

PENGARUH PENAMBAHAN TAHANAN LUAR (R_{LUAR}) TERHADAP TORSI MOTOR INDUKSI 3 PHASA JENIS ROTOR BELITAN DL 10120RHD3

Zainal Abidin

Email : zainal@polbeng.ac.id
 Program Studi Teknik Listrik
 Politeknik Negeri Bengkalis

Abstrak

Karakteristik motor induksi sebagai penggerak ditentukan berdasarkan parameternya, yaitu : tahanan stator, tahanan rotor, reaktansi bocor stator, reaktansi bocor rotor, reaktansi magnetisasi dan tahanan inti besi. Nilai parameter tidak termuat dalam name plate motor dan nilai parameter dapat dicari dengan melakukan pengujian tahanan DC, pngujian beban nol (*no load*) dan pengujian rotor tertahan (*block- rotor*). Pengujian beban nol disimulasikan dengan memaksimalkan tahanan rotor, dimana slip mendekati nol ($s = 0$) dan pengujian rotor tertahan disimulasikan dengan menahan rotor tetap diam atau meminimumkan nilai tahanan rotor, dimana slip bernilai satu ($s = 1$). Hasil pengujian, parameter motor induksi 3phasa DL 10120RHD3 dengan Tahanan Stator (R_1) = 1,77 Ω , Tahanan Rotor (R_2) = 0,42 Ω , Reaktansi stator (X_1) = 3,51 Ω , Reaktansi stator (X_2) = 3,51 Ω dan Reaktansi magnetik (X_m) = 58,95 Ω . Pengaruh penambahan R_{luar} mengakibatkan T_{start} dan Slip mengalami kenaikan, dimana $R_{luar} = 0 \Omega$, nilai $T_{start} = 5,85$ Nm, Slip = 0,06 dan $R_{luar} = 6 \Omega$, nilai $T_{start} = 43,13$ Nm, Slip 0,88 dan I_{start} mengalami penurunan, dimana $R_{luar} = 0 \Omega$, nilai $I_{start} = 27,07$ A dan $R_{luar} = 6 \Omega$, nilai $I_{start} = 18,80$ A. Hasil pengujian dan perhitungan menunjukkan arah dengan karakteristik sama dengan nilai yang berbeda

Kata kunci : Motor induksi 3phasa, rotor belitan, paramater motor induksi

b. rotor belitan (*wound-rotor motor*).

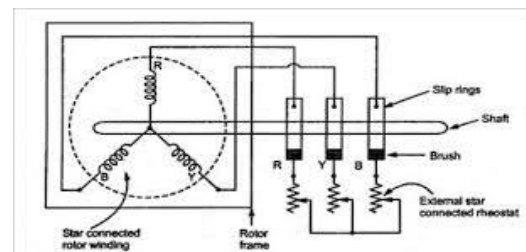
1. PENDAHULUAN

Jenis Motor Induksi 3phasa

Ada dua jenis motor induksi 3phasa berdasarkan rotor, yaitu: Motor induksi 3phasa jenis rotor sangkar tupai (*squirrel-cage motor*) dan motor induksi 3phasa jenis rotor belitan (*wound-rotor motor*). Kedua jenis motor ini bekerja pada prinsip dan konstruksi stator yang sama tetapi berbeda dalam konstruksi jenis rotor dan karakteristik torka-kecepatan.

Motor induksi 3phasa rotor belitan berbeda dengan motor induksi 3phasa rotor sangkar tupai dalam hal konstruksi rotornya. Motor dengan jenis rotor dililit dengan lilitan terisolasi serupa dengan lilitan stator.

