field theory) adalah suatu metode lain untuk menganalisa prinsip perputaran motor induksi satu fasa disamping teori medan putar silang. Menurut teori ini, medan magnet yang berpulsa dalam waktu tetapi diam dalam ruangan dapat dibagi menjadi dua medan magnet, dimana besar kedua medan magnet itu sama dan berputar dengan berlawanan arah. Pada Gambar 6 menunjukkan suatu fluks bolak-balik yang mempunyai nilai maksimum. Komponen-komponen fluksnya A dan B mempunyai nilai yang sama yaitu $\phi_m/2$ [2], berputar dengan arah yang berlawanan dan searah perputaran jarum jam, seperti ditunjukkan anak panah.



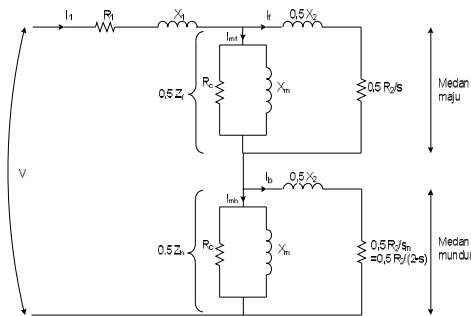
Gambar 6. Konsep Medan Putar Ganda yang Disederhanakan [2].

Pada saat keadaan diam, jika rangkaian stator dihubungkan dengan tegangan satu fasa, maka motor induksi dapat dinyatakan sebagai transformator dengan kumparan sekunder terhubung singkat dengan menggunakan konsep medan putar fluks yang dihasilkan, kumparan stator dapat dipecah menjadi dua bagian yaitu : medan putar maju dan medan putar mundur. Kedua medan putar ini akan mengimbaskan ggl pada kumparan rotor sehingga tahanan dan reaktansi pada kumparan rotor diekivalenkan masing-masing adalah setengah dari nilai tahanan dan reaktansi kumparan rotor sesungguhnya, yaitu $R_2/2$ dan $X_2/2$ seperti yang terlihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Motor Induksi Satu Fasa Dalam Keadaan Diam [3].

Pada saat kecepatan motor induksi mulai bertambah dan bekerja hanya pada kumparan utama. Arus rotor ini akan menghasilkan fluks yang bergerak maju pada kecepatan slip. Fluks ini akan membangkitkan ggl dengan arah maju pada kumparan utama stator. Pengaruh pada rotor jika dilihat dari sisi stator dapat dinyatakan sebagai suatu impedansi sebesar $0,5 R_2/s + j 0,5 X_2$ paralel dengan X_m dan R_c . Seperti yang terlihat pada Gambar 8 dengan menggunakan simbol f. Pada arah medan putar mundur, rotor tetap bergerak dengan slip s berpatokan pada medan maju. Selanjutnya medan mundur mengimbaskan arus rotor dengan frekuensi $(2 - s)f$. Arus rotor ini akan menghasilkan fluks yang bergerak mundur. Fluks ini akan mengimbaskan ggl pada medan mundur kumparan stator. Pengaruh pada rotor jika dilihat dari sisi stator dapat dinyatakan sebagai suatu impedansi sebesar $0,5 R_2/(2-s) + j 0,5 X_2$ paralel dengan X_m dan R_c . Seperti yang terlihat pada Gambar 8 dengan simbol b.



Gambar 8. Motor Induksi Satu Fasa Dalam Keadaan Beroperasi [3].

