

Analisis dan Pemodelan Motor Induksi Kapasitor Permanen dengan Rangkaian Ekuivalen Invers Γ

Elfi Martina*, Amir Hamzah**, Feranita**

*Alumni Teknik Elektro Universitas Riau **Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau
Kampus Binawidya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293
Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau
Email: martinaelfi@gmail.com

ABSTRACT

Analysis and modelling of induction motor of permanent capacitor have been done in this paper. With specifications 30 Volt, 100 Watt, 6 pole, 50 Hz, 1000 rpm. At this writing the equivalent circuit Γ inverse form by simplifying the parameters which determine the stator reactance leak is not the same as leaking rotor reactance. So that the determination of the parameters can be done more thoroughly. Modeling transient permanent capacitor induction motor has been done using MATLAB- Simulink. In this research, the percentage of permanent capacitor induction motor error burden from direct test results and simulation results that the initial voltage on the primary winding by 3.46%, the initial voltage on the auxiliary winding of 8.896%, stable voltage on the auxiliary winding by 9.89%, currents starting on auxiliary winding by 19.97% and stable current on auxiliary winding by 21.44%. From the shape of the voltage waveform generated change, the results of experimental approaches the simulation calculation results on the primary winding and the auxiliary winding thus obtained a valid analysis.

Keywords : Permanent capacitor induction motor, induction motor modeling using inverse Γ equivalent circuit, Simulink - Matlab.

1. PENDAHULUAN

Motor induksi satu fasa merupakan motor yang disuplai oleh sumber tegangan AC satu fasa. Motor induksi ini sering digunakan dalam aplikasi di lingkungan rumah tangga sebagai penggerak pada peralatan yang memerlukan daya rendah dan kecepatan yang relatif konstan dan juga sebagai penggerak energi terbarukan. Motor kapasitor adalah salah satu jenis motor induksi satu fasa yang banyak digunakan pada mesin-mesin seperti lemari es, kompresor, pompa air, pembakar minyak, kipas angin dan mesin pencuci. Hal ini disebabkan karena motor induksi satu fasa memiliki beberapa keunggulan dibanding dengan motor listrik yang lain, yaitu konstruksi yang cukup sederhana, kecepatan putar yang hampir konstan terhadap perubahan beban, serta karakteristik kerja yang baik.

Dalam penelitian ini akan diteliti kinerja motor induksi kapasitor permanen 500 W, 30 V,

6 kutub di Laboratorium Konversi Energi Fakultas Teknik Universitas Riau dengan menggunakan parameter rangkaian ekuivalen. Kinerja yang diteliti adalah pengaruh perubahan tegangan, frekuensi, dan beban motor induksi kapasitor permanen terhadap kecepatan dan torsi.

Parameter rangkaian ekuivalen mesin yang digunakan dalam penulisan ini diperoleh dengan melakukan pengujian hubung singkat dan beban nol dengan pendekatan menggunakan persamaan yang diperoleh dari penyederhanaan rangkaian ekuivalen.

2. LANDASAN TEORI

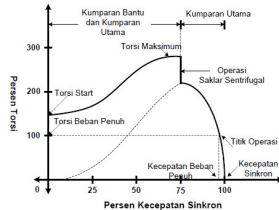
2.1 Jenis Motor Induksi Satu Fasa

2.2.1 Motor Fasa Terpisah (Split Phase)

Motor fasa terpisah terdiri dari belitan utama, belitan bantu, dan saklar sentrifugal yang dipasang seri dengan belitan bantu.

Perbedaan arus belitan utama dan belitan bantu akan menyebabkan terjadinya perbedaan fluks medan utama dan fluks medan bantu pada stator, akibatnya akan menghasilkan medan putar yang menimbulkan kopel mula pada motor. Dengan adanya kopel mula ini, maka motor akan berputar. Saklar dilepaskan dengan gaya sentrifugal pada 75 % putaran normal. Kopel start dari motor split fasa 150% dari kopel beban penuh.

Karakteristik torsi induksi vs kecepatan dari motor ini ditunjukkan pada Gambar 2.1. Gambar ini memperlihatkan Penurunan torsi terjadi karena yang bekerja hanya belitan utama, akibatnya saklar sentrifugal melepas pada saat kecepatan mencapai 75% sehingga kecepatan mengalami sinkronisasi dimana $T = 0$, karena $n_s = n_r$, yang seolah olah mesin menjadi mati.



Gambar 2.1 Kurva Persentase Torsi terhadap Kecepatan Sinkron (Wahyudinata, 2010)

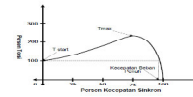
2.2.2 Motor Kapasitor Start

Pada umumnya, prinsip motor ini sama dengan prinsip kerja motor split fasa. Torsi start yang dihasilkan jauh lebih besar, yaitu antara 250% - 450% dari torsi beban penuh dengan cara menghubungkan sebuah kapasitor yang dipasang secara seri dengan belitan bantu. Hal ini akan menaikkan sudut phasa antar arus belitan. Karena kapasitor dipakai hanya pada saat start, maka jenis kapasitor yang dipakai adalah kapasitor elektrolit. Motor ini menghasilkan momen putar start yang lebih tinggi.