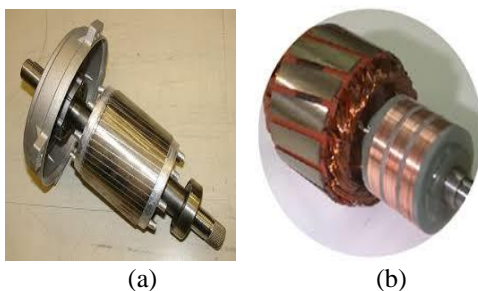
Lilitan fasa rotor dihubungkan secara star (Y) dan masing – masing fasa ujung terbuka yang dikeluarkan ke cincin slip yang terpasang pada poros rotor. Secara skematik motor induksi 3phasa jenis rotor belitan diperlihatkan pada Gambar 2



Gambar 2. Skematik motor induksi 3phasa jenis rotor belitan

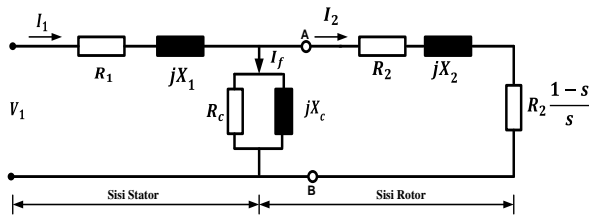
Cincin slip dan sikat merupakan penghubung tahanan kendali variabel luar ke dalam rangkaian rotor. Cincin slip yang terhubung ke tahanan variabel eksternal berfungsi membatasi arus pengasutan. Selama pengasutan, penambahan tahanan eksternal menghasilkan torsi pengasutan lebih besar dengan arus pengasutan lebih kecil jika dibanding dengan rotor sangkar tupai.

Rangkaian ekuivalen mesin listrik AC dinamis



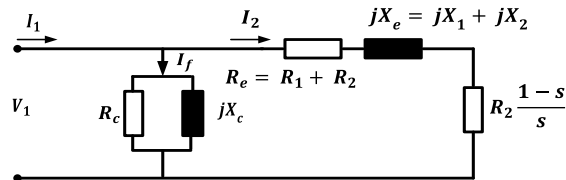
Gambar 1. Jenis rotor motor induksi 3phasa
 a. rotor sangkar tupai (*squirrel-cage motor*)

Rangkaian ekivalen mesin listrik ac dinamis terdiri dari rangkaian ekivalen sisi stator dan sisi rotor. Rangkaian ekivalen lengkap dari mesin listrik ac dinamis diperlihatkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Rangkaian ekivalen lengkap mesin listrik ac dinamis

Dalam melakukan analisis mesin listrik ac dinamis sering menggunakan rangkaian listrik ekivalen pendekatan yang lebih sederhana. Rangkaian ekivalen pendekatan diperlihatkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Rangkaian ekivalen pendekatan mesin listrik ac dinamis

Parameter Motor Induksi Tiga Fasa

Karakteristik motor induksi sebagai penggerak ditentukan berdasarkan parameternya, yaitu : tahanan stator, tahanan rotor, reaktansi bocor stator, reaktansi bocor rotor, reaktansi magnetisasi dan tahanan inti besi. Semua nilai parameter tidak termuat dalam name plate motor. Nilai parameter dapat dicari dengan melakukan pengujian tahanan DC, pengujian beban nol (*no load*) dan pengujian rotor tertahan (*block- rotor*). Pengujian beban nol disimulasikan dengan memaksimalkan tahanan rotor, dimana slip mendekati nol ($s = 0$) dan pengujian rotor tertahan disimulasikan dengan menahan rotor tetap diam atau meminimumkan nilai tahanan rotor, dimana slip bernilai satu ($s = 1$). Untuk keperluan tertentu, motor induksi 3phasa dibebani dengan suatu beban dimana torsi beban yang dipikul lebih besar dari torsi awal yang dihasilkan oleh motor induksi, untuk menanggulangi masalah tersebut motor induksi jenis rotor belitan ditambahkan tahanan luar, yaitu dengan menserikan pada belitan rotor melalui sikat, tujuan untuk memperbesar torsi awal dan memperkecil arus awal.