Dari rangkaian di atas, didapat persamaan (1), (2) dan (3)

$$Z_f = R_f + jX_f = \frac{(R_2/s + jX_2)0,5 Z_m}{(R_2/s + jX_2) + 0,5 Z_m} \quad (1)$$

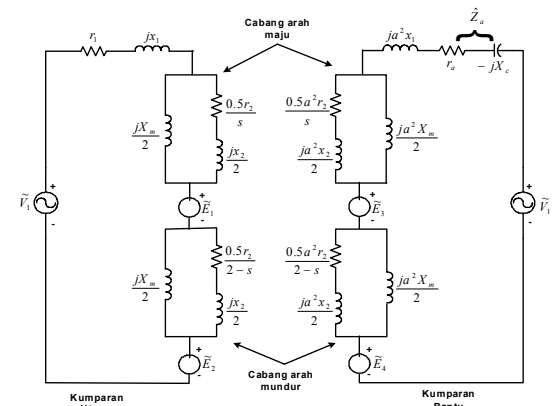
$$Z_b = R_b + jX_b = \frac{(R_2/(2-s) + jX_2)0,5 Z_m}{(R_2/(2-s) + jX_2) + 0,5 Z_m} \quad (2)$$

$$I_1 = \frac{V_1}{R_1 + jX_1 + 0,5 Z_f + 0,5 Z_b} \quad (3)$$

Dimana :

- R_1 = Resistansi kumparan stator
- R_2 = Resistansi kumparan rotor
- X_1 = Reaktansi leakage kumparan stator
- X_2 = Reaktansi leakage kumparan rotor
- X_m = Reaktansi permagnetan
- R_c = Tahanan inti tembaga
- Z_m = Impedansi permagnetan
- I_1 = Arus pada kumparan stator

Telah diketahui bahwa bagaimana medan magnet pulsa yang diam dapat diperoleh dengan dua medan putar yang saling berlawanan. Kedua kumparan utama dan kumparan bantu dieksitasi, kedua kumparan akan menghasilkan sepasang medan putar arah maju dan arah mundur. Pada Gambar 9 terlihat bahwa kumparan bantu dan utama paralel. Kapasitor terhubung seri dengan kumparan bantu, dan selama motor beroperasi tidak dilepas dengan kumparan bantunya. Dari gambar tersebut didapat rangkaian ekuivalen seperti pada Gambar 9.



Gambar 9. Rangkaian Ekuivalen dari Motor Kapasitor Run [3]

Dari rangkaian di atas, didapat persamaan (4), dan (5)

$$\hat{Z}_f = R_f + jX_f = 0,5 \frac{jX_m[(r_2/s) + jx_2]}{(r_2/s) + j(x_2 + X_m)} \quad (4)$$

$$\hat{Z}_b = R_b + jX_b = 0,5 \frac{jX_m[(r_2/(2-s)) + jx_2]}{(r_2/(2-s) + j(x_2 + X_m))} \quad (5)$$

4. Analisis Perbandingan Efisiensi dan Faktor Daya Pada Motor Kapasitor Start dengan Motor Kapasitor Run

Untuk mengetahui kinerja motor yang baik, maka perlu diketahui seberapa baik persentase dari Efisiensi pada motor kapasitor. Efisiensi motor induksi adalah ukuran keefektifan motor induksi untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanis yang dinyatakan sebagai perbandingan antara masukan dan keluaran atau dalam bentuk energi listrik berupa perbandingan watt keluaran dan watt masukan [7].

Efisiensi dapat di rumuskan seperti pada persamaan (6) berikut.

$$\text{Efisiensi } (\eta) = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (6)$$

Faktor daya juga sangat diperlukan sebagai parameter kinerja suatu mesin untuk menjadi baik. Sehingga bisa mengetahui kualitas motor. Secara tradisional, faktor daya telah didefinisikan sebagai rasio dari kilowatt daya dibagi dengan kilovolt-ampere yang ditarik oleh beban atau sistem, atau kosinus dari sudut listrik antara kilo watt dan kilo volt-ampere. Namun, definisi faktor daya hanya berlaku jika tegangan dan arus yang sinusoidal [7].

