

**ANALISIS PENGARUH JATUH TEGANGAN TERHADAP KINERJA MOTOR INDUKSI
TIGA FASA ROTOR BELITAN
(Aplikasi pada Laboratorium Konversi Energi Listrik FT-USU)**

M. Arfan Saputra, Syamsul Amien

Konsentrasi Teknik Energi Listrik, Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara (USU)
Jl. Almamater, Kampus USU Medan 20155 INDONESIA
e-mail: arfanputra@yahoo.com

Abstrak

Motor induksi merupakan motor yang paling umum digunakan pada berbagai peralatan industri. Kelebihannya adalah rancangannya yang sederhana, murah dan mudah didapat, serta dapat langsung disambungkan ke sumber daya AC tiga fasa. Salah satu jenis motor induksi yang cukup banyak dijumpai adalah motor induksi rotor belitan. Dalam aplikasinya motor induksi dituntut memiliki kinerja yang tinggi. Tetapi hal itu tidak dapat sepenuhnya tercapai mengingat adanya gangguan berupa jatuh tegangan. Turunnya tegangan yang disuplai ke motor akan menyebabkan kinerja motor berkurang. Pada tulisan ini menganalisis pengaruh jatuh tegangan terhadap kinerja motor induksi tiga fasa rotor belitan dengan menentukan 8 nilai tegangan terminal yaitu 360, 340, 320, 300, 280, 260, 240, dan 220 Volt. Data hasil pengujian, nilai tegangan terminal tertinggi 360 Volt memiliki torsi 0,26 N-m, efisiensi 75,7 %, dan putaran 1450 rpm, dan pada saat nilai tegangan terminal terendah 220 Volt memiliki torsi 2,58 N-m, efisiensi 18,06 % dan putaran 1390 rpm.

Kata Kunci: Motor induksi tiga fasa, Kinerja

1. Pendahuluan

Motor induksi merupakan motor listrik arus bolak balik (AC) yang paling luas digunakan penamaannya berasal dari kenyataan bahwa motor ini bekerja berdasarkan induksi medan magnet stator, dimana arus rotor ini bukan diperoleh dari sumber tertentu, tetapi merupakan arus yang terinduksi sebagai akibat adanya perbedaan relatif antara putaran rotor dengan medan magnet putar (*rotating magnetic field*) yang dihasilkan oleh arus stator [1].

Motor induksi sangat banyak digunakan di dalam kehidupan sehari-hari baik di industri maupun di rumah tangga. Motor induksi yang umum dipakai adalah motor induksi tiga fasa dan motor induksi satu fasa. Motor induksi tiga fasa dioperasikan pada sistem tenaga tiga fasa dan banyak digunakan di dalam berbagai bidang industri dengan kapasitas yang besar. Motor induksi satu fasa banyak dioperasikan pada sistem tenaga satu fasa dan banyak digunakan terutama untuk peralatan rumah tangga seperti kipas angin, lemari es, pompa air, mesin cuci dan sebagainya karena motor induksi satu fasa mempunyai daya keluaran yang rendah. Dalam penggunaannya diharapkan motor induksi dapat

bekerja secara efisien, dimana efisiennya suatu motor dapat dilihat dari besarnya nilai efisiensinya.[2]

Tetapi dalam prakteknya tegangan yang di supply oleh pembangkit tidaklah sama untuk setiap waktunya. Terdapat suatu gangguan berupa tegangan jatuh pada saluran penghantar yang dapat mempengaruhi kinerja motor induksi tersebut. Dengan demikian, perlu dilakukan pengujian untuk mengetahui pengaruh jatuh tegangan terhadap kinerja motor induksi tiga fasa rotor belitan. Sehingga dengan mengetahui pengaruhnya dapat dilakukan antisipasi terhadap kemungkinan-kemungkinan buruk yang terjadi [2].