Pengujian Tahanan DC

Sisi Stator , kumparan stator terhubung star (Y)

$$R_1 = \frac{V_{dc}}{2 \times I_{dc}} \times k \dots \dots \dots 1)$$

$$R_{1ac} = R_1 \times k \dots \dots \dots 2)$$

Sisi Rotor, kumparan rotor terhubung star (Y)

$$R_2 = \frac{V_{dc}}{2 \times I_{dc}} \times k \dots \dots \dots 3)$$

$$R_{2ac} = R_2 \times k \dots \dots \dots 4)$$

Dimana :

k = faktor pengkali (1,1 s/d 1,5) akibat efek kulit

Pengujian rotor tertahan (*block - rotor*)

Impedansi rotor tertahan (*block - rotor*)

$$Z_{br} = \frac{V_{br}}{\sqrt{3} I_{br}} \dots \dots \dots 5)$$

$$\theta_{br} = \cos^{-1} \left(\frac{P_{br}}{\sqrt{3} V_{br} \times I_{br}} \right) \dots \dots \dots 6)$$

$$X_{br} = Z_{br} \times \sin(\theta_{br}) \dots \dots \dots 7)$$

Maka reaktansi stator dan rotor :

Reaktansi stator :

$$X_1 = 0,5 \times X_{br} \dots \dots \dots 8)$$

Reaktansi rotor :

$$X_2 = 0,5 \times X_{br} \dots \dots \dots 9)$$

Tabel 1. Distribusi Empiris dari X_{br}

Disain Kelas Motor	X_1	X_2
A	0,5 X_{br}	0,5 X_{br}
B	0,4 X_{br}	0,6 X_{br}
C	0,3 X_{br}	0,7 X_{br}
D	0,5 X_{br}	0,5 X_{br}
Rotor Belitan	0,5 X_{br}	0,5 X_{br}

Sumber : IEEE standar 112

Pengujian beban nol (*no - load*)

Impedansi beban nol

$$Z_{bn} = \frac{V_{bn}}{\sqrt{3} I_{bn}} \dots \dots \dots 10)$$

Reaktansi magnetik

$$X_m = Z_{bn} - X_1 \dots \dots \dots 11)$$

Torsi Motor Induksi Tiga Fasa

torsi motor induksi dapat ditentukan dengan bantuan teori rangkaian thevenin. Dimana teori

thevenin mengijinkan penggantian sembarang jaringan yang terdiri atas unsur – unsur rangkaian linier dan sumber tegangan fasor tetap. Rangkaian rotor direferensikan terhadap stator.

Tegangan Thevinin (V_{th})

$$V_{th} = \frac{V_{in}}{\sqrt{3}} \left(\frac{jX_m}{R_1 + j(X_1 + X_m)} \right) \dots \dots \dots 12)$$

Atau :

$$|V_{th}| = \frac{V_{in}}{\sqrt{3}} \left(\frac{X_m}{\sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_m)^2}} \right) \dots \dots \dots 13)$$

Dimana :

- V_{th} : Tegangan thevenin
- R_1 : Tahanan stator
- X_1 : Reaktansi stator
- X_m : Reaktansi magnetik

Dari impedansi thevenin, akan didapat resistansi ekivalen (R_e) dan reaktansi ekivalen (X_e) :

$$Z_{th} = R_e + jX_e = \frac{jM_m (R_1 + jX_1)}{R_1 + j(X_1 + X_m)} \dots \dots \dots 14)$$

Kecepatan Sinkron dalam rpm :

$$n_s = \frac{120f}{p} \dots \dots \dots 15)$$

Kecepatan Sinkron dalam rad/s

$$\omega_s = n_s \times \frac{2\pi}{60} \dots \dots \dots 16)$$

Torsi Maksimum

Torsi maksimum motor induksi 3phasa jenis rotor belitan terjadi ketika daya celah udara bernilai maksimum atau ketika daya yang dikonsumsi tahanan maksimum, karena daya celah udara sebanding dengan daya yang terpakai pada tahanan rotor, Persamaan torsi maksimum jenis rotor belitan dinyatakan oleh :

$$T_{maks} = \frac{3(V_{th})^2}{2\omega_s (R_e + \sqrt{R_e^2 + (X_e + X_2)})^2} \dots \dots 17)$$

Torsi Start

Saat pengasutan motor induksi 3phasa dalam keadaan diam ($s = 1$) dan daya mekanis bernilai nol

