

PENGHEMATAN ENERGI PADA MOTOR INDUKSI 3 FASA NEMA-D MELALUI PERUBAHAN FREKUENSI

Yaya Finayani¹ , Muhammad Alhan²

1. Teknik Elektro, Politeknik Pratama Mulia , Surakarta 57149, Indonesia

2. Teknik Elektro, Politeknik Pratama Mulia , Surakarta 57149, Indonesia

ABSTRACT

NEMA-D induction motor is an induction motor with high slip that has a high starting torque and low starting currents, this study simulates the characteristics of model induction motor NEMA-D by changing the operating frequency and calculate the input power with the change in operating frequency at rated load 20% and 50% for energy savings. The results show the smaller increase in the frequency of work resulted in a maximum torque while the motor speed is decreased to a decrease in the frequency of 80, 70, 60, 50Hz there is an increase of 162 Nm of torque, 186, 217, 260 Nm. Expenses 20% by changing the frequency of 80, 70, 60, 50Hz at 460V input voltage decrease of input power are 112684, 99684, 86684 , 73684 W, and load of 50% decline in the power of 21670 W, 205790 W, 184210 and 162500 W, by changing the working frequency will be obtained on the induction motor to load energy savings of 20% and 50% gained energy savings and reduction in velocity, respectively 34.6% and 33.4%.

Keyword: frequency variable, three-phase induction motors, NEMA D, energy saving, characteristics

1. PENDAHULUAN

Motor listrik tiga fasa, yang dikenal dengan motor induksi, banyak digunakan di industri untuk mengendalikan kecepatan putaran pada mesin-mesin produksi. Motor induksi ini lebih banyak dipakai dibandingkan motor listrik arus searah, karena

motor induksi lebih ekonomis dan handal dalam pengoperasiannya meskipun ditinjau dari aspek pengendaliannya relative kompleks.

Motor induksi telah distandardisasi menurut karakteristik torsiya yaitu disain A, B,C, D atau F dari

NEMA (*National Electrical Manufactures Association*) (Yaya dkk, 2011). Motor induksi merupakan salah satu peralatan listrik yang sangat dibutuhkan dan selalu dijaga agar efisiensi motor induksi selalu baik. Dengan efisiensi yang baik pada motor induksi merupakan salah satu parameter terjadinya penghematan energi (Antonius,..). Penghematan energi pada motor induksi 3 fasa NEMA-D dapat dilakukan dengan melakukan perubahan tegangan kerja (Yaya dkk, 2011) semakin rendah tegangan kerja maka diperoleh penghematan energinya semakin besar, terjadi penurunan daya paling besar pada kondisi torsi maksimal pada nilai slip = 70%. Pada percobaan tegangan kerja 380V dengan beban 10%-60% terjadi penurunan kecepatan sebesar 183 ppd sampai 154 ppd, serta mengakibatkan kenaikan efisiensi sebesar 3% sampai 18% dan mendapatkan kenaikan daya keluaran naik mencapai 2,5KW.

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan pengamatan terhadap karakteristik motor induksi 3 fasa NEMA-D dengan mengubah frekuensi kerja dengan menggunakan program Matlab, serta melakukan perhitungan daya input akibat perubahan frekuensi kerja pada beberapa kondisi

beban untuk melakukan penghematan energi.

2. BAHAN DAN METODE

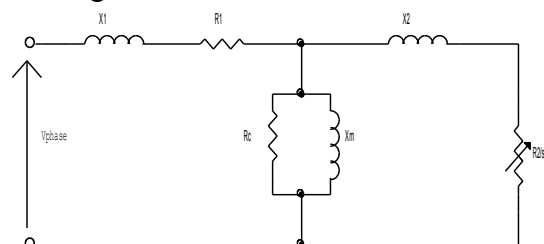
Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Software Matlab 7.04 dan model matematis rangkaian motor induksi 3 fase (Yaya dkk, 2011)

Metode penelitian meliputi:

- Pemodelan matematis motor induksi 3 fase (Yaya dkk, 2011)
- Simulasi model karakteristik motor induksi 3 fase dengan mengubah frekuensi kerja
- Perhitungan daya masukan dengan adanya perubahan frekuensi kerja pada kondisi beban 20% dan 50%.

