

Analisis Pengaruh Penempatan Dan Perubahan Kapasitor Terhadap Unjuk Kerja Motor Induksi 3-Fasa Bercatu 1-Fasa

Herry Purnomo

Abstrak – Motor induksi 3 fasa dalam beroperasi secara normal mendapat catu daya 3 fasa yang seimbang, pada keadaan tertentu motor induksi 3 fasa dapat dioperasikan dengan catu daya 1 fasa, yaitu dengan memodifikasi hubungan belitan stator dan penambahan kapasitor. Dalam membuat variasi hubungan belitan stator dan penempatan kapasitor dapat dilakukan dengan beberapa model antara lain: model belitan stator hubungan (D), model belitan stator hubungan (Y) dan model belitan stator hubungan (I). Dengan menggunakan pendekatan sebagai motor induksi 3 fasa dengan catu daya tak seimbang, model belitan stator hubungan D dan model belitan stator hubungan Y dapat diselesaikan dengan teori kerangka acuan (Reference Frame Theory), sedangkan belitan stator hubungan I dapat didekatkan dengan motor induksi 1 fasa kapasitor (motor induksi dua fasa tak simetris). Pengaruh penempatan dan perubahan nilai kapasitans kapasitor terhadap unjuk kerja motor induksi 3 fasa bercatu 1 fasa dianalisis dengan bantuan simulasi program simulink MatLab serta dilakukan validasi dengan pengujian laboratorium. Analisis pada motor induksi 3 fasa dengan daya 300 watt, untuk belitan stator hubungan D kapasitor yang dibutuhkan berkisar ($24 \mu\text{F}$ s/d $48 \mu\text{F}$), torsi start relatif besar dan nilainya dapat mencapai 50 % dari torsi beban nominalnya. Pada belitan stator hubungan Y kapasitor yang dibutuhkan berkisar ($10 \mu\text{F}$ s/d $16 \mu\text{F}$), torsi start relatif kecil sekitar 10 % dari torsi beban nominalnya. Pada belitan stator hubungan I, kapasitor yang dibutuhkan berkisar ($6 \mu\text{F}$ s/d $10 \mu\text{F}$), torsi start besarnya relatif kecil sekitar 20 % dari torsi beban nominalnya. Semakin besar kapasitans kapasitor yang digunakan maka akan berpengaruh pada karakteristik dinamik motor induksi, putaran rotor akan menurun, torsi start akan naik dan arus masukan naik. Dapat diketahui bahwa karakteristik putaran motor induksi 3 fasa bercatu 1 fasa merupakan gelombang pulsasi yang menyebabkan timbulnya getaran pada motor, selama beroperasi selalu timbul torsi urutan positif (torsi arah maju) dan torsi urutan negatif (torsi arah mundur), sedangkan karakteristik arus mempunyai gelombang berbentuk sinusoida teredam.

Kata kunci: motor induksi, kapasitor, unjuk kerja dinamik

I. PENDAHULUAN

Motor induksi tiga fasa dan satu fasa secara luas

Herry Purnomo adalah dosen Jurusan Teknik Elektro Univerrritas Brawijaya dengan alamat korespondensi Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya, Jl. MT. Haryono 167 Malang telp. 0341-665144

banyak digunakan sebagai motor penggerak mekanik peralatan rumah tangga, perkantoran, maupun industri. Motor induksi satu fasa khususnya digunakan sebagai penggerak peralatan mekanik yang berukuran kecil tetapi membutuhkan torsi awal (*starting torque*) yang besar, misalkan pompa, kompresor, *Air Conditioning*, bor listrik, gerinda dan sebagainya. Motor induksi tiga fasa yang dicatu dengan sumber tegangan tiga fasa, akan menghasilkan medan magnet putar, sedangkan medan magnet yang dihasilkan oleh motor induksi satu fasa posisinya tetap (*stationary*) dan merupakan medan magnet pulsasi. Selama tidak terdapat medan magnet putar, motor induksi satu fasa tidak dapat dijalankan (*starting*) tanpa adanya modifikasi, sebagaimana modifikasi yang dijumpai pada motor induksi satu fasa dengan fasa belah (*split-phase motor*) dan motor kapasitor (*capacitor motor*). Motor induksi tiga fasa dapat dioperasikan dengan catu daya satu fasa, sehingga berfungsi sebagai motor induksi satu fasa.

Motor kapasitor mempunyai dua belitan, yaitu belitan utama dan belitan bantu, kedua belitan tersebut berada dalam stator dan berbeda sudut 90 derajat elektrik, belitan bantu mempunyai perbandingan resistansi terhadap reaktansi yang lebih tinggi dibanding belitan utamanya.

Blaabjerg, Lungeanu (2002), menyatakan bahwa penggunaan kapasitor pada belitan bantu motor induksi satu fasa dengan kapasitor permanen memungkinkan diperoleh torsi awal dan efisiensi yang tinggi karena rendahnya torsi pulsasi dan rugi daya. Motor induksi tiga fasa mempunyai belitan stator (belitan jangkar) sebanyak tiga buah, dan masing-masing belitan mempunyai kedudukan berbeda 120 derajat elektrik dalam stator. Dengan mengubah hubungan belitan stator menjadi belitan utama dan belitan bantu serta penambahan kapasitor, maka motor induksi tiga fasa dapat beroperasi sebagai motor induksi satu fasa kapasitor.

Pengaruh variasi hubungan belitan dan penempatan kapasitor serta perubahan besar nilai kapasitans kapasitor terhadap unjuk kerja motor induksi akan diteliti, dengan harapan dapat diketahui unjuk kerja dinamik motor induksi tiga fasa bercatu daya satu fasa.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penempatan dan perubahan besar nilai kapasitans kapasitor terhadap unjuk kerja motor induksi

3 fasa dengan satu daya 1 fasa, yang meliputi karakteristik putaran, torsi dan arus.

II. PEMODELAN DAN HASIL SIMULASI

Simulasi keadaan dinamik motor induksi tiga fasa bercatu daya satu fasa dilakukan dengan menggunakan program *Simulink*, Matlab versi 6.5 yang merupakan program berorientasi pada blok yang berfungsi untuk mensimulasikan keadaan dinamik suatu sistem. Didalam *simulink* terdapat dua bagian utama yaitu blok dan garis, blok digunakan untuk membuat, memodifikasi serta menggabungkan *output* ataupun signal, sedangkan garis berfungsi untuk memindahkan signal dari blok satu ke blok lainnya.

Prinsip kerja dari perangkat lunak *Simulink* ini ialah penggabungan blok yang didasarkan pada persamaan matematik dari suatu sistem yang akan digambarkan respon sistemnya. Dalam perangkat lunak *Simulink* telah tersedia berbagai macam blok. Dalam simulasi dirancang tiga model penempatan kapasitor yang akan mewakili beroperasinya motor induksi tiga fasa bercatu daya satu fasa sebagai berikut:

• **Belitan Stator Hubungan D**

Tiga belitan stator disambungkan dengan hubungan delta, sumber tegangan 1 fasa dipasangkan pada ujung-ujung salah satu belitan dan sebuah kapasitor dipasangkan paralel pada ujung-ujung salah satu belitan yang lain.

• **Belitan Stator Hubungan Y**

Tiga belitan stator disambungkan dengan hubungan bintang, sumber tegangan 1 fasa dihubungkan pada ujung-ujung 2 belitan dari ke 3 belitannya, sebuah kapasitor dihubungkan pada salah satu ujung-ujung 2 belitan yang lain.

• **Belitan Stator Hubungan I**

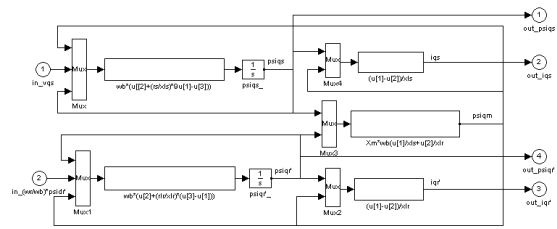
Belitan disusun dengan menghubungkan secara seri 2 belitan stator dari 3 belitan yang ada, kemudian diparalelkan dengan hubungan seri antara sebuah kapasitor dengan satu belitan yang tersisa, sumber tegangan 1 fasa dipasangkan pada ujung-ujung rangkaian paralel.

A. Model Blok Simulasi

Model blok simulasi motor induksi tiga fasa dengan rotor sangkar secara garis besar terdiri beberapa macam blok, yaitu: blok q-aksis, blok d-aksis, urutan nol, blok rotor, blok transformasi tegangan dan blok transformasi arus.