($P_{mek} = 0$). Persamaan torsi start motor induksi 3phasa saat pengasutan dinyatakan oleh :

$$T_{start} = \frac{3}{\omega_s} \left(\frac{V_{th}^2 R_2}{(R_e + R_2)^2 + (X_e + X_2)^2} \right) \dots \dots \dots 18)$$

Torsi start motor induksi jenis rotor belitan perlu diperbesar jika torsi beban lebih besar dari torsi awal. yaitu dengan memasang tahanan variabel dari luar yang terpasang secara seri terhadap kumparan rotor melalui sikat. Torsi start motor induksi 3phasa jenis rotor belitan tergantung dari nilai R_{luar} . Persamaan torsi start motor induksi 3phasa jenis rotor belitan dinyatakan oleh :

$$T_{start} = \frac{3}{\omega_s} \left(\frac{V_{th}^2 (R_2 + R_{luar})}{(R_e + R_2 + R_{luar})^2 + (X_e + X_2)^2} \right) \dots \dots 19)$$

Dengan arus start :

$$I_{start} = \frac{V_{th}}{R_e + R_2 + R_{luar} + j(X_e + X_2)} \dots \dots \dots 20)$$

Atau

$$|I_{start}| = \frac{V_{th}}{\sqrt{(R_e + R_2 + R_{luar})^2 + (X_e + X_2)^2}} \dots \dots \dots 21)$$

Serta slip :

$$S = \frac{R_2 + R_{luar}}{\sqrt{(R_e)^2 + (X_e + X_2)^2}} \dots \dots \dots 22)$$

Dimana :

- V_{th} : Tegangan thevenin
- R_{luar} : Tahanan variabel dari luar
- R_e : Resistansi ekivalen
- X_e : Reaktansi ekivalen
- R_2 : Tahanan rotor
- X_2 : Reaktansi rotot

2. METODOLOGI PENELITIAN

Untuk menentukan parameter, dilakukan pengujian, yaitu :

1. Pengujian tahanan DC,
2. Pengujian beban nol (*no load*) dan
3. Pengujian rotor tertahan (*block- rotor*).
4. Pengujian pengaruh penambahan tahanan luar terhadap torsi awal, kecepatan , arus dan slip.

Data yang didapat dari pengujian penggunaan penambahan tahanan luar akan dibandingkan dengan hasil perhitungan.

Data Motor :

Motor induksi 3phasa, Jenis rotor : rotor belitan spesifikasi motor:

- Conectioan : Δ/Y
- Tegangan : 220/380V
- Arus : 10,7 / 6,2 A
- Daya (P) : 1,1 KW,
- Cosφ : 0,67
- n : 1410 rpm,
- f : 50 Hz
- Kelas : B

Lokasi Pengujian :

Laboratorium mesin listrik jurusan teknik elektro lantai 2

Hasil Pengujian

Tabel 2. Pengujian Tahanan DC

Sisi	Phasa	V _{DC} (V)	I _{DC} (A)
Stator terhubung Y	U - V	13,2	4,1
	U - W	13,2	4,1
	V - W	13,2	4,1
Rotor terhubung Y	K - L	3,9	5,1
	K - M	3,9	5,1
	L - M	3,9	5,1

Tabel 3. Pengujian beban nol (No Load)

V _{bn} (V)	I _{bn} (A)	P _{bn} (W)
370	3,42	332

Tabel 4. Pengujian Rotor tertahan (Block Rotor)

V _{br} (V)	I _{br} (A)	P _{br} (W)
94	6,6	560

Tabel 5. Pengujian pengaruh tahanan luar (R_{luar}) terhadap torsi awal, arus rotor , slip dan η_{rotor} (rpm) dengan V_{sumbu} : 370 V

R _{luar}	Torsi awal (Nm)	I _{rotor} (A)	Slip	η _{rotor} (rpm)
0	5,85	27,07	0,06	1435
1	18,17	25,95	0,19	1311
2	27,29	24,59	0,33	1245
3	34,68	23,10	0,47	1185
4	39,20	21,60	0,60	1075
5	41,85	20,16	0,74	1004
6	43,13	18,80	0,88	946