2. Jatuh Tegangan pada Motor Induksi Tiga Fasa Rotor Belitan

Motor asinkron atau motor induksi biasanya dikenal sebagai motor induksi yang merupakan motor arus bolak-balik yang paling luas penggunaannya. Penamaan ini berasal dari kenyataan bahwa arus rotor pada motor ini bukan diperoleh dari sumber tertentu tetapi merupakan arus yang terinduksi sebagai akibat adanya perbedaan relatif antara putaran rotor dengan

putaran medan putar yang dihasilkan oleh arus stator. Motor induksi terdiri dari dua bagian yaitu stator dan rotor dimana stator dihubungkan ke sumber tegangan AC. Rotor tidak dihubungkan secara listrik ke pencatu daya, tetapi mempunyai arus diinduksikan kedalamnya oleh kerja trafo dari stator. Oleh sebab itu stator kadang-kadang dianggap sebagai primer dan rotor sebagai skunder motor [3].

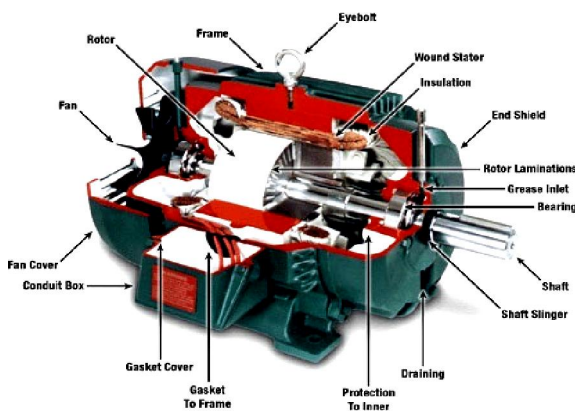
Mesin induksi pada umumnya banyak digunakan karena beberapa hal :

1. Bentuk yang sederhana dan konstruksinya yang kuat.
2. Memiliki efisiensi yang tinggi saat keadaan normal, tidak diperlukan sikat maka rugi-rugi gesek berkurang serta power faktor yang baik.
3. Dapat distart pada keadaan diam, tidak diperlukan motor tambahan untuk start, tidak perlu disinkron, startnya sederhana.

Selain itu motor induksi juga memiliki kelemahan, diantaranya :

1. Arus *starting* nya cukup tinggi.
2. Kecepatan dapat menurun sejalan dengan kenaikan beban.
3. Pada torsi start memiliki kekurangan.

Motor induksi adalah motor listrik arus bolak-balik (ac) yang paling banyak dipergunakan, karena konstruksinya yang kuat dan karakteristik kerjanya yang baik. Secara umum motor induksi tiga fasa memiliki dua komponen dasar yaitu stator (komponen yang diam) dan rotor (bagian berputar), bagian stator dipisahkan dengan bagian rotor oleh celah udara yang sempit (*air gap*). Konstruksi motor induksi dapat diperlihatkan pada Gambar 1



Gambar 1 Konstruksi Motor Induksi [3]

komponen stator adalah bagian terluar dari motor yang merupakan bagian yang diam dan mengalirkan arus fasa. Rangka luarnya terbuat

dari baja maupun aluminium, sedangkan intinya berupa lapisan-lapisan yang terbuat dari baja silikon untuk mengurangi rugi-rugi histerisis dan edy current. Sedangkan pada rotor motor induksi tiga fasa dibedakan menjadi rotor sangkar (*squirrel cage*) rotor dan rotor belitan (*wound rotor*). Dimana rotor sangkar (*squirrel cage*) terdiri dari inti silinder yang berlapis-lapis dengan slot (alur) yang parallel sebagai tempat untuk membawa konduktor rotor, sedangkan rotor belitan (*wound rotor*) terdiri dari inti silinder yang berlapis-lapis, akan tetapi konduktor rotornya berupa gulungan tiga fasa yang digulung dengan jumlah kutub yang sama dengan jumlah kutub stator [3].