2.2.3 Motor Kapasitor Permanen

Prinsipnya sama dengan motor kapasitor start. Bedanya, motor ini tidak mempunyai saklar sentrifugal. Kapasitor dihubungkan seri dengan belitan bantu dan tidak dilepas setelah pengasutan dilakukan dan tetap tinggal pada rangkaian. Hal ini menyederhanakan konstruksi dan mengurangi biaya serta memperbaiki ketahanan motor karena saklar sentrifugal tidak digunakan. Jenis kapasitor yang digunakan adalah kapasitor kertas. Torsi start dari motor

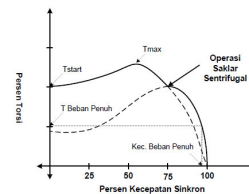
kapasitor permanen relatif rendah yaitu 50% - 100 % dari torsi beban penuh. Gambar 2.2 menunjukkan konstruksi dari motor kapasitor permanen.



Gambar 2.2 Kurva Persentase Torsi terhadap Kecepatan Sinkron. (Sinaga, 2011)

2.2.4 Motor Kapasitor Start – Kapasitor Run

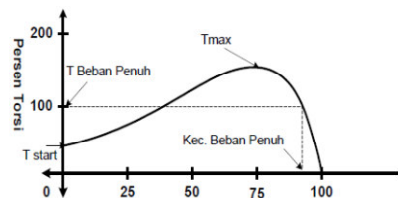
Motor ini mempunyai dua buah kapasitor, satu digunakan pada saat start dan satu lagi digunakan pada saat berputar. Kapasitor Run secara permanen dihubungkan seri dengan belitan bantu dengan nilai yang lebih kecil dan dipakai kapasitor kertas. Karakteristik momen putar-kecepatan dari motor ini ditunjukkan pada Gambar 2.3



Gambar 2.2 Kurva Persentase Torsi terhadap Kecepatan Sinkron. (Handoko, 2010)

2.2.5 Motor Shaded Pole

Motor ini mempunyai kutub tonjol dan sebagian dari masing-masing kutub dikelilingi oleh lilitan rangkaian terhubung singkat yang terbuat dari tembaga yang disebut belitan terarsir. Arus imbas yang terdapat pada belitan yang terarsir menyebabkan fluksi yang berada pada bagian lain. Hasilnya seperti medan putar yang bergerak dalam arah dari daerah kutub yang tidak terarsir ke bagian kutub yang terarsir dan menimbulkan momen putar saat dihidupkan yang kecil. Karakteristik motor shaded pole ditunjukkan pada Gambar 2.4

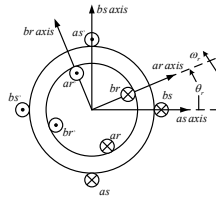


Gambar 2.3 Kurva Persentase Torsi terhadap Kecepatan Sinkron. (Sinaga, 2010)

2.2 Mesin Induksi Satu Fasa

2.2.1 Persamaan Tegangan dan Arus Mesin Induksi Satu Fasa

Skema mesin induksi satu fasa dapat dilihat pada gambar 2.5. Belitan utama (main winding) dan belitan bantu (auxiliary winding) adalah belitan terdistribusi sinusoidal non identik, tetapi disusun dalam kuadratur ruang. Belitan utama (as) diasumsikan memiliki ekuivalen lilitan N_A dengan resistansi r_a . Belitan bantu (bs) dengan ekuivalen lilitan N_B dengan resistansi r_b . Belitan rotor direpresentasikan dengan dua belitan identik sinusoidal dalam kuadratur ruang. Setiap belitan rotor memiliki ekuivalen lilitan N_r dengan resistansi r_r .



Gambar 2.4 Mesin induksi satu fasa (Krause et al., 1986)

Persamaan tegangan stator dan rotor mesin induksi satu fasa adalah:

$$\begin{aligned} v_{as} &= r_a i_{as} + p \lambda_{as} \\ v_{bs} &= r_b i_{bs} + p \lambda_{bs} \\ v_{ar} &= r_r i_{ar} + p \lambda_{ar} \\ v_{br} &= r_r i_{br} + p \lambda_{br} \end{aligned} \quad (2.1)$$

2.2.2 Transformasi Kerangka Referensi dan Transformasi Belitan

Transformasi variabel stator ke kerangka referensi sembarang dan transformasi variabel rotor ke kerangka referensi sembarang dibutuhkan untuk menyederhanakan persamaan tegangan motor induksi satu fasa. Variabel stator dalam notasi vektor dapat direpresentasikan dengan:

$$\mathbf{f}_{abs} = \begin{bmatrix} f_{as} \\ f_{bs} \end{bmatrix} \text{ dan } \mathbf{f}_{qds} = \begin{bmatrix} f_{qs} \\ f_{ds} \end{bmatrix}$$