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Parameter Motor Induksi Tiga Fasa Rotor Belitan

Pengujian Tahanan DC

Tahanan Stator :

$$R_1 = R_{1ac} = \frac{V_{dc}}{2 \times I_{dc}} \times 1,1$$

$$R_1 = R_{1ac} = \frac{13,2}{2 \times 4,1} \times 1,1 = 1,77 \Omega$$

Tahanan Rotor :

$$R_2 = R_{2ac} = \frac{V_{dc}}{2 \times I_{dc}} \times 1,1$$

$$R_2 = R_{2ac} = \frac{3,9}{2 \times 5,1} \times 1,1 = 0,42 \Omega$$

Rotor Tertahan (Block Rotor) :

Impedansi rotor tertahan:

$$Z_{br} = \frac{V_{br}}{\sqrt{3} I_{br}} = \frac{94}{\sqrt{3} \times 6,6} = 8,22$$

$$\theta_{br} = \cos^{-1} \left(\frac{P_{br}}{\sqrt{3} V_{br} \times I_{br}} \right)$$

$$\theta_{br} = \cos^{-1} \left(\frac{560}{1074,56} \right)$$

$$\theta_{br} = 58,59^\circ$$

Reaktansi rotor tertahan :

$$X_{br1} = Z_{br} \times \sin(\theta_{br})$$

$$X_{br1} = 8,22 \times 0,8327 = 7,01 \Omega$$

Maka :

$$\text{Reaktansi stator : } X_1 = 0,5 \times X_{br1} = 3,51 \Omega$$

$$\text{Reaktansi rotor : } X_2 = 0,5 \times X_{br1} = 3,51 \Omega$$

Pengujian beban Nol (No Load)

Impedansi beban nol :

$$Z_{nl} = \frac{V_{nl}}{\sqrt{3} I_{nl}} = \frac{370}{\sqrt{3} \times 3,42} = 62,46 \Omega$$

Reaktansi Magnetik :

$$X_m = Z_{nl} - X_1 = 62,46 - 3,51 = 58,95 \Omega$$

Tabel 6. Parameter motor induksi :

Parameter	Ω
Tahanan Stator (R_1)	1,77
Tahanan Rotor (R_2)	0,42
Reaktansi stator (X_1)	3,51
Reaktansi stator (X_2)	3,51
Reaktansi magnetik (X_m)	58,95

Torsi Maksimum

Tegangan Thevin (V_{th})

$$|V_{th}| = \frac{V_{in}}{\sqrt{3}} \left(\frac{X_m}{\sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_m)^2}} \right)$$

$$|V_{th}| = 201,02 \text{ V}$$

Tahanan Ekuivalen :

$$Z_{th} = \frac{jM_m (R_1 + jX_1)}{R_1 + j(X_1 + X_m)} = 1,51 + j3,51\Omega$$

Tahanan Ekuivalen : $R_e = 1,51 \Omega$

Reaktansi Ekuivalen : $X_e = j3,51 \Omega$

Kecepatan Sinkron dalam rpm :

$$n_s = \frac{120f}{p} = \frac{120 \times 50}{4} = 1500 \text{ rpm}$$

Kecepatan Sinkron dalam rad/s

$$\omega_s = n_s \times \frac{2\pi}{60} = 157,08 \text{ rad/s}$$

Torsi Maksimum :

$$T_{maks} = \frac{3(V_{th})^2}{2\omega_s (R_e + \sqrt{R_e^2 + (X_e + X_2)^2})^2}$$

$$T_{maks} = 35,22 \text{ Nm}$$

Pengaruh tahanan luar ($R_{luar} = 0, 1, 2, 3 \dots 6$) terhadap Torsi start , Arus start dan Slip