Faktor Daya dapat di rumuskan seperti pada persamaan (7) berikut.

$$\text{Faktor Daya} = \frac{P_{in}}{V \cdot I_1} \quad (7)$$

Untuk dapat melihat perbandingan antara efisiensi dan faktor daya, maka diperlukan beberapa pengujian yaitu:

1. Pengujian pengukuran tahanan belitan utama.
2. Pengujian pengukuran tahanan belitan bantu.
3. Pengujian rotor tertahan.
4. Pengujian beban nol.
5. Pengujian berbeban.

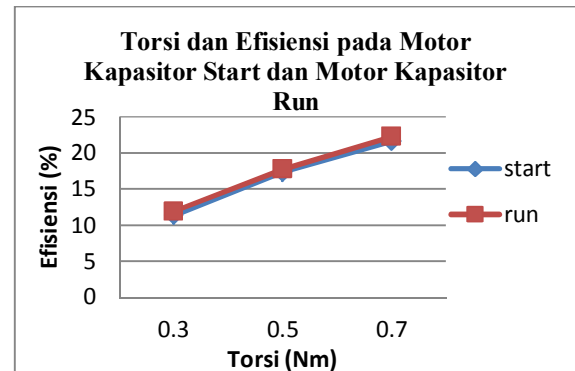
Dari hasil pengujian tersebut dan dari analisa perhitungan yang dilakukan, diperoleh data-data pada Tabel 1 dibawah ini

Tabel 1. Perbandingan Hasil Pengujian dari karakteristik Berbeban Pada Motor Kapasitor Start dan Motor Kapasitor Run

Torsi	Motor Kapasitor Start	Motor Kapasitor Run
-------	-----------------------	---------------------

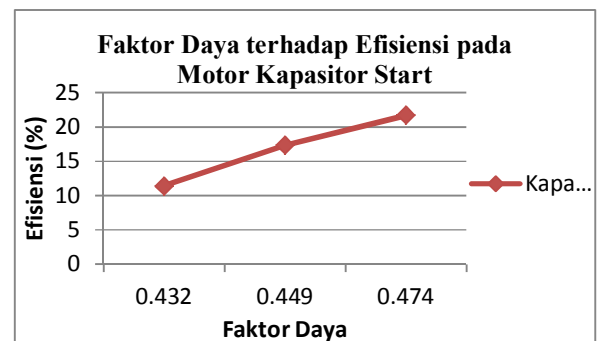
(Nm)	Efisiensi (%)	Faktor Daya	Efisiensi (%)	Faktor Daya
0,3	11,38	0,432	11,90	0,50
0,5	17,30	0,449	17,80	0,52
0,7	21,67	0,474	22,30	0,54

Perbandingan hasil pengujian dari karakteristik berbeban pada motor kapasitor start dan motor kapasitor run dapat juga dilihat pada grafik 1, grafik 2 dan grafik 3.

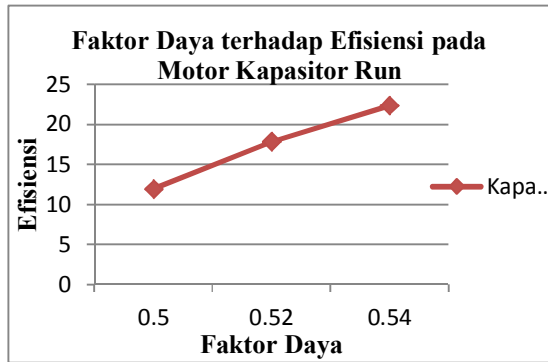


Grafik 1. Torsi terhadap Efisiensi pada motor kapasitor start dan motor kapasitor run

Pada Grafik 1 diatas dengan torsi yang sama diperoleh bahwa efisiensi yang dihasilkan pada motor kapasitor run lebih besar daripada motor kapasitor start. Ini dapat dilihat pada motor kapasitor run dengan torsi 0,3 Nm diperoleh efisiensi sebesar 11,90 % dan dengan torsi 0,5 Nm diperoleh efisiensi sebesar 17,80 % sedangkan pada motor kapasitor start dengan torsi 0,3 Nm diperoleh efisiensi sebesar 11,38 % dan pada torsi 0,5 Nm diperoleh efisiensi sebesar 17,30 %.