Dimana f dapat berupa tegangan (v), arus (i), atau fluks lingkup (λ). Jika θ adalah posisi sudut dari kerangka referensi sembarang maka transformasi dari variabel stator ke kerangka referensi sembarang adalah:

$$\mathbf{f}_{qds} = \mathbf{K}_{2s} \mathbf{f}_{abs}, \quad \mathbf{f}_{abs} = (\mathbf{K}_{2s})^{-1} \mathbf{f}_{qds} \quad (2.2)$$

Sehingga persamaan tegangan mesin induksi satu fasa dalam kerangka referensi diam dapat ditulis menjadi sebagai berikut:

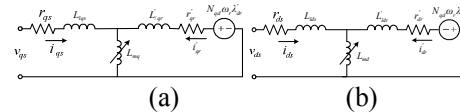
$$\begin{aligned} v_{qs} &= r_{qs} i_{qs} + p \lambda_{qs} \\ v_{ds} &= r_{ds} i_{ds} + p \lambda_{ds} \\ v_{qr} &= r_{qr} i_{qr} - \omega_r \lambda_{dr} + p \lambda_{qr} \\ v_{dr} &= r_{dr} i_{dr} + \omega_r \lambda_{qr} + p \lambda_{dr} \end{aligned} \quad (2.3)$$

Persamaan dari variabel rotor mesin induksi satu fasa selanjutnya ditransformasi ke belitan stator dengan rasio belitan. Seluruh variabel q ditransformasi ke belitan a_s dengan lilitan efektif N_q dan seluruh variabel d ke belitan b_s dengan lilitan efektif N_d . Persamaan tegangan dapat ditulis menjadi:

$$\begin{aligned} v_{qs} &= r_{qs} i_{qs} + p \lambda_{qs} \\ v_{ds} &= r_{ds} i_{ds} + p \lambda_{ds} \\ v_{qr} &= r_{qr} i_{qr} - N_{qd} \omega_r \lambda'_{dr} + p \lambda'_{qr} \\ v_{dr} &= r_{dr} i_{dr} + N_{dq} \omega_r \lambda'_{qr} + p \lambda'_{dr} \end{aligned} \quad (2.4)$$

2.2.3 Rangkaian Ekuivalen Mesin Induksi Satu Fasa

Rangkaian ekuivalen mesin induksi satu fasa dapat dibuat dari persamaan (2.4). Rangkaian ekuivalen ini adalah rangkaian yang umum digunakan dalam analisis mesin induksi satu fasa. Rangkaian ekuivalen q-d mesin induksi satu fasa ini bentuknya mirip huruf T, oleh karena itu sering disebut rangkaian ekuivalen bentuk T, seperti dapat dilihat pada Gambar (2.6).



Gambar 2.5 Rangkaian ekuivalen motor induksi satu fasa bentuk T. (a) sumbu q, (b) sumbu d. (Hamzah et al., 2009)

Daya rugi-rugi pada rotor q dan d dihitung sebagai berikut:

$$P_{qr} = i_{qr}^2 r_{qr}, \quad P_{dr} = i_{dr}^2 r_{dr}$$

Dengan menggunakan persamaan daya ini akan dilakukan manipulasi persamaan dalam persamaan motor. Selama besaran yang terukur tidak berubah, yaitu besaran resistansi belitan utama dan bantu stator, maka kita dapat merubah besaran rotor dengan bebas. Untuk itu, didefinisikan besaran rotor baru sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\lambda'_{QR} &= k_q \lambda'_{qr} \\ \lambda'_{DR} &= k_d \lambda'_{dr}\end{aligned}\quad (2.5)$$

Dimana k_q dan k_d adalah konstanta sembarang. Dengan besaran rotor yang baru ini, maka persamaan daya rugi-rugi rotor q dan d menjadi :

$$\begin{aligned}i_{qr}^2 r'_{qr} &= i_{QR}^2 r'_{QR} \\ i_{dr}^2 r'_{dr} &= i_{DR}^2 r'_{DR}\end{aligned}\quad (2.6)$$

atau

$$\begin{aligned}r'_{QR} &= k_q^2 r'_{qr} \\ r'_{DR} &= k_d^2 r'_{dr}\end{aligned}\quad (2.7)$$

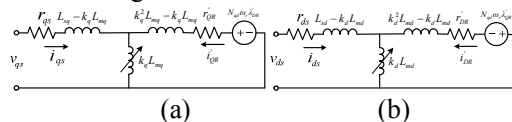
Dengan menggunakan besaran rotor yang baru, persamaan fluksi lingkup berubah menjadi:

$$\begin{aligned}\lambda_{qs} &= L_{sq} i_{qs} + k_q L_{mq} i'_{QR} \\ \lambda_{ds} &= L_{sd} i_{ds} + k_d L_{md} i'_{DR} \\ \lambda'_{QR} &= k_q L_{mq} i_{qs} + k_q^2 L_{rq} i'_{QR} \\ \lambda'_{DR} &= k_d L_{md} i_{ds} + k_d^2 L_{rd} i'_{DR}\end{aligned}$$