Motor induksi adalah peralatan pengubah energi listrik ke bentuk energi mekanik. Perubahan energi ini bergantung pada keberadaan fenomena alami magnetik, medan listrik, gaya mekanis dan gerak. Jika pada stator diberikan tegangan tiga fasa, maka pada belitan stator akan mengalir arus tiga fasa, arus ini menghasilkan medan magnet yang berputar dengan kecepatan sinkron (n_s). Medan magnet ini memotong belitan rotor sehingga pada belitan rotor akan diinduksikan tegangan seperti hanya tegangan yang diinduksikan dalam lilitan skunder transformator oleh fluksi yang dihasilkan pada belitan primer. Rangkaian rotor merupakan rangkaian tertutup, baik melalui cincin ujung atau tahanan luar. Arus yang mengalir dalam belitan rotor berada dalam medan magnet yang dihasilkan stator, sehingga pada belitan rotor akan dihasilkan gaya (F). Gaya ini akan menghasilkan torsi (τ) dan jika torsi yang dihasilkan lebih besar dari torsi beban, maka rotor akan berputar dengan kecepatan n_r yang searah dengan medan putar stator [3].

Untuk memperjelas prinsip kerja motor induksi tiga fasa, maka dapat dijabarkan dalam langkah-langkah berikut : [1,6]

1. Pada keadaan beban nol ketiga fasa stator yang dihubungkan dengan sumber tegangan tiga fasa yang seimbang menghasilkan arus pada tiap belitan fasa.
2. Arus pada tiap fasa menghasilkan fluksi bolak-balik yang berubah-ubah.
3. Amplitudo fluksi yang dihasilkan berubah secara sinusoidal dan arahnya tegak lurus terhadap belitan fasa.
4. Akibat fluksi yang berputar timbul GGL pada stator motor yang besarnya adalah :

$$e_1 = -N_1 \frac{d\Phi}{dt} \quad (1)$$

Atau

$$E_1 = 4,44fN_1\Phi \quad (2)$$

- Penjumlahan ketiga fluksi bolak-balik tersebut disebut medan putar yang berputar dengan kecepatan sinkron n_s , besarnya nilai n_s ditentukan oleh jumlah kutub p dan frekuensi stator f yang dirumuskan dengan :

$$n_s = \frac{120 \times f}{p} \quad (3)$$

- Fluksi yang berputar tersebut akan memotong batang konduktor pada rotor. Akibatnya pada kumparan rotor timbul tegangan induksi (GGL) sebesar E_2 yang besarnya :

$$E_2 = 4,44fN_2\Phi_m \quad (4)$$

dimana :

E_2 = Tegangan induksi pada rotor saat rotor dalam keadaan diam (Volt)

N_2 = Jumlah lilitan kumparan rotor

Φ_m = Fluksi maksimum (Wb)

n_s = Medan putar stator (rpm)

- Karena kumparan rotor merupakan rangkaian tertutup, maka GGL tersebut akan menghasilkan arus I_2 .
- Adanya arus I_2 di dalam medan magnet akan menimbulkan gaya F pada rotor.
- Bila kopel mula yang dihasilkan oleh gaya F cukup besar untuk memikul kopel beban, rotor akan berputar searah medan putar stator.
- Perputaran rotor akan semakin meningkat hingga mendekati kecepatan sinkron. Perbedaan kecepatan medan stator (n_s) dan kecepatan rotor (n_r) disebut slip (s) dan dinyatakan dengan :

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s} \times 100\% \quad (5)$$

- Pada saat rotor dalam keadaan berputar, besarnya tegangan yang terinduksi pada kumparan rotor akan bervariasi tergantung besarnya slip. Tegangan induksi ini dinyatakan dengan E_{2s} yang besarnya

$$E_{2s} = 4,44fN_2\Phi_m \text{ (volt)} \quad (6)$$

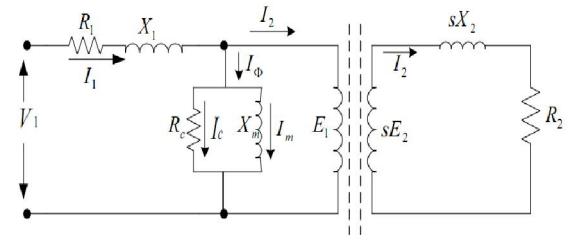
dimana :