• **Model Blok Q-aksis**

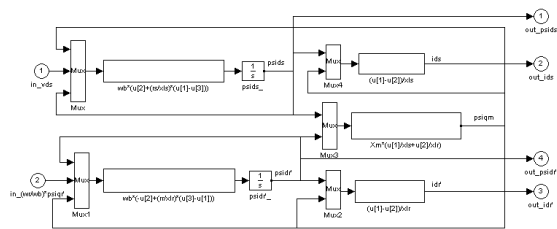
Model blok q-aksis pada Gambar 4.1 merupakan tampilan dari persamaan matematik motor induksi keadaan dinamik, yaitu persamaan medan magnet dan arus sumbu q-aksis yang tertera pada persamaan no. (2-7) dan (2-8)



Gambar 4.1 Model Blok Q-Aksis

• **Model Blok D-aksis**

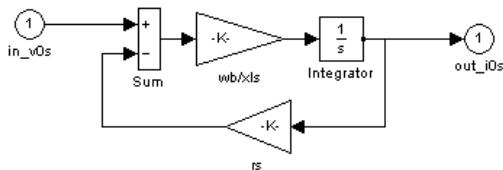
Model blok d-aksis pada Gambar 4.2 merupakan tampilan dari persamaan matematik motor induksi keadaan dinamik, yaitu persamaan medan magnet dan arus sumbu d-aksis yang tertera pada persamaan no. (2-7) dan(2-8)



Gambar 4.2 Model Blok D-Aksis

• **Model Blok Urutan Nol**

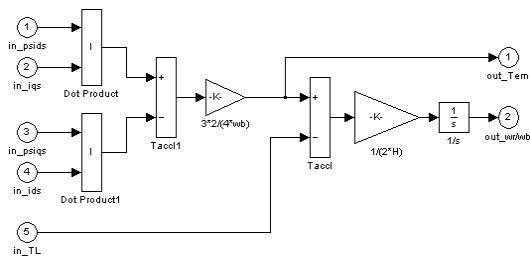
Model Blok urutan nol pada Gambar 4.3 merupakan tampilan dari persamaan motor induksi keadaan dinamik, yaitu persamaan medan magnet dan arus urutan nol yang tertera pada persamaan no. (2-8)



Gambar 4.3 Model Blok Urutan Nol

• **Model Blok Rotor**

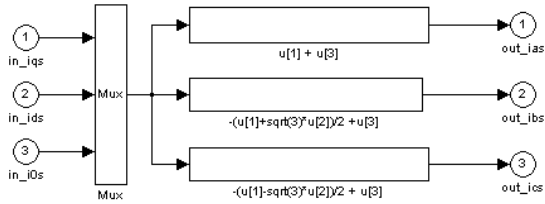
Model blok rotor pada gambar 4.4 merupakan tampilan dari persamaan matematik motor induksi keadaan dinamik, yaitu persamaan torsi dan putaran yang tertera pada persamaan no.(2-9) dan persamaan no.(2-10).



Gambar 4.4 Model Blok Rotor

• **Model Blok Transformasi Arus (qd0s) ke Arus (abc)**

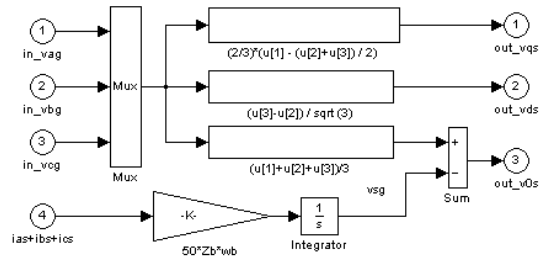
Model blok transformasi arus (qd0s) ke (abcs) gambar 4.5 merupakan tampilan dari persamaan matematik motor induksi keadaan dinamik, yaitu persamaan transformasi arus dari sumbu (qd0) ke Sumbu (abc) pada belitan stator yang tertera pada persamaan no (2-12).



Gambar 4.5 Model Blok Transformasi Arus(qd0s) ke (abcs)

- **Model Blok Transformasi Tegangan (abcs) ke (qd0s)**

Model blok transformasi tegangan (abcs) ke (qd0s) gambar 4.6 merupakan tampilan dari persamaan matematik motor induksi keadaan dinamik, yaitu persamaan transformasi tegangan sumbu (abc) ke sumbu (qd0) pada belitan stator yang tertera pada persamaan no (2-16).

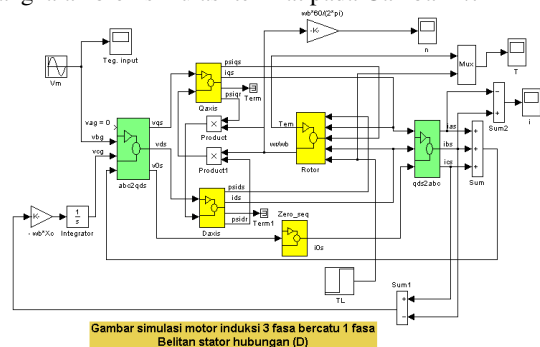


Gambar 4.6 Model Blok Transformasi Tegangan (abcs) ke (qd0s)

B. Model Blok Motor Induksi 3 Fasa Bercatu 1 Fasa

- **Belitan Stator Hubungan D**

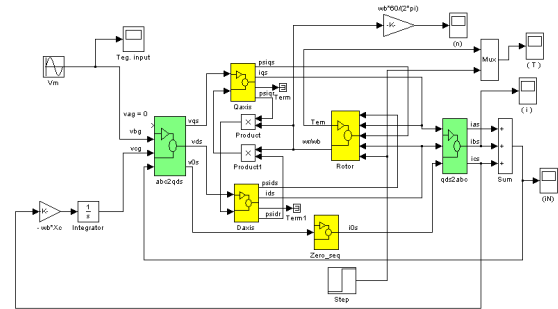
Dengan menggunakan blok d-aksis, blok q-aksis, dan blok rotor serta model persamaan matematik tegangan dan arus pada belitan stator hubungan D, pada persamaan (2-7), (2-8) dan (2-9) maka dapat disusun rangkaian blok simulasi terlihat pada Gambar 4.7



Gambar 4.7 Rangkaian Simulasi Motor Induksi 3 Fasa Bercatu 1 Fasa, Hubungan D

- **Belitan Stator Hubungan Y**

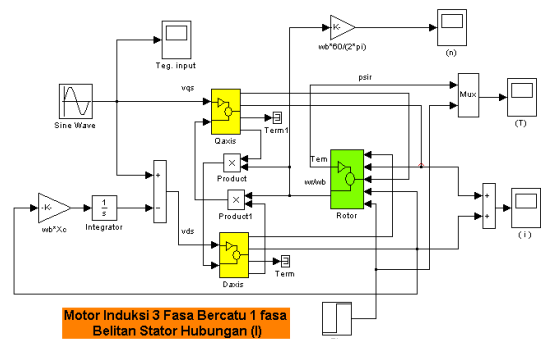
Dengan menggunakan blok d-aksis, blok q-aksis, blok urutan nol, blok rotor, blok transformasi tegangan dan arus serta model persamaan matematik tegangan, arus belitan stator hubungan Y, pada persamaan (2-16) dan (2-17) maka dapat disusun rangkaian blok simulasi terlihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Rangkaian Simulasi Motor Induksi 3 Fasa Bercatu 1 Fasa, Hubungan Y

- **Belitan Stator Hubungan I**

Belitan stator merupakan hubungan seri dari dua buah belitan stator 3 fasa yang merupakan belitan utama dan salah satu belitan sebagai belitan bantu yang dihubungkan seri dengan kapasitor seperti pada motor kapasitor. Belitan stator hubungan I dapat dianalogikan sebagai motor induksi dengan dua belitan tak simetris, sehingga dalam menganalisis dapat diselesaikan dengan teori kerangka acuan. Dalam membuat blok simulasi digunakan blok d-aksis, blok q-aksis dan blok rotor, terjadi perbedaan pada besar parameter yang digunakan karena model matematiknya yang berbeda. Dengan menggunakan persamaan no (2-18) s/d persamaan (2-24), maka dapat disusun rangkaian blok simulasi terlihat pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Rangkaian Simulasi Motor Induksi 3 Fasa Bercatu 1 Fasa, Hubungan I

C. Hasil Simulasi Motor Induksi 3 Fasa Bercatu 1 Fasa

Data motor induksi tiga fasa yang akan diteliti sebagai berikut:

- Daya = 300 Watt
- Frekuensi = 50 Hz
- Hubungan = Δ / Y

Tegangan = 220 / 380 V
 Arus = 1,47 / 0,85 A
 Cos ϕ = 0,84
 Putaran = 2800 rpm

1) Belitan Stator Hubungan D

Dari hasil pengujian parameter motor induksi tiga fasa, penentuan besarnya momen inersia diperoleh parameter motor induksi sebagai berikut:

$$r_s = 37.50 \Omega$$

$$x_{Ls} = 23.26 \Omega$$

$$r_r' = 31.50 \Omega$$

$$x_{Lr}' = 23.26 \Omega$$

$$x_m = 442.04 \Omega$$

$$X_M = 11,33 \Omega$$

$$H = 0.229 \text{ sec}$$

Hasil perhitungan dengan pendekatan ketidak seimbangan tegangan minimum, diperoleh reaktansi kapasitif kapasitor yang dibutuhkan

($X_C = 133,092 \text{ ohm}$ atau $C = 23,91 \mu \text{F}$).

Simulasi dilakukan dengan menggunakan kapasitor dibuat variabel pada keadaan tanpa beban, maka diperoleh kondisi operasi motor induksi 3 fasa bercatu 1 fasa yang diperlihatkan pada tabel 4-1.