Dengan menggunakan persamaan (2.6) dan (2.7), maka persamaan tegangan stator dan rotor motor induksi satu fasa dari persamaan (2.4) berubah menjadi:

$$\begin{aligned}v_{qs} &= r_{qs} i_{qs} + p(L_{sq} - k_q L_{mq}) i_{qs} + p k_q L_{mq} (i_{qs} + i'_{QR}) \\ v_{ds} &= r_{ds} i_{ds} + p(L_{sd} - k_d L_{md}) i_{ds} + p k_d L_{md} (i_{ds} + i'_{DR}) \\ 0 &= r'_{QR} i'_{QR} - N_{qd} \omega_r \frac{k_q}{k_d} \lambda_{Md} + p k_q L_{mq} (i_{qs} + i'_{QR}) \\ 0 &= r'_{DR} i'_{DR} + N_{dq} \omega_r \frac{k_d}{k_q} \lambda_{Mq} + p k_d L_{md} (i_{ds} + i'_{DR})\end{aligned}\quad (2.8)$$

Dari persamaan (2.8), maka rangkaian ekuivalen motor induksi satu fasa dapat digambarkan menjadi seperti gambar 2.7 Dari persamaan tersebut, akurasi yang didapat dengan menggunakan rangkaian ekuivalen di gambar 2.7 adalah sama dengan yang didapat dengan menggunakan rangkaian ekuivalen bentuk T di gambar 2.6.



Gambar 2.6 Rangkaian ekuivalen motor induksi satu fasa bentuk T. (a) sumbu q, (b) Sumbu d. (Hamzah, 2009)

Dari persamaan tegangan stator dan rotor, nilai k_q dan k_d bisa dipilih secara sembarang. Kalau dibuat nilai k_q dan k_d sama dengan satu maka persamaan akan kembali ke persamaan semula yaitu pada persamaan (2.4).

Rangkaian Ekuivalen Bentuk invers Γ

Nilai dari k_q dan k_d adalah sebagai berikut:

$$k_q = \frac{L_{mq}}{L_{rq}}, \quad k_d = \frac{L_{md}}{L_{rd}} \quad (2.9)$$

Dengan nilai konstanta k ini, maka persamaan (2.8) berubah menjadi :

$$\begin{aligned}v_{qs} &= r_{qs} i_{qs} + p L_{sq} i_{qs} + p L_{mq} (i_{qs} + i'_{QR}) \\ v_{ds} &= r_{ds} i_{ds} + p L_{sd} i_{ds} + p L_{md} (i_{ds} + i'_{DR}) \\ 0 &= r'_{QR} i'_{QR} - N_{qd} \omega_r \frac{k_q}{k_d} L_{Md} (i_{ds} + i'_{DR}) + p L_{mq} (i_{qs} + i'_{QR}) \\ 0 &= r'_{DR} i'_{DR} + N_{dq} \omega_r \frac{k_d}{k_q} L_{Mq} (i_{qs} + i'_{QR}) + p L_{md} (i_{ds} + i'_{DR})\end{aligned}\quad (2.10) \quad (27) \quad (2.2)$$

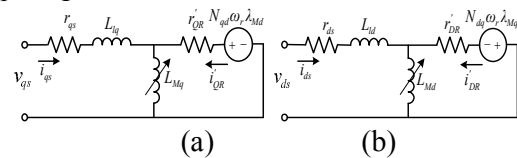
dengan:

$$\begin{aligned}L_{lq} &= L_{lqs} + k_q L_{lqr} \\ L_{ld} &= L_{lds} + k_d L_{ldr} \\ L_{Mq} &= k_q L_{mq} \\ L_{Md} &= k_d L_{md}\end{aligned}$$

Persamaan (2.10) dapat disederhanakan sebagai bentuk dari fungsi fluksi lingkup sebagai berikut:

$$\begin{aligned}v_{qs} &= r_{qs} i_{qs} + p \lambda_{QS} \\ v_{ds} &= r_{ds} i_{ds} + p \lambda_{DS} \\ 0 &= r'_{QR} i'_{QR} - N_{qd} \omega_r \frac{k_q}{k_d} \lambda_{Md} + p \lambda_{Mq} \\ 0 &= r'_{DR} i'_{DR} + N_{dq} \omega_r \frac{k_d}{k_q} \lambda_{Mq} + p \lambda_{Md}\end{aligned}\quad (2.11)$$

Berdasarkan persamaan (2.11) dapat dibuat rangkaian ekuivalen baru mesin induksi satu fasa dengan bentuk invers Γ seperti terlihat pada gambar 2.8.