Torsi start :

$$T_{start} = \frac{3}{\omega_s} \left(\frac{V_{th}^2 (R_2 + R_{luar})}{(R_e + R_2 + R_{luar})^2 + (X_e + X_2)^2} \right)$$

$$R_{luar} = 0$$

$$T_{start} = 5,85 \text{ Nm}$$

Arus start :

$$|I_{start}| = \frac{V_{th}}{\sqrt{(R_e + R_2 + R_{luar})^2 + (X_e + X_2)^2}}$$

$$R_{luar} = 0$$

$$|I_{start}| = 27,07 \text{ A}$$

Slip :

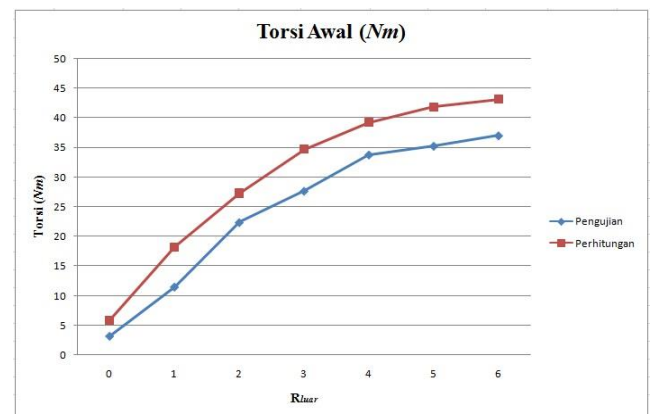
$$S = \frac{R_2 + R_{luar}}{\sqrt{(R_e)^2 + (X_e + X_2)^2}}$$

$$R_{luar} = 0$$

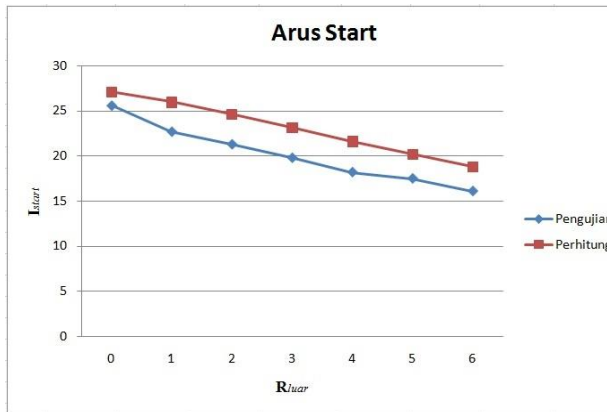
$$S = 0,06$$

Tabel 6. Hasil perhitungan pengaruh R_{luar} terhadap Torsi awal , arus start dan slip

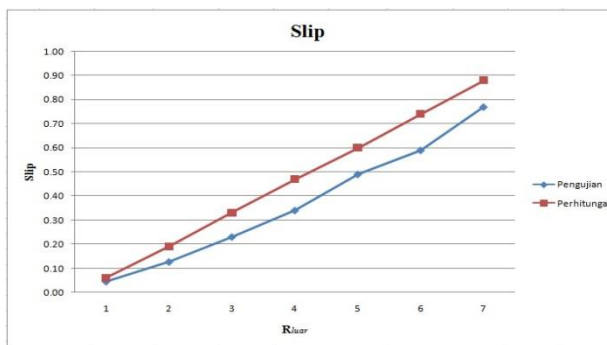
$R_{luar} (\Omega)$	$T_{start} (Nm)$	$I_{start} (A)$	S
0	5,85	27,07	0,06
1	18,17	25,95	0,19
2	27,29	24,59	0,33
3	34,68	23,10	0,47
4	39,20	21,60	0,60
5	41,85	20,16	0,74
6	43,13	18,80	0,88



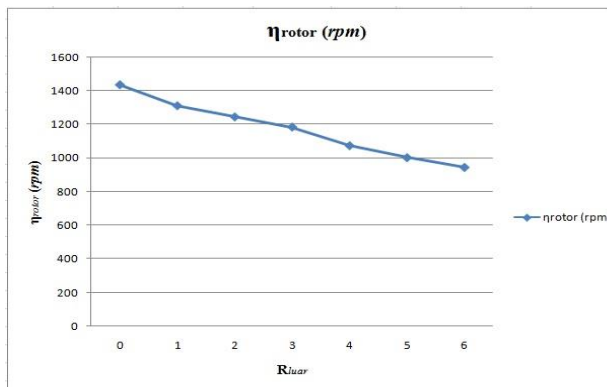
Gambar 5. Grafik Torsi awal perhitungan VS pengujian