TABEL 4-1 KONDISI OPERASI DENGAN BELITAN STATOR HUBUNGAN D

X_C (ohm)	C (μF)	I_{st} (A)	I_m (A)	n (rpm)	T_t (det.)
60	53.05	4.10	2.00	2920	1.40
90	35.36	4.10	1.50	2935	1.30
120	26.52	4.10	1.05	2958	1.20
140	23.57	4.10	0.85	2965	1.15
150	21.20	4.10	0.65	2970	1.10

Keterangan :

X_C - reaktansi kapasitif kapasitor

C - kapasitans kapasitor

I_{st} - arus start

I_m - arus keadaan mantap (maksimum)

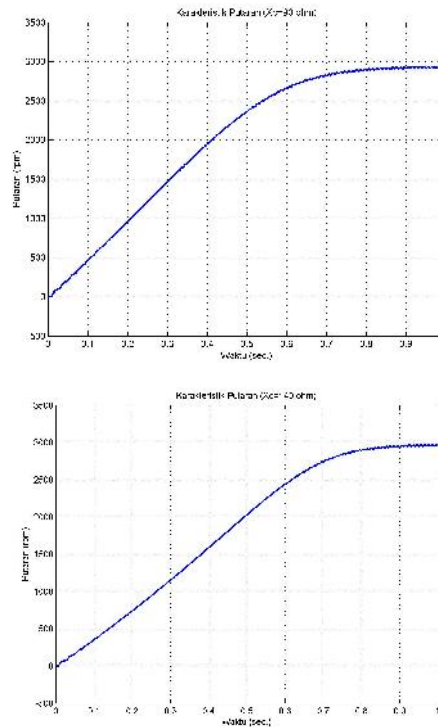
n - putaran rotor

T_t - waktu peralihan

Perubahan nilai kapasitor pada simulasi dilakukan dengan reaktansi kapasitif antara 60 ohm s/d 150 ohm.

• Karakteristik Putaran

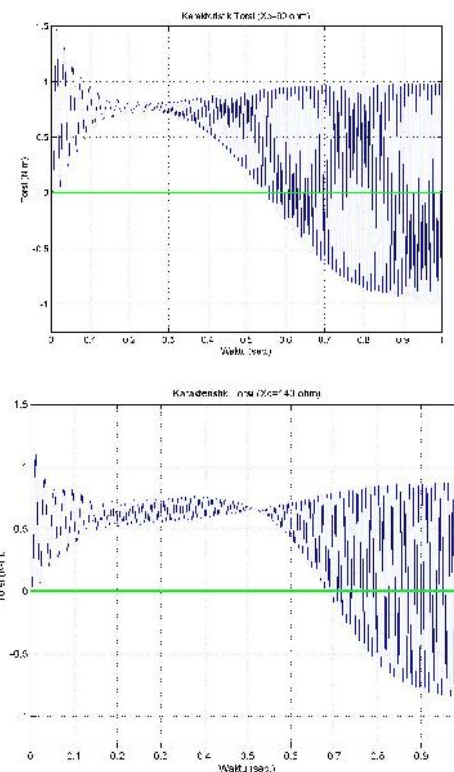
Hasil simulasi karakteristik putaran terhadap waktu dengan nilai reaktansi kapasitif $X_C = 90 \text{ ohm}$, 140 ohm terlihat pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Karakteristik Putaran
($X_C = 90$ dan 140 ohm)

• Karakteristik Torsi

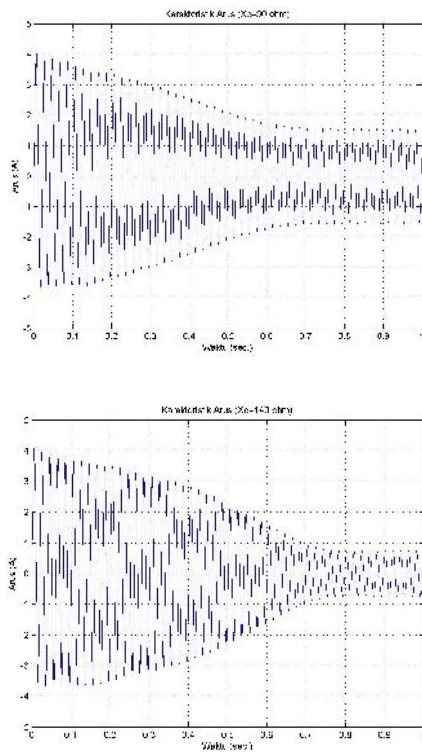
Hasil simulasi karakteristik torsi terhadap waktu dengan nilai reaktansi kapasitif $X_C = 90 \text{ ohm}$, 140 ohm diperlihatkan pada Gambar 4.11.



Gambar 4.11 Karakteristik Torsi
($X_C = 90$ dan 140 ohm)

- **Karakteristik Arus**

Hasil simulasi karakteristik arus terhadap waktu dengan nilai reaktansi kapasitif $X_c = 90$ ohm, 140 ohm diperlihatkan pada Gambar 4.12.



Gambar 4.12 Karakteristik Arus ($X_c = 90$ dan 140 ohm)

2) Belitan Stator Hubungan Y

Dari hasil pengujian parameter motor induksi tiga fasa, penentuan besarnya momen inersia diperoleh parameter motor induksi sebagai berikut:

$$r_r' = 31.50 \Omega$$

$$x_{Lr}' = 23.26 \Omega$$

$$x_m = 442.04 \Omega$$

$$r_s = 37.50 \Omega$$

$$x_{Ls} = 23.26 \Omega$$

$$X_M = 11,33 \Omega$$

$$H = 0.229 \text{ sec}$$

Hasil perhitungan dengan pendekatan ketidakseimbangan tegangan minimum, reaktansi kapasitif kapasitor yang dibutuhkan ($X_c = 216,58$ ohm atau $C = 14,70 \mu F$), Simulasi dilakukan dengan menggunakan kapasitor dibuat variabel pada keadaan tanpa beban, maka diperoleh kondisi operasi motor induksi 3 fasa bercatu 1 fasa yang diperlihatkan pada tabel 4-2.

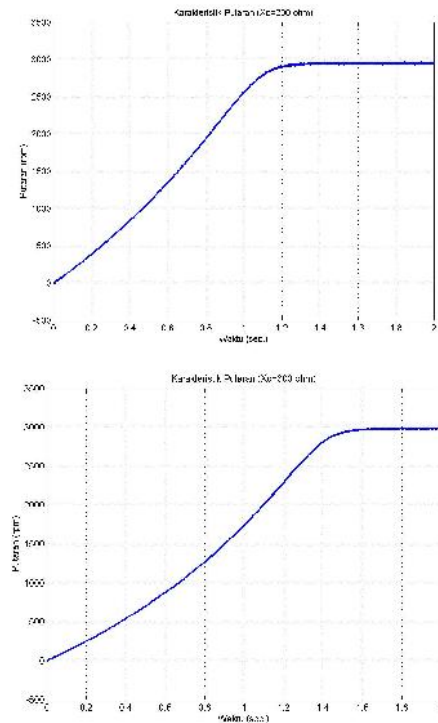
TABEL 4-2 KONDISI OPERASI DENGAN BELITAN STATOR HUBUNGAN Y

X_c (ohm)	C (μF)	I_{st} (A)	I_m (A)	n (rpm)	T_t (det.)
200	15.92	2.30	1.35	2940	1.40
250	12.73	2.30	0.88	2965	1.60
300	10.60	2.30	0.60	2980	1.75
350	9.09	2.30	0.40	2988	1.90
400	7.95	2.30	0.35	2990	2.10

Perubahan nilai kapasitor pada simulasi dilakukan dengan reaktansi kapasitif antara 200 ohm s/d 400 ohm.

- **Karakteristik Putaran**

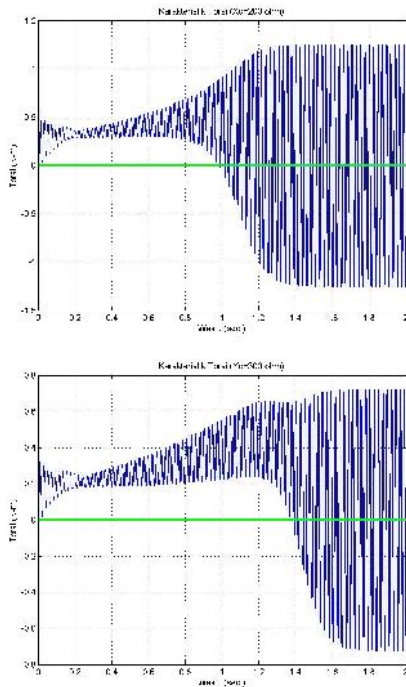
Hasil simulasi karakteristik putaran terhadap waktu dengan nilai reaktansi kapasitif $X_c = 200$ ohm dan 300 ohm diperlihatkan pada Gambar 4.13.