Gambar 2.7 Rangkaian ekuivalen motor induksi satu fasa bentuk invers Γ . (a) sumbu q, (b) sumbu d. (Hamzah, 2009 dengan perubahan)

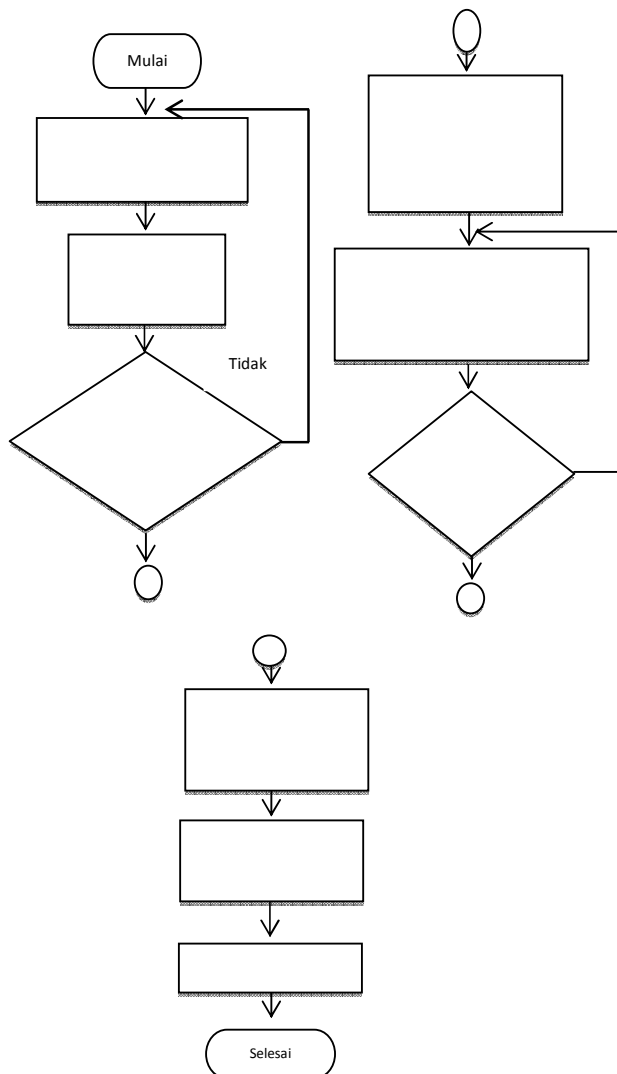
3. METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Konversi Fakultas Teknik. Penelitian ini

dimaksudkan untuk melakukan analisis motor induksi kapasitor permanen enam kutub terhadap pengaruh perubahan tegangan terhadap torsi, tegangan terhadap kecepatan, frekuensi terhadap kecepatan, beban terhadap torsi, dan beban terhadap. Adapun waktu pelaksanaan penelitian di mulai dari bulan November 2014 hingga bulan Januari 2015 dengan rentang waktu pengukuran selama 60 hari.

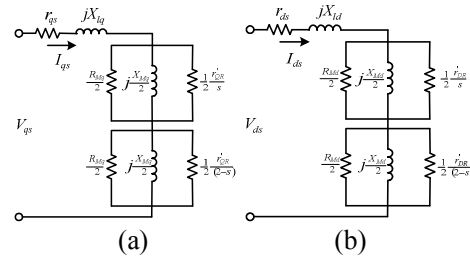
3.2 Flowchart Penelitian



3.3 Penentuan Parameter Rangkaian Ekuivalen Bentuk Invers Γ .

Model rangkaian ekuivalen mesin induksi satu fasa memerlukan nilai-nilai parameter dari mesin tersebut. Untuk memperoleh model mesin yang akurat, yang merepresentasikan

semua karakteristik dari mesin, parameter perlu dihitung dengan teliti. Penentuan parameter yang dibuat pada penulisan ini dilakukan pada kondisi mantap. Analisis detail lanjutan dilakukan untuk menghasilkan data yang dibutuhkan dalam pemodelan. Penggunaan persamaan nonlinear dilakukan dalam perhitungan parameter lanjutan. Resistansi rugi-rugi R_{Mq} dan R_{Md} ditambahkan pada rangkaian ekuivalen untuk menghitung rugi-rugi inti yang disebabkan oleh arus rugi-rugi *eddy current* dan *hysterisis*.



Gambar 3.1 Rangkaian ekuivalen mesin induksi satu fasa bentuk invers Γ (a). Sumbu q, (b) sumbu d. (Hamzah, 2009)

Gambar 3.1 menunjukkan rangkaian ekuivalen dari motor induksi satu fasa bentuk invers Γ dalam keadaan mantap dimana gambar 3.1 (a) adalah belitan utama dan 3.1 (b) adalah belitan bantu.

3.3.1 Pengujian Pengukuran Tahanan Belitan Stator

Untuk memperoleh nilai hambatan pada belitan stator (r_{qs} dan r_{ds}) dilakukan dengan menghubungkan tegangan DC (V_{dc}) pada dua terminal input dan diukur arus DC-nya (I_{dc}). Pada pengukuran ini tidak mengalir arus rotor karena tidak ada tegangan yang terinduksi.