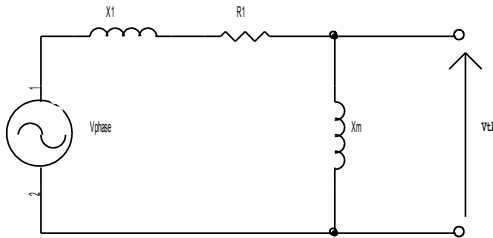
Model Matematis Motor Induksi 3 fase

Rangkaian Motor induksi 3 fasa:



Gambar 1. Rangkaian Motor Induksi 3 Fase

Untuk memperoleh model matematis dari motor induksi 3 fase rangkaian Gambar.1 diubah ke rangkaian pengganti Thevenin adalah:



Gambar 2. Rangkaian Thevenin Motor Induksi

Perhitungan untuk memperoleh model matematis dari motor induksi 3 fase adalah sebagai berikut:

$$V_{th} = \frac{j \cdot X_m}{(R_1 + j(X_m + X_1))} \times V_{phase}$$

$$Z_{th} = \frac{jX_m (R_1 + jX_1)}{(R_1) + j(X_m + X_1 \cdot R_c)}$$

$$s_{max} = \frac{R_2'}{\sqrt{(R_{th})^2 + (X_{th} + X_2)^2}}$$

$$T_{max} = \frac{3V_{th}^2}{2\omega_{sync} [R_{th} + \sqrt{(R_{th})^2 + (X_{th} + X_2)^2}]}$$

Persamaan untuk torsi motor:

$$T = \frac{3}{\omega_{sync}} \frac{(R_2)}{s} \frac{(V_{th})^2}{(R_{th} + \frac{R_2}{s})^2 + (X_{th} + X_2)^2}$$

Persamaan daya (P):

$$P = T \cdot \omega$$

dengan T = torsi , $\omega = (\omega_{sync} - \omega)$

Karakteristik Motor Induksi 3 Fase

Pembuatan program dengan Matlab untuk memperoleh model karakteristik motor induksi 3 fase (Yaya dkk, 2011) digunakan besaran-besaran pada motor induksi sebagai berikut:

$r_1 = 0.5$; $x_1 = 0.75$; $r_2 = 1.2$; $x_2 = 1.12$; $x_m = 16.8$; $n_{sync} = 1800$; $\omega_{sync} = 188.4$;

dengan,

r_1, r_2 = resistansi stator,

x_1, x_2 = reaktansi stator

n_{sync} = kecepatan sikron ($2\pi f / p$, p = jumlah kutub), jumlah kutub diasumsikan 4.

ω_{sync} = kecepatan sikron ($2\pi n_{sync} / 60$)

Model karakteristik motor induksi 3 fase yang akan disimulasikan menggunakan program Matlab pada perubahan frekuensi kerja 50, 60, 70, 80 Hz.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk membuat simulasi model karakteristik motor induksi 3 fase NEMA D digunakan program Matlab 7.04 dengan *list* program sebagai berikut:

```

% PROGRAM KARAKTERISTIK
MOTOR INDUKSI 3 PHASA NEMA D
% DENGAN MENGUBAH FREKUENSI
PADA KEADAAN 50HZ, 60 HZ, 70 HZ
DAN 80 HZ
% Memplot kurva torsi - slip dari motor
induksi NEMA D
% Memplot kurva torsi - speed dari
sebuah motor induksi
% Melakukan perubahan frekuensi 60
hz, 70 hz dan 80 hz
clc;
r1 = 0.5; % nilai hambatan stator
( ohm)
x1 = 0.75; % nilai reaktansi stator(ohm)
r2 = 1.2; % nilai hambatan rotor dalam
ohm( dibuat lebih besar karena type D)
x2 = 1.12; % nilai reaktansi rotor( ohm)
xm=16.8;% reaktansi rangkaian
pe3nguat
v1 = 460/ sqrt(3);% Tegangan Phase
Netral V1
n_sync = 1500; % Kecepatan sinkron
(120.f/4)50Hz
n_sync1 = 1800; % kecepatan sinkron
(f= 60 Hz)
n_sync2 = 2100; % kecepatan sinkron
(f= 70 Hz)
n_sync3 = 2400; % kecepatan sinkron
(f= 80 Hz)
w_sync = 157; % Kecepatan sikron
(rad/s)(f=50Hz)
w_sync1 = 188.4 ; % Kecepatan
sinkron (f= 60Hz)
w_sync2 = 219.8 ; % Kecepatan sinkron
(f= 70Hz)
w_sync3 = 251.2 ; % Kecepatan sinkron
(f= 80Hz)
%menghitung tegangan Thevenin dan
impedansinya
v_th = v1 * ( xm /sqrt( r1*2 + (x1 +
xm)^2) );
z_th = ((j*xm)*(r1+j*x1))/
(r1+j*(x1+xm));
r_th = real (z_th);
x_th = imag (z_th);