Gambar 4.13 Karakteristik Putaran ($X_c = 200$ ohm dan 300 ohm)

- **Karakteristik Torsi**

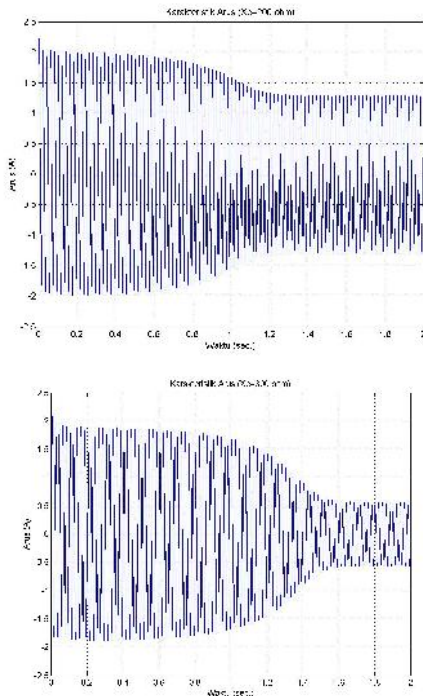
Hasil simulasi karakteristik torsi terhadap waktu dengan nilai reaktansi kapasitif $X_c = 200$ ohm dan 300 ohm diperlihatkan pada Gambar 4.14.



Gambar 4.14 Karakteristik Torsi (Xc = 200 ohm dan 300 ohm)

• **Karakteristik Arus**

Hasil simulasi karakteristik arus terhadap waktu dengan nilai reaktansi kapasitif Xc = 200 ohm dan 300 ohm diperlihatkan pada Gambar 4.15



Gambar 4.15 Karakteristik Arus (Xc = 200 ohm dan 300 ohm)

3) *Belitan Stator Hubungan I*

Dari hasil pengujian parameter motor induksi 3 fasa, penentuan besarnya momen inersia, diperoleh parameter motor induksi sebagai berikut:

Parameter motor induksi untuk belitan Utama (*main winding*)

$$r_{1m} = 2 \cdot R_1 = 75 \Omega \quad x_{1m} = 2 \cdot X_1 = 46,50 \Omega$$

$$r_{2m} = 2 \cdot R_2 = 63 \Omega \quad x_{2m} = 2 \cdot X_2 = 46,50 \Omega$$

$$X_{Mm} = 2 \cdot X_m = 884,08 \Omega$$

$$X_{qm} = \left[\frac{1}{X_{Mm}} + \frac{1}{X_{1m}} + \frac{1}{X_{2m}} \right]^{-1}$$

$$X_{qm} = 22,65 \Omega$$

Parameter motor induksi untuk belitan Bantu (*auxilliary winding*)

$$r_{1a} = R_1 = 37,50 \Omega \quad x_{1a} = X_1 = 23,26 \Omega$$

$$r_{2a} = R_2 = 31,50 \Omega \quad x_{2a} = X_2 = 23,26 \Omega$$

$$X_{Ma} = X_m = 442,04 \Omega$$

$$X_{da} = \left[\frac{1}{X_{Ma}} + \frac{1}{X_{1a}} + \frac{1}{X_{2a}} \right]^{-1}$$

$$X_{da} = 11,33 \Omega$$

$$H = 0.229 \text{ sec}$$

Hasil perhitungan dengan pendekatan sebagai motor kapasitor maka diperoleh besarnya reaktansi kapasitif kapasitor minimum, yaitu pada saat awal jalan (*start*) dibutuhkan (X_C = 140,27 ohm) atau kapasitor (C = 22,70 μF). Simulasi dilakukan dengan menggunakan kapasitor dibuat variabel, pada keadaan tanpa beban maka diperoleh kondisi operasi motor induksi 3 fasa bercatu 1 fasa yang diperlihatkan pada tabel 4-3.

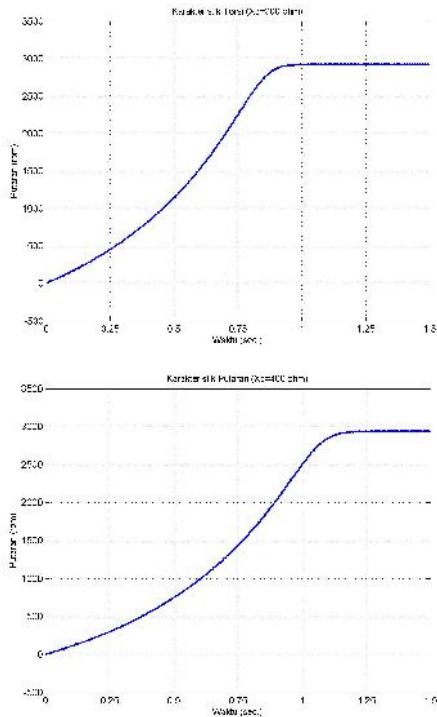
TABEL 4-3 KONDISI OPERASI DENGAN BELITAN STATOR HUBUNGAN I

X _C (ohm)	C (μF)	I _{st} (A)	I _m (A)	n (rpm)	T _l (det.)
250	12.73	2.80	2.10	2910	0.90
300	10.60	2.60	1.60	2925	1.00
350	9.09	2.50	1.25	2930	1.15
400	7.95	2.30	1.05	2935	1.25
450	7.07	2.00	0.85	2942	1.30
500	6.36	1.80	0.75	2950	1.40

Perubahan nilai kapasitor pada simulasi dilakukan dengan reaktansi kapasitif antara 250 ohm s/d 500 ohm.

• **Karakteristik Putaran**

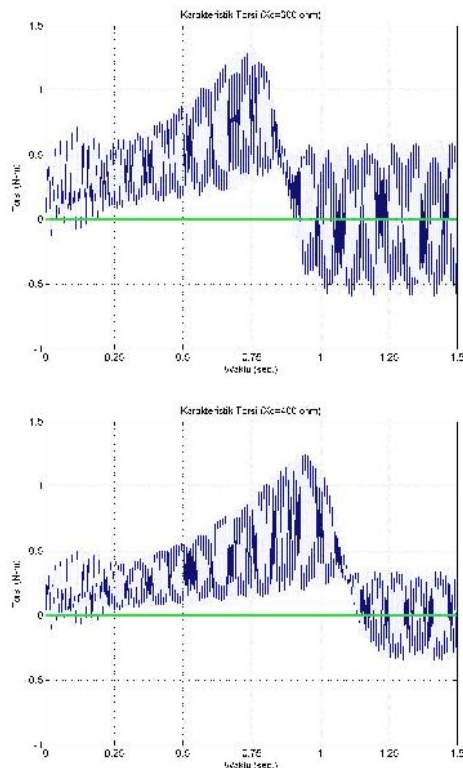
Hasil simulasi karakteristik putaran terhadap waktu dengan nilai reaktansi kapasitif Xc = 300 ohm dan 400 ohm diperlihatkan pada Gambar 4.16.



Gambar 4.16 Karakteristik Putaran (Xc = 300 ohm dan 400 ohm)

• **Karakteristik Torsi**

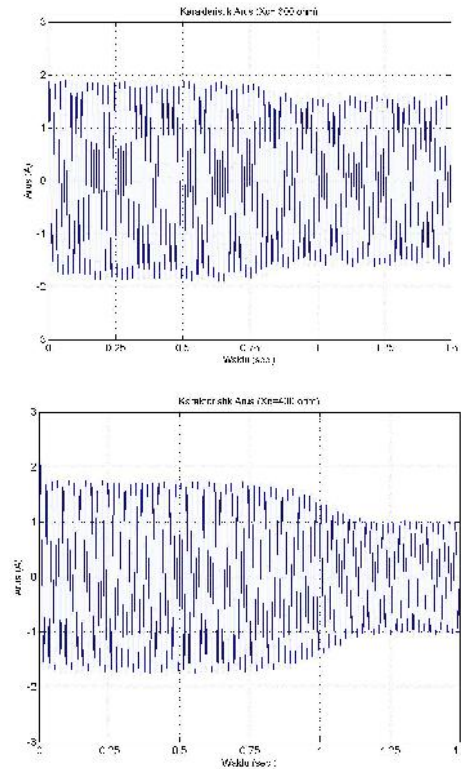
Hasil simulasi karakteristik torsi terhadap waktu dengan nilai reaktansi kapasitif Xc = 300 ohm dan 400 ohm diperlihatkan pada Gambar 4.17.



Gambar 4.17 Karakteristik Torsi (Xc = 300 ohm dan 400 ohm)

• **Karakteristik Arus**

Hasil simulasi karakteristik arus terhadap waktu dengan nilai reaktansi kapasitif Xc = 300 ohm dan 400 ohm diperlihatkan pada Gambar 4.18.