Untuk menentukan nilai resistansi pada stator (r_{qs} dan r_{ds}) dihitung menggunakan persamaan 3.1 (Guru dan Hizioglu.,1988) :

$$r = \frac{V_{dc}}{I_{dc}} \quad (3.1)$$

Tabel 3.1 Pengujian Tahanan Belitan Stator

Jenis Belitan	Vdc (Volt)	Idc (Amp)
Belitan Utama	3,0	0,8
Belitan Bantu	4,5	0,4

Dari persamaan (3.1) nilai r_{qs} dan r_{ds} menjadi :

$$r_{qs} = \frac{3,0}{0,8} = 3,75 \quad \Omega$$

dan

$$r_{ds} = \frac{4,5}{0,4} = 11,25 \quad \Omega$$

3.3.2 Pengujian Hubung Singkat/ Pengujian Rotor Tertahan

Pengujian hubung singkat atau disebut juga dengan pengujian rotor-tertahan dilakukan dengan menahan rotor dan memberikan suplai tegangan satu fasa pada terminal utama dengan terminal belitan bantu kondisi terbuka ($n_m = 0$, $s = 1$). Suplai tegangan yang diberikan naik secara bertahap dan dicatat daya input, tegangan fasa dan arus yang melalui belitan bantu. Demikian juga ketika memberikan suplai tegangan bertahap pada belitan bantu dan belitan utama kondisi terbuka, dicatat daya input, tegangan dan arus yang masuk ke belitan utama. Hasil pengukuran dari pengujian hubung singkat dapat dilihat pada tabel 3.2. dan tabel 3.3.

Tabel 3.2 Pengujian hubung singkat: tegangan diberikan pada belitan utama

I_{brq}	V_{brq}	P_{brq}
0,02	2,70	2,50
0,03	3,40	1,00
0,40	4,10	1,60
0,50	4,70	2,33
0,60	5,80	3,00
0,70	6,40	4,00
0,80	7,5	5,75

Tabel 3.3 Pengujian hubung singkat: tegangan diberikan pada belitan bantu.

I_{brd}	V_{brd}	P_{brd}
0,10	2,70	0,30
0,20	4,90	0,90
0,30	6,30	1,65
0,40	9,30	3,00

3.3.3 Pengujian Beban Nol

Pengujian beban nol pada motor induksi memberikan keterangan dalam hal arus eksitasi dan rugi-rugi tanpa beban. Pengujian dilakukan pada frekuensi nominal dan tegangan fasa

seimbang yang diberikan pada terminal stator. Kemudian memberikan suplai tegangan satu fasa pada terminal utama dengan terminal belitan bantu kondisi terbuka dan sebaliknya. Pada saat mesin berputar pada kecepatan sinkron slip s sama dengan nol. Prosedur pengukuran yang dilakukan sama dengan pada pengujian hubung singkat. Hasil pengukuran dari pengujian beban nol dapat dilihat pada tabel 3.4 dan tabel 3.5.

Tabel 3.4 Pengujian beban nol: tegangan diberikan pada belitan utama.

V_{ocq}	I_{ocq}	P_{ocq}
5	0,40	8,00
10	1,20	13,00
15	1,90	20,00
20	2,60	35,00
25	3,20	50,00
30	4,00	76,00

Tabel 3.5 Pengujian beban nol: tegangan diberikan pada belitan bantu.

V_{ocd}	I_{ocd}	P_{ocd}
5	0,20	1,00
10	0,40	3,00
15	0,60	6,00
20	0,80	11,00
25	1,00	14,00
30	1,20	20,00

3.3.4 Penentuan Resistansi Rotor Belitan Utama Rangkaian Ekuivalen Bentuk Invers Γ .

Penentuan resistansi rotor belitan utama rangkaian ekuivalen dihitung dari data pengujian hubung singkat. Dari rangkaian ekuivalen gambar 3.1a dapat dibuat persamaan sebagai berikut:

$$Z_{brq} = \frac{V_{brq}}{I_{brq}} = R_{brq} + jX_{brq} \approx (r_{qs} + r'_{QR}) + jX_{lq} \quad (3.2)$$

Dari hasil pengujian pada tabel 3.2 dan nilai r_{qs} yang telah diketahui sebelumnya, r'_{QR} dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$|Z_{brq}| = \frac{V_{brq}}{I_{brq}} = R_{brq}^2 + X_{brq}^2 \quad (3.3)$$

$$R_{brq} = \frac{P_{brq}}{I_{brq}^2} \quad (3.4)$$

$$X_{brq} = X_{lq} = \sqrt{Z_{brq}^2 - R_{brq}^2} \quad (3.5)$$

$$r'_{QR} = R_{brq} - r_{qs} \quad (3.6)$$

3.3.5 Penentuan Resistansi Rotor Belitan Bantu Rangkaian Ekivalen Bentuk Invers Γ .

Penentuan resistansi rotor belitan bantu rangkaian ekivalen dihitung dari data pengujian hubung singkat. Dari rangkaian ekivalen gambar 3.1b dapat dibuat persamaan sebagai berikut:

$$|Z_{brd}| = \frac{V_{brd}}{I_{brd}} = R_{brd} + jX_{brd} \approx (r_{ds} + r'_{DR}) + jX_{ld} \quad (3.7)$$