```

```

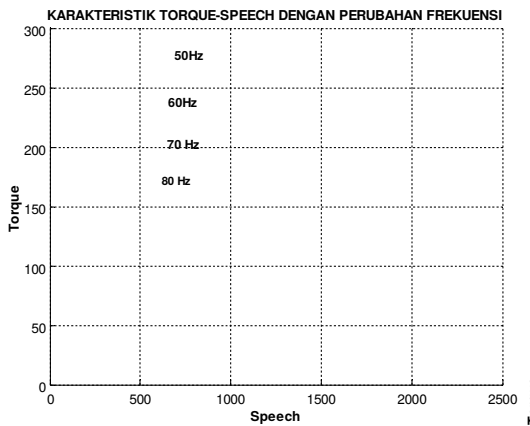
%menghitung torsi maksimal untuk
frekuensi 60hz, 70 hz, 80 hz
Tmax= (3*v_th^2)/
(2*w_sync*(r_th+sqrt(r_th^2+
(x_th+x2)^2)));;% Tmax untuk f= 50hz
Tmax1= (3*v_th^2)/
(2*w_sync1*(r_th+sqrt(r_th^2+
(x_th+x2)^2)));;% Tmax untuk f= 60hz
Tmax2= (3*v_th^2)/
(2*w_sync2*(r_th+sqrt(r_th^2+
(x_th+x2)^2)));;% Tmax untuk f= 70hz
Tmax3= (3*v_th^2)/
(2*w_sync3*(r_th+sqrt(r_th^2+
(x_th+x2)^2)));;% Tmax untuk f= 80hz
%Menghitung TORQUE dengan slip
bervariasi antara
%0 dan 1 dengan nilai slip pertama
diatur pada 0.001
%untuk menghindari pembagian dengan
nol
s = (0:1:50)/50; % slip
s(1)= 0.001; % menghindari
pembagian dengan nol
nm = (1-s)*n_sync; % Kecepatan
mekanik
nm1 = (1-s)*n_sync1;
nm2 = (1-s)*n_sync2;
nm3 = (1-s)*n_sync3;
%menghitung torsi
for ii= 1:51
t_ind(ii)=(3*v_th^2*(r2+0.1)/s(ii))/
(w_sync*((r_th+(r2+0.1)/s(ii))^2+
(x_th+x2)^2));
t_ind2(ii)=(3*v_th^2*(r2+0.1)/s(ii))/
(w_sync1*((r_th+(r2+0.1)/s(ii))^2+
(x_th+x2)^2));
t_ind3(ii)=(3*v_th^2*(r2+0.1)/s(ii))/
(w_sync2*((r_th+(r2+0.1)/s(ii))^2+
(x_th+x2)^2));
t_ind4(ii)=(3*v_th^2*(r2+0.1)/s(ii))/
(w_sync3*((r_th+(r2+0.1)/s(ii))^2+
(x_th+x2)^2));
end
figure;hold on
plot (nm,t_ind,'color','r','linewidth',2.0);

```

```

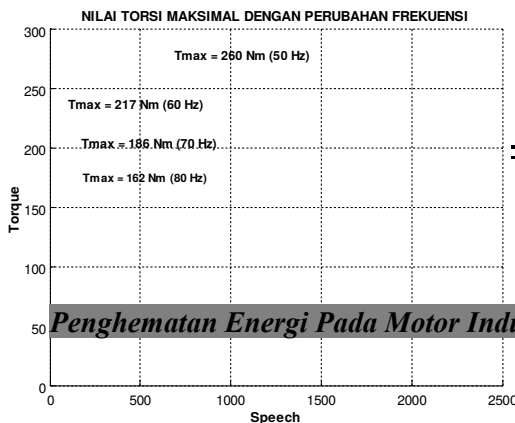
plot
(nm1,t_ind2,'color','k','linewidth',2.0);
plot
(nm2,t_ind3,'color','m','linewidth',2.0);
plot
(nm3
,t_ind4,'color','g','linewidth',2.0);
xlabel ('Speech','fontweight','Bold');
ylabel ('Torque','fontweight','Bold');
title ('KARAKTERISTIK TORQUE-
SPEECH DENGAN PERUBAHAN
FREKUENSI','fontweight','Bold');
grid on;
hold off;
    
```