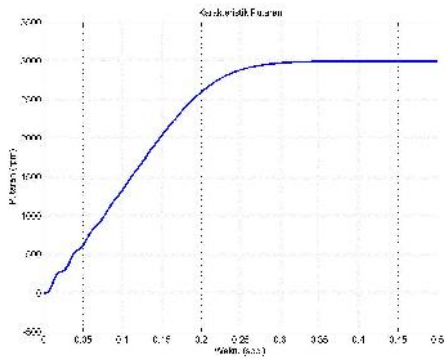
Gambar 4.18 Karakteristik Arus (Xc = 300 ohm dan 400 ohm)

D. Hasil Simulasi Motor Induksi 3 Fasa Bercatu Daya 3 Fasa

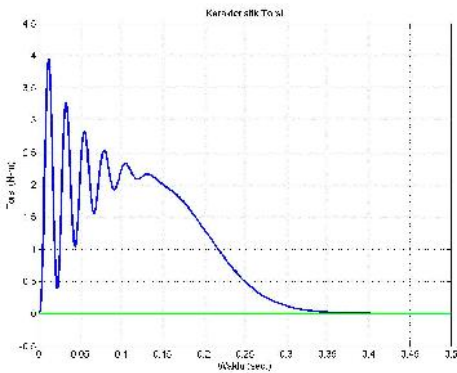
Motor induksi 3 fasa yang beroperasi secara normal dicatu dengan sumber tegangan 3 fasa yang seimbang, belitan stator 3 fasa dapat dihubungkan bintang maupun delta.

Karakteristik putaran terhadap waktu hasil simulasi keadaan tanpa beban diperlihatkan pada Gambar 4.19, dengan waktu start 0,30 detik.

Gambar 4.20 memperlihatkan karakteristik torsi terhadap waktu dalam keadaan tanpa beban.

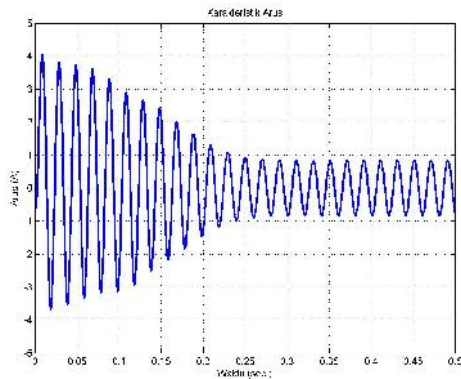


Gambar 4.19 Karakteristik Putaran Motor induksi 3 Fasa Bercatu 3 Fasa



Gambar 4.20 Karakteristik Torsi Motor induksi 3 Fasa Bercatu 3 Fasa

Hasil simulasi karakteristik arus terhadap waktu dalam keadaan tanpa beban terlihat pada Gambar 4.21.

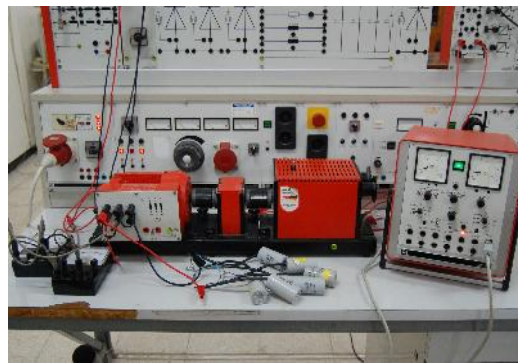


Gambar 4.21 Karakteristik Arus Motor induksi 3 Fasa Bercatu 3 Fasa (Hubungan Y)

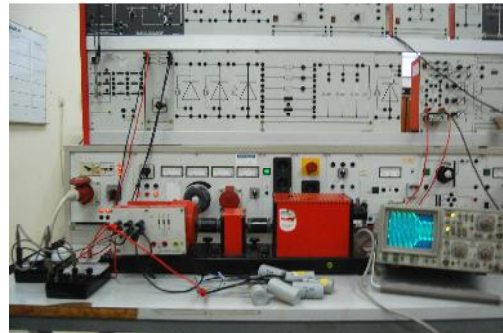
III. PENGUJIAN DAN ANALISIS

A. Pengujian Motor Induksi 3 Fasa Bercatu Daya 1 Fasa

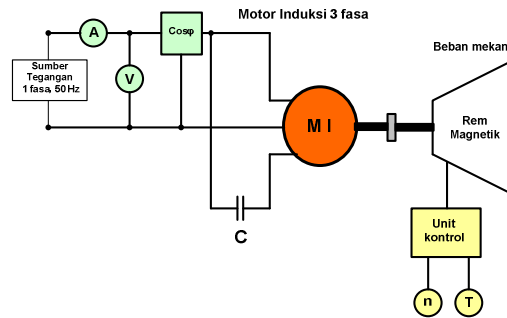
1) Belitan Stator Hubungan D



Gambar 5.1 Peralatan Pengujian Motor Induksi 3 Fasa Bercatu 1 Fasa



Gambar 5.2 Peralatan Pengujian Karakteristik Arus Motor Induksi 3 Fasa Bercatu 1 Fasa



Gambar 5.3 Rangkaian Pengujian Motor Induksi 3 Fasa Bercatu 1 Fasa

Pengujian Karakteristik motor induksi 3 fasa bercatu daya 1 fasa, terlihat pada Gambar 5.1, Gambar 5.2 dan Gambar 5.3

TABE 5.1 HASIL PENGUJIAN KARAKTERISTIK MOTOR INDUKSI, HUBUNGAN D

TEGANGAN INPUT : 220 V, FREKUENSI 50 HZ.

C (μF)	I _{st} (A)	I _{ss} (A)	n (rpm)	T _t (sec.)	Cos φ	T _L (N-m)
24	2,80	0,50	2960	1,20	0,99	0
	2,80	0,65	2860	1,80	0,99	0,30
	2,80	0,85	2825	2,38	0,99	0,40
	2,80	1,10	2786	X	0,99	0,50
	2,80	1,25	2720	x	0,99	0,60
32	2,80	0,80	2950	1,27	0,99	0
	2,80	0,95	2942	1,65	0,99	0,30
	2,80	1,00	2920	1,90	0,99	0,40
	2,80	1,20	2886	x	0,99	0,50
	2,80	1,25	2861	x	0,99	0,60
48	2,80	1,10	2910	1,35	0,98	0

C (μF)	I _{st} (A)	I _{ss} (A)	n (rpm)	T _t (sec.)	Cos φ	T _L (N-m)
2,80	1,25	2900	1,85	0,98	0,30	
2,80	1,30	2880	2,25	0,98	0,40	
2,80	1,40	2855	x	0,98	0,50	
2,80	1,55	2842	x	0,98	0,60	

Keterangan :

(x) – Motor induksi tidak mampu start dalam keadaan berbeban

I_{st} – Arus start

I_{ss} – Arus keadaan mantap (nilai efektif)

n - Putaran rotor

T_t – Waktu peralihan

T_L – Torsi beban mekanik

2) Belitan Stator Hubungan Y

Pengujian Karakteristik motor induksi 3 fasa bercatu daya 1 fasa, terlihat pada Gambar 5.1, Gambar 5.2 dan Gambar 5.3

TABE 5.2 HASIL PENGUJIAN KARAKTERISTIK MOTOR INDUKSI, HUBUNGAN Y

TEGANGAN INPUT : 380 VOLT, FREKUENSI 50 HZ.

C (μF)	I _{st} (A)	I _{ss} (A)	n (rpm)	T _t (sec.)	Cos φ	T _L (N-m)
10	1,60	0,48	2952	1,55	1,0	0
	1,60	0,60	2887	2,45	1,0	0,10
	1,65	0,65	2862	x	1,0	0,20
	1,65	0,75	2829	x	1,0	0,30
	1,60	0,90	2742	x	1,0	0,40
12	1,70	0,60	2946	1,48	1,0	0
	1,65	0,65	2925	2,20	1,0	0,10
	1,70	0,80	2884	x	1,0	0,20
	1,65	0,90	2821	x	1,0	0,30
	1,70	1,00	2770	x	1,0	0,40
14,6	1,65	0,70	2935	1,40	0,95	0
	1,70	0,75	2908	1,75	0,98	0,10
	1,70	0,78	2862	x	0,95	0,20
	1,75	0,85	2820	x	0,98	0,30
	1,75	0,95	2747	x	0,98	0,40
	1,70	1,10	2673	x	0,98	0,50
	1,80	0,85	2928	1,40	0,98	0
16	1,80	0,85	2890	1,65	0,98	0,10
	1,75	0,90	2832	x	0,98	0,20
	1,80	1,00	2764	x	0,98	0,30
	1,80	1,15	2735	x	0,98	0,40
	1,85	1,30	2680	x	0,98	0,50

5.1.1 Belitan Stator Hubungan I

Pengujian Karakteristik motor induksi 3 fasa bercatu daya 1 fasa, terlihat pada Gambar 5.1 , Gambar 5.2 dan Gambar 5.3

TABE 5.3 HASIL PENGUJIAN KARAKTERISTIK MOTOR INDUKSI, HUBUNGAN I

Tegangan Input : 380 Volt, Frekuensi 50 Hz.