Dari hasil pengujian pada tabel 3.3 dan nilai r_{ds} telah diketahui sebelumnya, r'_{DR} dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$R_{brd} = \frac{P_{brd}}{I_{brd}^2} \quad (3.8)$$

$$X_{brd} = X_{ld} = \sqrt{Z_{brd}^2 - R_{brd}^2} \quad (3.9)$$

$$r'_{DR} = R_{brd} - r_{ds} \quad (3.10)$$

Rasio belitan untuk bentuk invers Γ , N_{dq} dapat dihitung dengan persamaan,

$$N_{dq} = \sqrt{\frac{r_{DR}}{r_{QR}}} \quad (3.11)$$

dengan N_{qd} untuk bentuk invers Γ kebalikan dari N_{dq} ,

$$N_{qd} = \frac{1}{N_{dq}} \quad (3.12)$$

3.3.6 Penentuan Parameter Belitan Utama Rangkaian Ekivalen Bentuk Invers Γ .

Penentuan parameter resistansi rugi-rugi inti dan reaktansi magnetisasi belitan utama dihitung dari data pengujian beban nol yaitu menggunakan data tabel 3.4. Dari hasil pengujian pada tabel 3.4 dan nilai r_{qs} , X_{lq} telah diketahui sebelumnya, R_{Mq} dan X_{Mq} dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$R_{Mq} = \frac{V_{ocq}^2}{P_{ocq}} \quad (3.13)$$

$$X_{Mq} = \frac{V_{ocq}}{I_{ocq} \sin \theta_{ocq}} \quad (3.14)$$

3.3.7 Penentuan Parameter Belitan Bantu Rangkaian Ekivalen Bentuk Invers Γ .

Penentuan parameter resistansi rugi-rugi inti dan reaktansi magnetisasi belitan bantu dihitung dari data pengujian beban nol yaitu menggunakan data tabel 3.5. Dari hasil pengujian pada tabel 3.5 dan nilai r_{ds} , X_{ld} telah diketahui sebelumnya, R_{Md} dan X_{Md} dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$R_{Md} = \frac{V_{ocd}^2}{P_{ocd}} \quad (3.15)$$

$$X_{Md} = \frac{V_{ocd}}{I_{ocd} \sin \theta_{ocd}} \quad (3.16)$$

3.3.8 Hasil Perhitungan Parameter Motor Induksi Satu Fasa.

Penentuan parameter rangkaian ekivalen dihitung dari data pengujian tahanan belitan stator, hubung singkat, dan beban nol sehingga diperoleh parameter motor induksi sebagai berikut:

$$r_{qs} = 3,75 \, \Omega \quad r_{ds} = 11,25 \, \Omega$$

$$r_{QR} = 5,23 \, \Omega \quad r_{DR} = 7,5 \, \Omega$$

$$X_{lq} = 2,68 \, \Omega \quad X_{ld} = 13,75 \, \Omega$$

$$R_{Mq} = 11,84 \, \Omega \quad R_{Md} = 45 \, \Omega$$

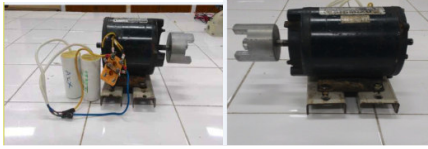
$$X_{Mq} = 9,69 \, \Omega \quad X_{Md} = 30,07 \, \Omega$$

4. HASIL ANALISIS MOTOR INDUKSI KAPASITOR PERMANEN

4.1 Model Analisis Motor Kapasitor Permanen

Mesin induksi satu fasa dapat dioperasikan sebagai motor dengan menghubungkan kapasitor secara seri di belitan bantu yang ada pada stator. Beban dapat dihubungkan di salah satunya, seri atau paralel dengan kapasitor di terminal belitan lainnya. Analisis yang dilakukan yaitu dengan

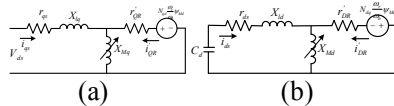
memasukkan pengaruh kejenuhan inti ini ke dalam persamaan yang digunakan.



Gambar 4.1 Motor Induksi Kapasitor Permanen 30 V, 100 W, 6 kutub

4.1.1 Analisis Motor Kapasitor Permanen Beban Nol Bentuk invers Γ

Analisis kedua yang dilakukan yaitu dengan menggunakan rangkaian ekivalen d-q bentuk invers Γ seperti pada gambar IV.4. Kapasitor dihubungkan pada belitan bantu dimana motor dalam kondisi tanpa beban.