E_{2s} = tegangan induksi pada rotor dalam keadaan berputar (volt)

$f_2 = s f$ = frekuensi rotor (frekuensi tegangan induksi pada rotor dalam keadaan berputar)

- Bila $n_s = n_r$, tegangan tidak akan terinduksi dan arus tidak akan mengalir pada kumparan rotor, karenanya tidak dihasilkan kopel. Kopel ditimbulkan jika $n_r < n_s$

Untuk mempermudah analisis motor induksi, digunakan metoda rangkaian ekivalen per-fasa. Motor induksi dapat dianggap sebagai transformator dengan rangkaian sekunder berputar. Rangkaian ekivalen dapat diperhatikan pada Gambar 2



Gambar 2 Rangkaian ekivalen motor induksi tiga fasa [3,5]

Efisiensi dari suatu motor induksi didefinisikan sebagai ukuran keefektifan motor induksi untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik yang dinyatakan sebagai perbandingan/rasio daya *output* (keluaran) dengan daya *input* (masukan), atau dapat juga dirumuskan dengan : [5,6]

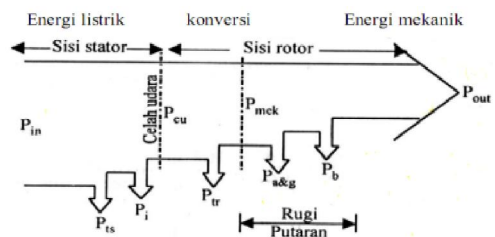
$$\eta (\%) = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% = \frac{P_{in} - P_{loss}}{P_{in}} \times 100\% = \frac{P_{out}}{P_{out} + P_{loss}} \times 100\% \quad (7)$$

$$P_{loss} = P_{in} + P_i + P_{tr} + P_{a\&g} + P_b \quad (8)$$

$$P_{in} = \sqrt{3} \cdot V_1 \cdot I_1 \cdot \cos \phi \quad (9)$$

Dari peramaan di atas dapat dilihat bahwa efisiensi motor tergantung pada besarnya rugi-rugi.

Diagram aliran daya motor induksi tiga fasa dapat dilihat dari Gambar 3



Gambar 3 Diagram aliran daya motor induksi [6]

Dimana :

P_{ts} = rugi-rugi tembaga pada belitan stator (Watt)

P_i = rugi-rugi inti pada stator (Watt)

P_{cu} = daya yang transfer melalui celah udara (Watt)

P_{tr}	= rugi-rugi tembaga pada belitan rotor
P_{mek}	= daya mekanik keluaran (<i>output</i>) (Wattt)
$P_{a\&g}$	= rugi-rugi gesek dan angin (Watt)
P_b	= <i>stray losses</i> (Watt)

Jatuh tegangan adalah selisih antara tegangan ujung pengirim dengan tegangan ujung penerima. Jatuh tegangan pada saluran tenaga listrik secara umum berbanding lurus dengan panjang saluran dan beban serta berbanding terbalik dengan luas penampang penghantar. Secara matematis dapat dituliskan seperti persamaan 10 [7].

$$\Delta V = V_s - V_r \quad (10)$$

Dimana :

ΔV	= jatuh tegangan (volt)
V_s	= tegangan di sisi pengirim (volt)
V_r	= tegangan di sisi penerima (volt)

Atau dapat juga ditulis dalam bentuk persentase :

$$\Delta V (\%) = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% \quad (11)$$

Dimana :

$\Delta V (\%)$	= rugi tegangan dalam persen
ΔV	= rugi tegangan (volt)
V	= tegangan kerja (volt)