C (μF)	I _{st} (A)	I _{ss} (A)	n (rpm)	T _t (sec.)	Cos φ	T _L (N-m)
6	1,70	0,50	2949	1,40	0,98	0
	1,78	0,58	2928	1,95	0,98	0,10
	1,75	0,60	2925	X	0,98	0,30
	1,78	0,62	2904	X	0,98	0,40
	1,78	0,65	2865	X	0,98	0,50
	1,78	0,75	2880	x	0,98	0,60

C (μF)	I _{st} (A)	I _{ss} (A)	n (rpm)	T _t (sec.)	Cos φ	T _L (N-m)
8	1,75	0,60	2948	1,30	0,98	0
	1,75	0,60	2932	1,85	0,98	0,10
	1,70	0,65	2925	x	0,98	0,30
	1,70	0,70	2895	x	0,98	0,40
	1,75	0,80	2868	x	0,98	0,50
	1,75	0,85	2815	x	0,98	0,60
10	1,70	0,75	2930	1,16	0,75	0
	1,70	0,75	2925	1,25	0,80	0,10
	1,65	0,80	2925	2,10	0,85	0,20
	1,70	0,80	2920	x	0,75	0,30
	1,75	0,85	2916	x	0,92	0,40
	1,70	0,90	2892	x	0,94	0,50
	1,65	1,05	2844	x	0,95	0,60
12	1,60	1,05	2920	1,12	0,70	0
	1,60	1,10	2915	1,50	0,75	0,20
	1,60	1,15	2915	x	0,75	0,30
	1,50	1,25	2912	x	0,85	0,40
	1,55	1,30	2890	x	0,85	0,50
	1,60	1,45	2858	x	0,90	0,60

B. 5.3 Analisis Unjuk Kerja Motor Induksi 3 Fasa Bercatu 1 Fasa

1) Belitan Stator Hubungan D

Data hasil simulasi motor induksi 3 fasa bercatu daya 1 fasa, dengan data hasil pengujian laboratorium dilakukan validasi untuk mengetahui karakteristiknya, Tabel 5.4 menunjukkan perubahan karakteristik putaran dan arus karena pengaruh perubahan nilai kapasitans kapasitor motor induksi 3 fasa bercatu 1 fasa keadaan tanpa beban mekanik.

TABEL 5.4. PERBANDINGAN PUTARAN, ARUS HASIL SIMULASI DAN PENGUJIAN (HUBUNGAN D)

C (μF)	I _{ss(s)}	I _{ss} (A)	n _(s)	n (rpm)
24	0.55	0.50	2960	2960
32	0.87	0.80	2945	2950
40	1.02	0.95	2930	2935
48	1.18	1.10	2896	2910

Keterangan :

I_{ss(s)} – Arus masukan keadaan mantap hasil simulasi

n_(s) – Putaran rotor hasil simulasi

1. Karakteristik Putaran

Dari hasil simulasi dan hasil pengujian laboratorium karakteristik putaran mempunyai kesamaan, baik besar putaran maupun waktu yang dibutuhkan untuk berputar sampai putaran konstan (waktu peralihan) dan hanya terdapat sedikit perbedaan, seperti yang diperlihatkan pada Tabel 5.4. Dengan perubahan nilai kapasitans kapasitor (24 μF s/d 48 μF), semakin besar nilai kapasitans kapasitor maka putaran keadaan mantap besarnya akan turun karena dalam keadaan berputar dengan bertambah besarnya kapasitor, maka arus yang mengalir pada masing-masing belitan akan berubah yang

berakibat menurunnya torsi elektromagnetik. Hasil simulasi dapat diketahui bahwa putaran motor induksi merupakan gelombang pulsasi yang dalam pengujian akan terasa getarannya, hal ini terjadi karena adanya pengaruh torsi urutan positif dan torsi urutan negatif yang selalu muncul seperti terlihat pada Gambar 4.11.

2. Karakteristik Torsi

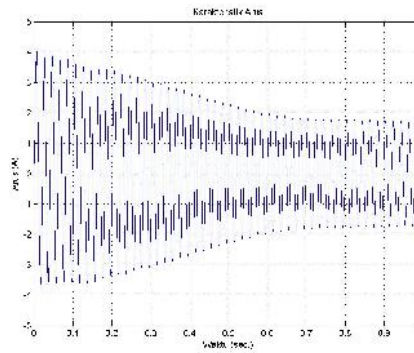
Dari hasil simulasi, torsi start motor induksi cukup besar dan torsi keadaan mantap merupakan torsi pulsasi. Pada Tabel 5.5 dapat dilihat bahwa semakin besar beban mekanik yang terpasang pada motor induksi, maka waktu peralihan semakin naik, hal ini terjadi karena dengan bertambahnya besar beban mekanik maka perbedaan antara torsi elektromagnetik dan torsi beban mekanik (torsi dorong) akan berkurang, waktu peralihan berbanding terbalik dengan torsi dorong, hal ini dapat dilihat pada persamaan (2-10). Semakin besar kapasitans kapasitor maka torsi start akan bertambah besar, besarnya torsi start dapat mencapai 0.50 N-m (Torsi beban nominal 1.02 N-m)

TABEL 5.5 PEMBEBANAN MOTOR INDUKSI HASILSIMULASI (HUBUNGAN D)

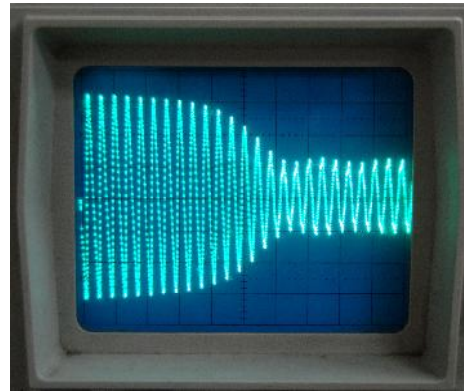
C (μF)	T _L (N-m)	T _t (sec.)	C (μF)	T _L (N-m)	T _t (sec.)
24	0	1.06	40	0	1.18
	0.10	1.25		0.10	1.30
	0.20	1.50		0.20	1.50
	0.30	1.88		0.30	1.70
	0.40	2.48		0.40	2.15
	0.50	3.80		0.50	2.75
32	0	1.14	48	0	1.30
	0.10	1.34		0.10	1.50
	0.20	1.60		0.20	1.70
	0.30	1.75		0.30	1.95
	0.40	2.05		0.40	2.35
	0.50	2.65		0.50	3.25

3. Karakteristik Arus

Dari hasil simulasi dan hasil pengujian laboratorium karakteristik arus mempunyai kesamaan, dengan bertambah besarnya nilai kapasitans kapasitor maka arus masukan motor induksi akan naik karena terjadi ketidak seimbangan arus yang mengalir pada masing-masing belitan stator yang mengakibatkan torsi urutan negatif bertambah dan seolah-olah terjadi pengereman. Bentuk karakteristik arus dalam keadaan tanpa beban diperlihatkan pada Gambar 5.4a dan gambar 5.4b.



Gambar 5.4a Karakteristik Arus Hasil Simulasi, Kapasitor 40 μF



Gambar 5.4b Karakteristik Arus Hasil Pengujian, Kapasitor 40 μF

Keterangan :

$$\text{Volt/div} = 1 \text{ V}, \text{ Time/div} = 50 \text{ ms}$$

2) Belitan Stator Hubungan Y

Data hasil simulasi motor induksi 3 fasa bercatu daya 1 fasa dengan data hasil pengujian laboratorium dilakukan validasi untuk mengetahui karakteristiknya, Tabel 5.6 menunjukkan perubahan karakteristik karena pengaruh perubahan nilai kapasitans kapasitor motor induksi 3 fasa bercatu 1 fasa keadaan tanpa beban mekanik.

Tabel 5.6 Perbandingan Putaran , Arus Hasil Simulasi dan Pengujian (Hubungan Y)

C (μF)	I _{ss(s)}	I _{ss} (A)	n _(s)	n (rpm)
10	0.50	0.48	2960	2952
12	0.64	0.60	2950	2946
14.6	0.75	0.70	2938	2935
16	0.88	0.85	2935	2928

1. Karakteristik Putaran

Dari hasil simulasi dan hasil pengujian laboratorium karakteristik putaran mempunyai kesamaan, baik besar putaran maupun waktu yang dibutuhkan untuk berputar sampai putaran konstan (waktu peralihan) dan hanya terdapat sedikit perbedaan, seperti yang diperlihatkan

pada Tabel 5.6. Dengan perubahan nilai kapasitans kapasitor ($10 \mu\text{F}$ s/d $16 \mu\text{F}$), semakin besar nilai kapasitans kapasitor maka putaran keadaan mantap besarnya akan turun karena dalam keadaan berputar dengan bertambah besarnya kapasitor, maka arus yang mengalir pada masing-masing belitan akan berubah yang berakibat menurunnya torsi elektromagnetik. Dari hasil simulasi bahwa putaran motor induksi merupakan gelombang pulsasi yang dalam pengujian akan terasa getarannya, hal ini terjadi karena adanya pengaruh torsi urutan positif dan torsi urutan negatif yang selalu muncul seperti terlihat pada Gambar 4.14.