Hasil program Matlab:



Gambar 3. Karakteristik Torque-Speech

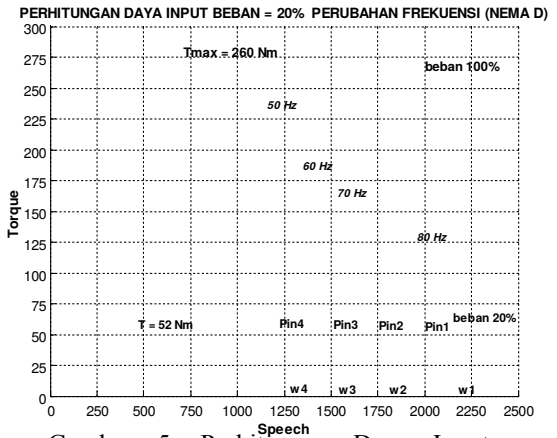
Gambar 3 memperlihatkan dengan frekuensi kerja 80, 70, 60, 50 Hz terjadi kenaikan torsi maksimal pada nilai yang diperlihatkan Gambar 4 di bawah ini:



Gambar 4. Torsi Maksimal
 Kenaikan torsi maksimal dari perubahan frekuensi 80, 70, 60, 50Hz sebesar 162, 186, 217, 260 Nm, semakin kecil frekuensi kerja torsi yang dihasilkan semakin besar.

Sedangkan perhitungan daya input pada kondisi beban 20% dan 50% dengan perubahan frekuensi sebagai berikut:

BEBAN = 20%



Gambar 5. Perhitungan Daya Input Beban 20%

Dari Gambar 5 perhitungan daya input pada beban 20% sebagai berikut:

Tabel 1. Perhitungan Daya Input

Fr ekuensi	Kec epatan	T orsi	Daya Input
---------------	---------------	-----------	---------------

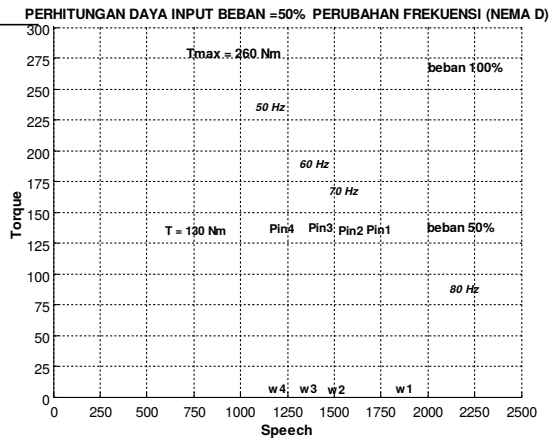
80	216	5	11268	60	141	1	184210
Hz	7 ppd	2 Nm	4 W	Hz	7 ppd	30 Nm	W
70	191	5	99684	50	125	1	162500
Hz	7 ppd	2 Nm	W	Hz	0 ppd	30 Nm	W
60	166	5	86684				
Hz	7 ppd	2 Nm	W				
50	147	5	73684				
Hz	17 pp	2 Nm	W				

Tabell. Menunjukkan perhitungan daya masukan terhadap perubahan frekuensi pada nilai torsi konstan 52 Nm dan tegangan masukan konstan 460 V, diperoleh penurunan daya input sebesar 112684, 99684, 86684, 73684 W sedangkan terjadi penurunan kecepatan. Selanjutnya akan dianalisis pengamatan saat beban 55 % , dilakukan pengamatan pada beban ini salah satu kurva berada pada titik torsi maksimalnya sehingga dapat diamati penghematan energi pada saat torsi maksimal.

Beban = 50%, diperoleh perhitungan daya masukan diperlihatkan Tabel 2 dan Gambar 6 di bawah ini:

Tabel 2. Perhitungan Daya Input Beban = 50%.