Penurunan tegangan maksimum pada beban penuh yang dibolehkan di beberapa titik pada jaringan distribusi adalah :

1. SUTM = 5% dari tegangan kerja bagi sistem radial
2. SKTM = 2% dari tegangan kerja pada sistem spindle dan gugus
3. Trafo distribusi = 3% dari tegangan kerja
4. Saluran tegangan rendah = 4% dari tegangan kerja tergantung kepadatan beban
5. Sambungan rumah = 1% dari tegangan nominal

Untuk menghitung jatuh tegangan, diperhitungkan reaktansinya, maupun faktor dayanya yang tidak sama dengan satu. Maka tegangan yang hilang disepanjang saluran penghantar adalah :

$$\Delta V = I (R \cos \theta + X \sin \theta) \quad (12)$$

Dimana :

I	= arus beban (A)
R	= tahanan saluran (ohm)
X	= reaktansi saluran (ohm)
$\cos \theta$	= faktor daya beban

3. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada jam 14.00 sampai dengan 17.00 pada tanggal 04 Desember 2013 di Laboratorium Konversi Energi Listrik FT-USU.

Objek penelitian ini adalah melakukan pengukuran terhadap motor induksi akibat penurunan tegangan terminal dengan variabel motor induksi dan tegangan pada motor.

Untuk menganalisis hubungan antara nilai tegangan supply terhadap torsi, putaran, dan efisiensi pada motor induksi, maka dilakukan pengujian dengan menurunkan tegangan yang diberikan ke terminal motor melalui autotrafo pada kondisi berbeban. Pada penelitian ini, pengujian dilakukan dengan delapan nilai tegangan terminal, yaitu nilai tegangan nominal atau 360 volt diikuti tujuh nilai dibawahnya yaitu 340, 320, 300, 280, 260, 240, dan 220 volt.

Berdasarkan tujuan dari penelitian ini maka dilakukan langkah-langkah sebagai berikut :

- a. Pengumpulan data yaitu dengan metode dokumentasi dan observasi.
- b. Mempersiapkan alat dan bahan untuk penelitian.
- c. Mengkondisikan objek penelitian ini dengan memastikan bahwa motor induksi dapat beroperasi dengan pengaturan tegangan terminal motor.
- d. Mengkondisikan alat ukur agar memiliki validitas yang baik yang harus disetting dengan benar.
- e. Tahap pengambilan data yang meliputi arus dan putaran terhadap tegangan.
- f. Tahap analisis data dengan menggunakan analisis matematis untuk memecahkan masalah dan memperoleh kesimpulan dalam penelitian. Analisis ini adalah mengadakan perhitungan-perhitungan berdasarkan persamaan yang berlaku didalam perhitungan torsi, efisiensi dan putaran pada motor induksi. Dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$1. \text{ Torsi } T_e = \frac{3I_2^2 R_2 \times 60}{s \times 2\pi n_s} \quad (13)$$

$$2. \text{ Efisiensi } \eta = \frac{P_{in} - (P_{SCL} + P_{RCL})}{P_{in}} \times 100 \quad (14)$$

Adapun peralatan yang digunakan pada pengujian ini adalah sebagai berikut :

1. Satu unit Motor induksi 3 fasa (berfungsi sebagai motor)

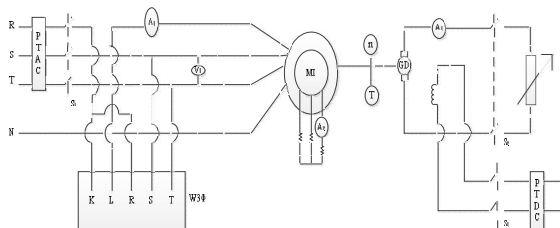
Tipe : Rotor Belitan

Spesifikasi : - AEG Type C AM 112 MU 4 R1

- Δ / Y 220/ 380 V ; 10,7 / 6,2 A
- 2,2 Kw, $\cos \phi$ 0,67
- 1410 rpm, 50 Hz
- Kelas isolasi : B

2. Empat unit LCR multimeter TES 27124.
3. Satu unit wattmeter 3 fasa Yokogawa Electric Works Ltd.
4. Satu unit PT AC.
5. Satu unit PT DC.
6. Kabel secukupnya.