2. Karakteristik Torsi

Dari hasil simulasi, torsi start motor induksi sangat kecil dan torsi keadaan mantap merupakan torsi pulsasi. Pada Tabel 5.7 dapat dilihat bahwa semakin besar beban mekanik yang terpasang pada motor induksi, maka waktu peralihan semakin naik, hal ini terjadi karena dengan bertambahnya besar beban mekanik maka perbedaan antara torsi elektromagnetik dan torsi beban mekanik (torsi dorong) akan berkurang, waktu peralihan berbanding terbalik dengan torsi dorong, hal ini dapat dilihat pada persamaan (2-10). Semakin besar kapasitans kapasitor maka torsi start akan bertambah, besarnya torsi start relatif kecil $0.10 \text{ N}\cdot\text{m}$.

TABEL 5.7 PEMBEBANAN MOTOR INDUKSI HASIL SIMULASI (HUBUNGAN Y)

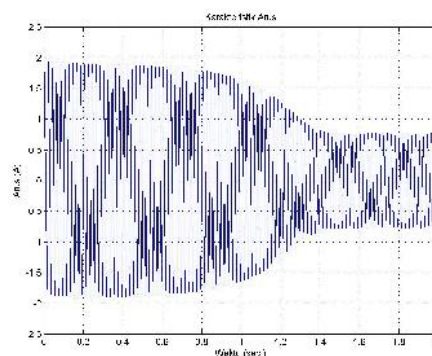
C (μF)	T _L (N·m)	T _i (sec.)	C (μF)	T _L (N·m)	T _i (sec.)
10	0	1.60	14.6	0	1.52
	0.10	2.60		0.10	2.02
	0.20	x		0.20	x
	0.30	x		0.30	x
12	0	1.55	16	0	1.50
	0.10	2.35		0.10	1.98
	0.20	x		0.20	2.90
	0.30	x		0.30	x

Catatan :

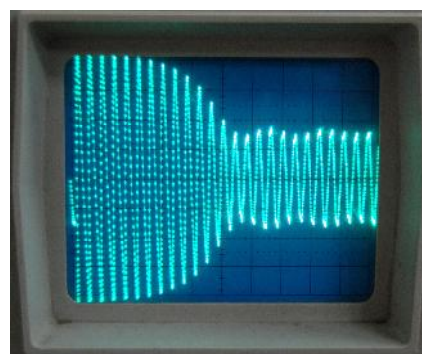
Dalam simulasi torsi beban mekanik merupakan torsi step, atau torsi yang besarnya tetap, maka motor induksi akan berputar apabila torsi motor lebih besar dari torsi beban step. Dalam Tabel 5.7 tanda (x) mempunyai arti motor tidak berputar yaitu ditandai dengan putaran motor menjadi negatif.

3. Karakteristik Arus

Dari hasil simulasi dan hasil pengujian laboratorium karakteristik arus mempunyai kesamaan, dengan bertambah besarnya nilai kapasitans kapasitor maka arus masukan motor induksi akan naik karena terjadi ketidak seimbangan arus yang mengalir pada masing-masing belitan stator yang mengakibatkan torsi urutan negatif bertambah dan seolah-olah terjadi pengereman. Bentuk karakteristik arus dalam keadaan tanpa beban diperlihatkan pada Gambar 5.5a dan gambar 5.5b.



Gambar 5.5a Karakteristik Arus Hasil Simulasi, Kapasitor $12 \mu\text{F}$



Gambar 5.5b Karakteristik Arus Hasil Pengujian, Kapasitor $12 \mu\text{F}$

Keterangan :
Volt/div = 0.50 V , Time/div = 50 ms

3) Belitan Stator Hubungan I

Data hasil simulasi motor induksi 3 fasa bercatu daya 1 fasa, dengan data hasil pengujian laboratorium dilakukan validasi untuk mengetahui karakteristiknya, Tabel 5.8 menunjukkan perubahan karakteristik karena pengaruh perubahan nilai kapasitans kapasitor motor induksi 3 fasa bercatu 1 fasa keadaan tanpa beban mekanik.

TABEL 5.8 PERBANDINGAN PUTARAN, ARUS HASIL SIMULASI DAN PENGUJIAN (HUBUNGAN I)

C (μF)	I _{ss(s)}	I _{ss} (A)	n _(s)	n (rpm)
6	0.46	0.50	2949	2952
8	0.68	0.60	2938	2948
10	0.80	0.75	2925	2930
12	1.15	1.05	2918	2920

1. Karakteristik Putaran

Dari hasil simulasi dan hasil pengujian laboratorium karakteristik putaran mempunyai kesamaan, baik besar putaran maupun waktu yang dibutuhkan untuk berputar sampai putaran konstan (waktu peralihan) dan hanya terdapat sedikit perbedaan, seperti yang diperlihatkan pada Tabel 5.8. Dengan perubahan nilai kapasitans

kapasitor (6 μF s/d 10 μF), semakin besar nilai kapasitans kapasitor maka putaran keadaan mantap akan turun karena dalam keadaan berputar dengan bertambah besarnya kapasitor, maka arus yang mengalir pada masing-masing belitan akan berubah yang berakibat menurunnya torsi elektromagnetik. Dari hasil simulasi bahwa putaran motor induksi merupakan gelombang pulsasi yang dalam pengujian akan terasa getarannya, hal ini terjadi karena adanya pengaruh torsi urutan positif dan torsi urutan negatif yang selalu muncul seperti terlihat pada Gambar 4.17.

2. Karakteristik Torsi

Dari hasil simulasi, torsi start motor induksi relatif kecil dan torsi keadaan mantap merupakan torsi pulsasi. Pada Tabel 5.9 dapat dilihat bahwa semakin besar beban mekanik yang terpasang pada motor induksi, maka waktu peralihan semakin naik, hal ini terjadi karena dengan bertambahnya besar beban mekanik maka perbedaan antara torsi elektromagnetik dan torsi beban mekanik (torsi dorong) akan berkurang, waktu peralihan berbanding terbalik dengan torsi dorong, hal ini dapat dilihat pada persamaan (2-10). Semakin besar kapasitans kapasitor maka torsi start akan bertambah, besarnya torsi start relatif kecil berkisar 0.10 s/d 0.20 N-m.

TABEL 5.9 PEMBEBANAN MOTOR INDUKSI HASIL SIMULASI, HUBUNGAN I

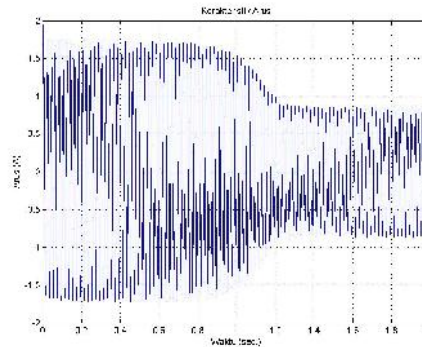
C (μF)	T _L (N-m)	T _t (sec.)	C (μF)	T _L (N-m)	T _t (sec.)
8	0	1.30	12	0	0.95
	0.10	1.90		0.10	1.15
	0.20	x		0.20	1.65
	0.30	x		0.30	x
10	0	1.05	16	0	0.72
	0.10	1.35		0.10	0.85
	0.20	2.30		0.20	1.05
	0.30	x		0.30	1.30
	0.40	x		0.40	x

Catatan :

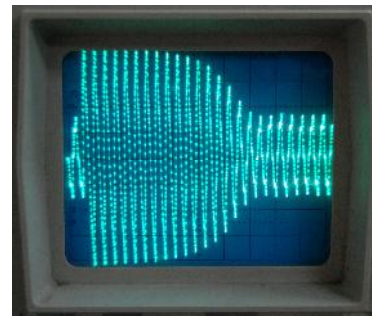
Dalam simulasi torsi beban mekanik merupakan torsi step, atau torsi yang besarnya tetap, maka motor induksi akan berputar apabila torsi motor lebih besar dari torsi beban step. Dalam Tabel 5.9 tanda (x) mempunyai arti motor tidak berputar yaitu ditandai dengan putaran motor menjadi negatif.

3. Karakteristik Arus

Dari hasil simulasi dan hasil pengujian laboratorium karakteristik arus mempunyai kesamaan, dengan bertambah besarnya nilai kapasitans kapasitor maka arus yang mengalir pada belitan stator naik karena besar kapasitor akan menaikkan arus yang mengalir pada belitan bantu. Bentuk karakteristik arus dalam keadaan tanpa beban diperlihatkan pada Gambar 5.6a dan gambar 5.6b.



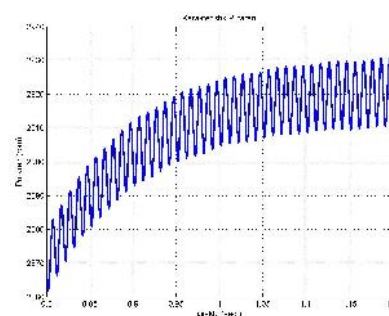
Gambar 5.6a Karakteristik Arus Hasil Simulasi, Kapasitor 10 μF



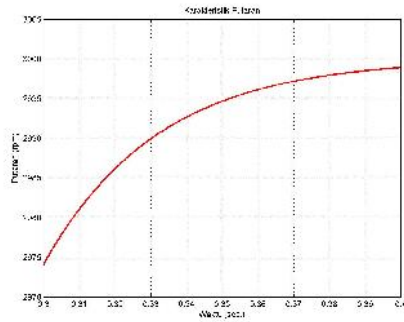
Gambar 5.6b Karakteristik Arus Hasil Pengujian, Kapasitor 10 μF

Keterangan :
Volt/div = 0.50 V, Time/div = 50 ms

Hasil simulasi karakteristik putaran motor induksi 3 fasa dengan catu daya 1 fasa berbentuk gelombang pulsasi, dalam pengujian dapat diketahui dari getaran motor yang relatif besar apabila dibandingkan dengan putaran motor induksi 3 fasa dengan catu daya 3 fasa. Perbedaan gelombang putaran diperlihatkan pada Gambar 5.7a dan Gambar 5.7b.