Gambar 6. Grafik Arus start perhitungan VS pengujian



Gambar 7. Grafik Slip perhitungan VS pengujian



Gambar 8. Grafik pengaruh kecepatan putar rotor terhadap R_{luar}

4. KESIMPULAN

Diperoleh beberapa kesimpulan akibat pengaruh penambahan tahanan luar yang terpasang seri terhadap rotor, yaitu:

1. Kenaikan torsi awal hasil perhitungan lebih halus jika dibandingkan dengan hasil pengujian.
2. Torsi awal bertambah besar sampai dengan nilai tertentu dengan bertambahnya nilai tahanan luar (R_{luar})
3. Arus start yang dihasilkan semakin kecil.

4. Torsi maksimum terjadi pada slip yang berbeda-beda dan akan semakin cepat didapat
5. kecepatan motor dapat diatur tanpa mempengaruhi torsi maksimum dan nilai torsi maksimum semakin cepat diperoleh.
6. Torsi maksimum terjadi pada slip yang berbeda-beda
7. Torsi maksimum sebanding dengan besar tegangan masuk pada stator.
8. Torsi maksimum dipengaruhi oleh besarnya tahanan dan dua induktansi, yaitu induktansi pada kumparan stator dan induktansi pada kumparan rotor
9. faktor daya motor pada saat start dapat diperbaiki

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Nagrath, I.J., D.P. Kothari. *Electric Machines*. McGraw-Hill, New Delhi, 1999
- [2] Seung-Ki Sul. *Control of Electric Machine Drive Systems*, John Wiley and Sons, Inc., New Jersey, 2011
- [3] Katsuhiko Ogata, “*Modern Control Engineering* “Third Edition Prentice-Hall international, Inc. 1997
- [4] IEEE Standars 112., *Standard Test Procedure for Polyphase Induction Motors and Generators*. USA: Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. 2004
- [5] NEMA Standards Publication. *Information Guide for General Purpose Industrial AC Small and Medium Squirrelcage Induction MotorStandars*. Virginia. 2002.
- [6] Yandri, “*Penentuan Parameter dan Arus Asut Motor Induksi Tiga Fasa*”, jurnal ELKHA. Vol. 3, No.2, Juli 2011
- [7] Suyamto, “*analisis daya dan torsi pada motor induksi*’. seminar nasional V, teknologi nuklir yogyakarta, 5 November 2009.
- [8] Ahyanuardi, “ *pemodelan perilaku dinamik motor induksi tiga fasa*”, Jurusan Teknik Elektro FT UNP,
- [9] Tasma Sucita, dan Leli Alhapi, *Analisis karakteristik beban nol motor induksi rotor Sangkar saat pengasutan menggunakan toolbox power system blockset program simulasi matlab simulink*, ELEC-trans vol. I No. 2 September 2002
- [10] Andyk Probo Prasetya, Abdul Hamid dan Yusuf Ismail Nakhoda .”*Analisis perbandingan sistem pengasutan Motor induksi 3 fasa sebagai penggerak pompa pada perusahaan daerah air minum (pdam) wendit malang*”. Jurnal Elektro ELTEK Vol. 3, No. 1, April 2012
- [11] Isnanto Heru Purnomo , *Analisis motor induksi 3 fasa dengan metode kerangka referensi* , Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik

Universitas Diponegoro

- [12] Iwan Setiawan, "*Studi Komparatif Arus Asut Motor Induksi Tiga Fasa Standar NEMA Berdasarkan Rangkaian Ekuivalen Dan Kode Huruf*", Program Studi Teknik Elektro Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura
- [13] Saefurrochman dan Suprpto, "*analisa uji transformator 350 v/20 a untuk catu daya nitridasi plasma double chamber*", Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan-BATAN, Yogyakarta. Juli 2011