Adapun rangkaian percobaan untuk pengujian pengaruh jatuh tegangan terhadap torsi, putaran dan efisiensi pada motor induksi dapat dilihat pada Gambar 4



Gambar 4 Rangkaian Percobaan Jatuh Tegangan

4. Hasil dan Analisis Pengukuran

Pengaruh jatuh tegangan motor induksi yang dilakukan dalam percobaan ini adalah sebagai simulasi gangguan yang terjadi pada industri yang banyak menggunakan motor induksi tiga fasa sebagai alat penunjang proses produksi. Gangguan motor induksi tiga fasa salah satunya adanya jatuh tegangan, untuk itu penulis melakukan pengujian jatuh tegangan terhadap Torsi, Putaran Rotor, dan Efisiensi motor induksi tiga fasa pada dunia industri.

Dari hasil pengujian jatuh tegangan motor induksi tiga fasa rotor belitan pada pada kondisi berbeban di dapat seperti Tabel 1.

Tabel 1. Data hasil pengujian penurunan tegangan terminal motor induksi tiga fasa rotor belitan pada kondisi berbeban.

$$I_f = 0,38 \text{ Ampere}$$

$$R_L = 100 \text{ Ohm}$$

V (volt)	I ₁ (Ampere)	I ₂ (Ampere)	n _r (rpm)	P _{in} (w)
360	4,81	1,05	1450	700
340	4,17	1,14	1450	650
320	3,62	1,44	1450	635
300	3,50	1,65	1450	630
280	3,24	2,44	1450	610
260	3,09	2,77	1400	200
240	2,91	4,12	1400	580
220	2,85	4,85	1390	550

Dari Tabel 1 terlihat putaran tertinggi diperoleh pada saat tegangan terminal 360 volt yaitu 1450 rpm dan putaran terendah diperoleh pada saat tegangan terminal 220 volt yaitu 1390 rpm.

Berdasarkan data-data yang diperoleh pada Tabel 1 maka dilakukan perhitungan untuk mendapatkan torsi dan efisiensi pada setiap tahap penurunan nilai tegangan terminal. Torsi dan efisiensi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$1. \text{ Torsi } T_e = \frac{3I_2^2 R_2 \times 60}{s \times 2\pi n_s}$$

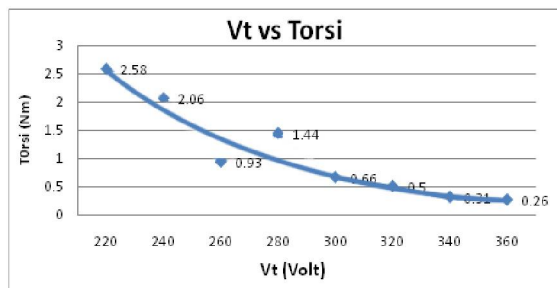
$$2. \text{ Efisiensi } \eta = \frac{P_{in} - (P_{SCL} + P_{RCL})}{P_{in}} \times 100$$

Setelah dilakukan perhitungan, maka diperoleh torsi, efisiensi dan putran motor dalam keadaan berbeban yang ditunjukkan pada Tabel 2.

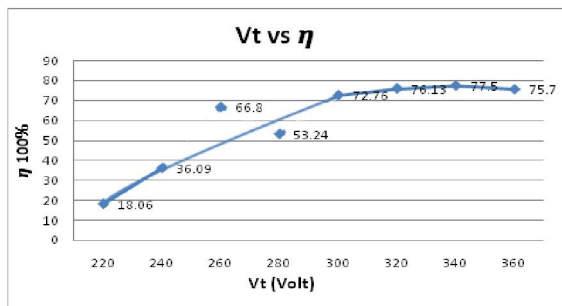
Tabel 2. Hasil analisis data penurunan tegangan terminal pada motor induksi yang berbeban .