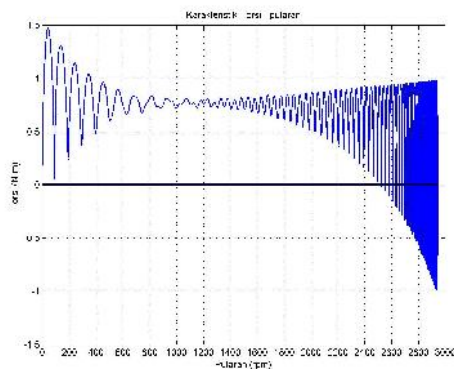


Gambar 5.7a Bentuk Gelombang Putaran Hasil Simulasi, Hubungan D Kapasitor 40 μF

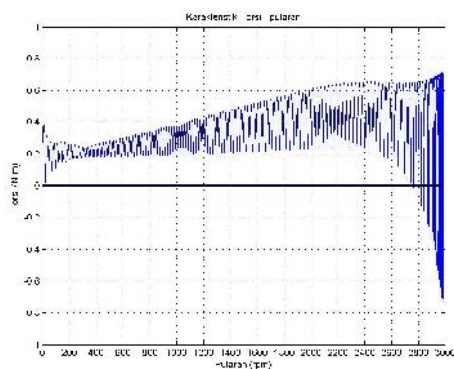


Gambar 5.7b Bentuk Gelombang Putaran Hasil Simulasi Motor Induksi 3 Fasa Bercatu Daya 3 Fasa

Karakteristik mekanik (Torsi sebagai fungsi putaran) motor induksi 3 fasa bercatu daya 1 fasa, untuk belitan stator hubungan D diperlihatkan pada Gambar 5.8, dari hasil simulasi besar torsi start dapat mencapai 50 % torsi nominalnya. Pada Gambar 5.9 merupakan karakteristik mekanik untuk belitan stator hubungan Y, terlihat torsi start berkisar 10 % torsi nominalnya.

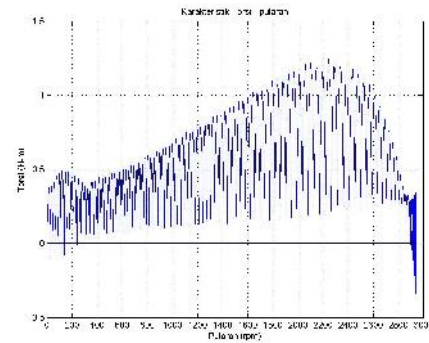


Gambar 5.8 Karakteristik Mekanik (Keadaan Tanpa Beban, Hubungan D, Kapasitor 23.50 μ F)

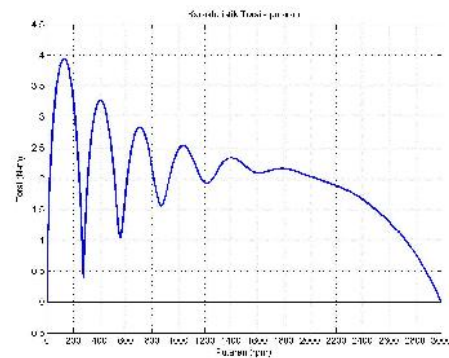


Gambar 5.9 Karakteristik Mekanik (Keadaan Tanpa Beban, Hubungan Y, Kapasitor 10.60 μ F)

Pada Gambar 5.10 merupakan karakteristik mekanik untuk belitan stator hubungan I, terlihat bahwa torsi start berkisar 10 s/d 20 % torsi nominalnya. Apabila motor induksi 3 fasa dengan catu daya 3 fasa maka torsi start dapat mencapai 200 % torsi nominalnya, hal ini terlihat pada Gambar 5.11.



Gambar 5.10 Karakteristik Mekanik (Keadaan Tanpa Beban, Hubungan I, Kapasitor 8 μ F)



Gambar 5.9 Karakteristik Mekanik (Keadaan Tanpa Beban, Motor Induksi 3 Fasa Bercatu Daya 3 Fasa)

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

1. Motor induksi 3 fasa bercatu daya 1 fasa, belitan stator hubungan D dan belitan stator hubungan Y dapat diselesaikan dengan pendekatan sebagai motor induksi 3 fasa bercatu daya tak seimbang, sedangkan untuk belitan stator hubungan I diselesaikan dengan pendekatan sebagai motor kapasitor / motor induksi dua fasa tak simetris.
2. Pengaruh penempatan dan perubahan nilai kapasitans kapasitor terhadap unjuk kerja dinamik motor induksi 3 fasa bercatu daya 1 fasa dapat diselesaikan dengan teori kerangka acuan dan dianalisis dengan menggunakan simulasi program simulink MatLab.
3. Pengaruh perubahan nilai kapasitans kapasitor pada belitan stator hubungan D akan berpengaruh pada karakteristik putaran, torsi maupun arus masukan motor. Jika kapasitor yang digunakan semakin besar maka torsi start semakin besar, namun arus masukan keadaan mantap juga bertambah besar.
4. Belitan stator hubungan Y, perubahan nilai kapasitans kapasitor berpengaruh pada

karakteristik putaran, torsi dan arus. Jika kapasitor yang digunakan semakin besar maka torsi start semakin besar, namun arus masukan keadaan mantap juga bertambah besar.

5. Belitan stator hubungan I, perubahan nilai kapasitans kapasitor berpengaruh pada karakteristik putaran, torsi dan arus. Jika kapasitor yang digunakan semakin besar maka torsi start semakin besar, namun arus masukan keadaan mantap juga bertambah besar.
6. Pada belitan stator hubungan D torsi start dapat mencapai 50 % dari torsi nominalnya, belitan stator hubungan Y torsi start berkisar 10 % dari torsi nominalnya, sedangkan pada belitan stator hubungan I torsi start berkisar antara 10 s/d 20 % dari torsi nominalnya.

B. Saran

1. Dengan menggunakan simulasi program simulink MatLab. dapat diketahui besar kapasitans kapasitor yang dibutuhkan oleh motor induksi 3 fasa bercatu 1 fasa untuk beberapa model hubungan belitan stator dan penempatan kapasitor.
2. Pada beban mekanik yang membutuhkan torsi start yang besar, maka belitan stator harus dihubungkan delta (D), apabila beban mekanik mempunyai torsi start yang kecil / beban mekanik tidak terhubung secara langsung pada saat start maka ketiga model hubungan belitan stator tersebut dapat diaplikasikan.
3. Pada beban mekanik yang besarnya variabel dan sensitif terhadap getaran tidak dianjurkan untuk memodifikasi motor induksi 3 fasa bercatu daya 1 fasa.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Al-Turki, Y.A. ; Al-Umari. 1999. Application of the Reference Frame Theory to the Dynamic Analysis of Three-Phase Induction Motor fed from a Single-phase Supply, *EPSR* 53(2000): 149-156
- [2] Blaabjerg, ;Lungeanu and Tones, M. 2002. Evaluation Of Low Cost Topologies For Two Phase Induction Motor Drives, In *Industrial Applications, IEEE*, Vol.4, page: 2358–2365.
- [3] Chee-Mun Ong. 1998. *Dynamic Simulation Of Electric Machinery*, Prentice-Hall, Inc. New-Jersey America.
- [4] Chapman, S.J. 1991. *Electric Machinery Fundamentals*, Second Edition. McGraw Hill International Edition. Singapore.
- [5] Fitzgerald, ; Kingsley and Umans. 2003. *Electric Machinery*, Sixth Edition, McGraw Hill, Inc. New York.
- [6] Krause, Wasynczuk. 1989. *Electromechanical Motion Devices*, McGraw-Hill International Editions. London
- [7] Murthy, S. 1983. Transient Analysis Of Three Phase Induction Motor With Single Phase Supply, *IEEE Trans PAS* 102, pp: 28-37
- [8] Pherson, M.; Laramore, R.D. 1990. *An Introduction To Electrical Machines And Transformer*, John Wiley and Sons, Inc. Canada.
- [9] Stevenson, W.D. 1990. *Elements Of Power System Analysis*, McGraw-Hill, Inc. London.
- [10] Sen, P.C.1989. *Principles Of Electric Machines And Power Electronics*, John Wiley and Sons, Inc. Singapore.
- [11] Strangas, E.G. 2000. *Electrical Machines*, Boca Raton: CRC Press LLC.