Grafik 2. Faktor Daya terhadap Efisiensi pada motor kapasitor start



Grafik 3. Faktor Daya terhadap Efisiensi pada motor kapasitor run

Pada grafik 2 dan grafik 3 diatas diperoleh bahwa efisiensi dan faktor daya yang dihasilkan pada motor kapasitor run lebih baik daripada motor kapasitor start. Ini dapat dilihat pada motor kapasitor run dengan torsi 0,3 Nm diperoleh efisiensi sebesar 11,90 % dan faktor daya 0,5. dengan torsi 0,5 Nm diperoleh efisiensi sebesar 17,80 % dan faktor daya 0,52. sedangkan pada motor kapasitor start dengan torsi 0,3 Nm diperoleh efisiensi sebesar 11,38 % dan faktor daya 0,432. pada torsi 0,5 Nm diperoleh efisiensi sebesar 17,30 % dan faktor daya 0,449

5. Kesimpulan

Melalui hasil pengujian dan grafik yang diperoleh maka kesimpulan yang dapat ditarik adalah sebagai berikut:

1. Putaran yang dihasilkan pada motor kapasitor start lebih stabil daripada motor kapasitor run.
2. Efisiensi yang dihasilkan pada motor kapasitor run lebih besar daripada motor kapasitor start. Ini dapat dilihat pada motor kapasitor run dengan torsi 0,3 Nm diperoleh efisiensi sebesar 11,90 % dan dengan torsi 0,5 Nm diperoleh efisiensi sebesar 17,80 % sedangkan pada motor kapasitor start dengan torsi 0,3 Nm diperoleh efisiensi sebesar 11,38 % dan pada torsi 0,5 Nm diperoleh efisiensi sebesar 17,30 %.
3. Efisiensi dan faktor daya yang dihasilkan pada motor kapasitor run lebih baik daripada motor kapasitor start. Ini dapat dilihat pada motor kapasitor run dengan torsi 0,3 Nm diperoleh efisiensi sebesar 11,90 % dan faktor daya 0,5. dengan torsi 0,5 Nm diperoleh efisiensi sebesar 17,80 % dan faktor

daya 0,52. sedangkan pada motor kapasitor start dengan torsi 0,3 Nm diperoleh efisiensi sebesar 11,38 % dan faktor daya 0,432.

6. Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada H .M. Alisjah Hasibuan dan Hj. Marniati selaku orang tua penulis, Ir. Surya Tarmizi Kasim, M.Si. selaku dosen pembimbing, juga Ir. Eddy Warman, Ir. A. Rachman Hasibuan, MT dan Ir. Syamsul Amin, M.Si. selaku dosen penguji penulis yang sudah membantu penulis dalam menyelesaikan paper ini, serta teman-teman penulis yang sudah memberikan dukungan selama pembuatan paper ini.

7. Daftar Pustaka

- [1]. Bimbira, P.S, *Electrical Machinery*, Khanna Publisher, India, 1979
- [2]. Chapman S.J, *Electric Machinery Fundamental*, McGraw-Hill Book Company, 1985
- [3]. Fitzgerald Kingslay JR, *Mesin-mesin Listrik*, Edisi Keenam, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1993
- [4]. Eugene C Lister, *Mesin Dan Rangkaian Listrik*, Edisi Keenam, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1993
- [5]. Wijaya, Mochtar, *Dasar-dasar Mesin Listrik*, Penerbit Djambatan, Jakarta, 2001
- [6]. Zuhail, *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*, Edisi Kelima, Penerbit Gramedia, Jakarta, 1995
- [7]. Theraja, B.L. & Theraja, A.K., *A Text Book of Electrical Technology*, New Delhi, S.Chand and Company Ltd., 2001