V_t (volt)	I_1 (ampere)	I_2 (ampere)	n_r (rpm)	P_{in}	P_{out}	T (Nm)	η (%)
360	4,81	1,05	1450	700	530,07	0,26	75,7
340	4,17	1,14	1450	650	504,32	0,31	77,5
320	3,62	1,44	1450	635	483,47	0,50	76,13
300	3,50	1,65	1450	630	458,42	0,66	72,76
280	3,24	2,44	1450	610	324,82	1,44	53,24
260	3,9	2,77	1400	600	400,85	0,93	66,80
240	2,91	4,21	1400	580	209,13	2,06	36,09
220	2,85	4,85	1390	550	99,36	2,58	18,06

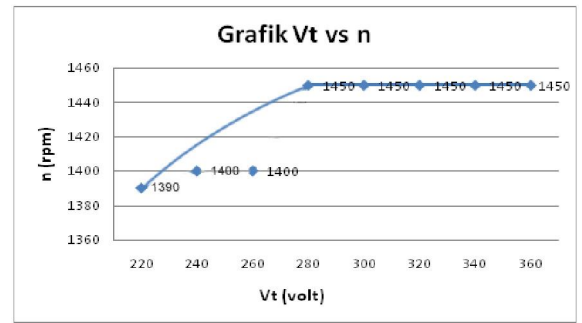
Dari Tabel 2 dapat dilihat bahwa penurunan torsi, efisiensi, dan putaran akan sebanding dengan penurunan nilai tegangan terminal (V_t) pada motor DC. Hubungan antara tegangan terminal dengan putaran dan tegangan terminal dengan torsi dapat dilihat masing-masing pada Gambar 6, 7 dan 8.



Gambar 6 Grafik tegangan terminal vs torsi motor



Gambar 7 Grafik tegangan terminal vs efisiensi motor induksi



Gambar 8 Grafik tegangan terminal vs putaran motor induksi

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis perhitungan yang dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Pada saat motor dibebani dengan beban yang konstan dan terjadi penurunan tegangan, torsi yang dihasilkan motor semakin besar, karena torsi adalah tenaga atau gaya yang dihasilkan oleh suatu motor yang digunakan untuk memikul beban, semakin besar torsi semakin berat mesin itu bekerja dengan beban yang konstan.
2. Pada hasil pengujian didapatkan bahwa ketika dibebanin dengan beban konstan putaran turun sedikit saja, tetapi arus semakin naik.
3. Efisiensi motor menjadi tidak stabil dikarenakan pengaruh jatuhnya tegangan pada sumber.

6. Referensi

- [1]. Prasetyo, Eko. 2009. “Analisis Pengaruh Jatuh Tegangan Jala-Jala Terhadap Unjuk Kerja Motor induksi Tiga Fasa Rotor Sangkar Tupai”. Medan : Repository USU.
- [2]. Khairi, Agung. 2013. “Analisis Pengaruh Jatuh Tegangan Terhadap Torsi Dan Putaran Pada Motor Arus Searah Penguatan Shunt”. Medan : Repository USU.
- [3]. Sumanto. 1991. *Mesin Arus Searah*. Yogyakarta: Andi Offset.
- [4]. Rijono, Yon. 1997. *Dasar Teknik Tenaga Listrik*. Yogyakarta: Andi.
- [5]. Wijaya, Mochtar. 2001. “Dasar-Dasar Mesin Listrik”. Jakarta : Djambatan.
- [6]. Zuhail. “Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya”, Penerbit Gramedia pustaka Utama, Jakarta, 2000.
- [7]. Gonen, Turan. 1986. *Electric Power Distribution System Engineering*. New York: McGraw-Hill, Inc.