Frekuensi	Kecepatan	Torsi	T Input	Daya
80 Hz	7 ppd	166	1 30 Nm	216710 W
70 Hz	3 ppd	158	1 30 Nm	205790 W



Gambar 6. Perhitungan Daya Input Beban 50%

Dari Tabel 1 dan Tabel 2 dibuat grafik hubungan perubahan frekuensi dengan daya input:

```

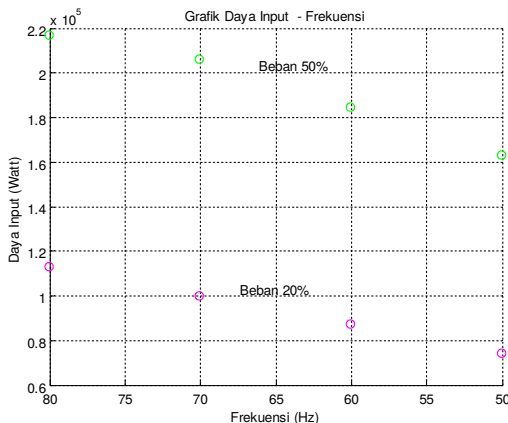
Program Matlab
%PROGRAM PEMBUATAN GRAFIK
HUBUNGAN DAYA INPUT DENGAN
PERUBAHAN FREKUENSI
% PADA KONDISI BEBERAPA NILAI
BEBAN 20% DAN 50 %
f = [80 70 60 50]; % perubahan
frekuensi
pin = [112684 99684 86684 73684 ];%
daya input akibat perubahan frekuensi,
beban 20%
f1 = [80 70 60 50]; % perubahan
frekuensi
    
```

```

pin1 = [216710 205790 184210
162500];% daya input akibat perubahan
frekuensi, beban 50%
figure;hold on
plot (f,pin,'m-o');
plot (f1,pin1,'g-o');
set(gca,'Xdir','reverse');
title ('Grafik Daya Input - Frekuensi');
xlabel('Frekuensi (Hz)');ylabel('Daya
Input (Watt) ');
legend('Beban 20%', 'Beban 50%');
grid on
hold off

```

Hasil program:



Gambar 7. Grafik Daya Input - Frekuensi

Gambar 7 memperlihatkan pada beban 20% dan 50% terjadi penurunan daya input akibat penurunan frekuensi kerja pada tegangan input konstan sebesar 460 V.

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian diperoleh kesimpulan sebagai berikut;

1. Semakin kecil frekuensi kerja mengakibatkan kenaikan

torsi maksimal sedangkan kecepatan motor menurun yaitu pada penurunan frekuensi 80, 70, 60, 50Hz terjadi kenaikan torsi sebesar 162, 186, 217, 260 Nm

2. Beban 20% dengan perubahan frekuensi 80, 70, 60, 50Hz pada tegangan input 460V terjadi penurunan daya input sebesar 112684 W, 99684 W, 86684 W, 73684 W sedangkan kecepatan turun sebesar 2167, 1917, 1667, 1415 ppd.
3. Beban 50% terjadi penurunan daya sebesar 21670 W, 205790 W, 184210 W dan 162500 W, sedangkan kecepatan menurun sebesar 1667, 1583, 1417, 1250 ppd.
4. Penghematan energy sebesar 34,6% terjadi pada beban 20%, sedangkan untuk beban 50% terjadi penghematan energy sebesar 33,4%.
5. Penurunan kecepatan sebesar 34,6% pada beban 20% , untuk beban 50% terjadi penurunan kecepatan 33,4%.
6. Penghematan energy berbanding lurus dengan penurunan kecepatan.

DAFTAR PUSTAKA

Finayani Y., Alhan M., "Analisis Karakteristik Motor

- Induksi 3 Fase NEMA D Untuk melakukan Penghematan Energi, 2011, Politeknosains, ISSN:1829-6181, Volume X Nomor 1 Maret 2011, Hal 108-120.
- Sutopo,B.,Wijaya.D.,Supari.,:2000, Algoritma Penghematan Energi pada Motor Induksi yang dikendalikan oleh Sistem Mikrokontroler 68HC11 dengan Menggunakan Pendekatan linier”, Teknik Elektro UGM Yogyakarta.
- Sutopo,B.,Wijaya.D.,Supari.,:2000, ”Perbaikan Faktor Daya Motor Induksi 3 Fase menggunakan Mikrokontroler 68HC11”, Teknik Elektro UGM Yogyakarta.
- Unsworck,P.J, 1988, ”Controller for Induction Motors”, United States Patent, Patent No.4,767,975.
- Vicent del Toro, 1972, ”Principles of Electrical Engineering” (Hal: 509)
- Sutopo,B.,1991, ”Energy Saving Algorithm on Thyristor Controlled Induction Motor”,M.Phil Thesis, University of Sussex, Brighton.