Gambar 4.2 Rangkaian ekivalen motor induksi satu fasa bentuk invers Γ . (a) sumbu q, (b) sumbu d

Persamaan tegangan generator pada kondisi beban nol adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} v_{qs} &= r_{qs} i_{qs} + p \lambda_{QS} \\ v_{ds} &= r_{ds} i_{ds} + p \lambda_{DS} \\ 0 &= r_{QR}' i_{QR} - N_{qd} \omega_r \frac{k_q}{k_d} \lambda_{Md} + p \lambda_{Mq} \\ 0 &= r_{DR}' i_{DR} + N_{dq} \omega_r \frac{k_d}{k_q} \lambda_{Mq} + p \lambda_{Md} \end{aligned} \quad (4.1)$$

Untuk memudahkan perhitungan selanjutnya, persamaan tegangan dan fluks dapat dibuat dalam fungsi reaktansi (Ong, 1998). Maka persamaan (4.1) dapat ditulis menjadi:

$$\begin{aligned} v_{qs} &= r_{qs} i_{qs} + \frac{p}{\omega_b} \psi_{QS} \\ v_{ds} &= r_{ds} i_{ds} + \frac{p}{\omega_b} \psi_{DS} \\ 0 &= r_{QR}' i_{QR} - N_{qd} \frac{\omega_r}{\omega_b} \psi_{Md} + \frac{p}{\omega_b} \psi_{Mq} \\ 0 &= r_{DR}' i_{DR} + N_{dq} \frac{\omega_r}{\omega_b} \psi_{Mq} + \frac{p}{\omega_b} \psi_{Md} \end{aligned} \quad (4.2)$$

Dimana ω_b adalah kecepatan sudut dasar listrik yang digunakan untuk menghitung reaktansi induktif. Persamaan fluksi lingkup saat ini ditulis sebagai fungsi fluks lingkup per detik. Maka:

$$\begin{aligned} \psi_{QS} &= X_{lq} i_{qs} + \psi_{Mq} \\ \psi_{DS} &= X_{ld} i_{ds} + \psi_{Md} \\ \psi_{Mq} &= X_{Mq} (i_{qs} + i_{QR}') \\ \psi_{Md} &= X_{Md} (i_{ds} + i_{DR}') \end{aligned} \quad (4.3)$$

$$i_{qs} = \frac{\psi_{QS} - \psi_{Mq}}{X_{lq}} \quad (4.4)$$

$$i_{ds} = \frac{\psi_{DS} - \psi_{Md}}{X_{ld}}$$

$$i_{QR}' = \frac{\psi_{Mq}}{X_{Mq}} - i_{qs}$$

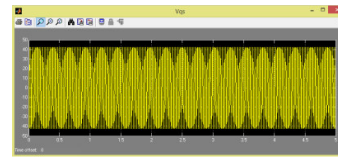
$$i_{DR}' = \frac{\psi_{Md}}{X_{Md}} - i_{ds}$$

Persamaan tegangan kapasitor pada belitan bantu adalah:

$$V_{dsc} = - \int \frac{i_{ds}}{C_d} \quad (4.7)$$

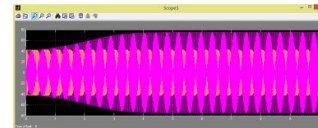
Dengan menggunakan persamaan (4.3-4.7) ke dalam simulasi Matlab diperoleh proses motor induksi kapasitor permanen saat tanpa beban dapat dilihat pada gambar

- Pengaruh motor induksi beban nol 30 V, 6 kutub terhadap tegangan dan arus.



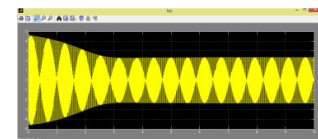
Gambar 4.3 Hasil simulasi tegangan pada sumbu q saat motor induksi kapasitor permanen tanpa beban

Keterangan :
Vqs = 42,42 Volt



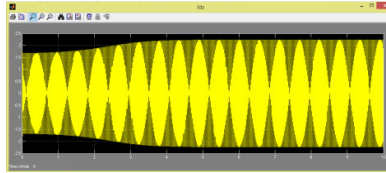
Gambar 4.4 Hasil simulasi tegangan pada sumbu d saat motor induksi kapasitor permanen tanpa beban

Keterangan :
Tegangan awal = 39,8661 V
Tegangan stabil = 74,2297 V
Waktu stabil = 4.0053 s



Gambar 4.5 Hasil simulasi arus pada sumbu q saat motor induksi kapasitor permanen tanpa beban

Keterangan :
Arus awal = 4,75 A
Arus stabil = 2,2441 A
t stabil = 3.1534 s



Gambar 4.6 Hasil simulasi arus pada sumbu d saat motor induksi kapasitor permanen tanpa beban

Keterangan :

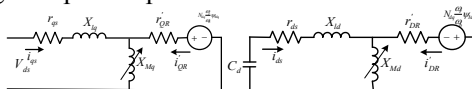
Arus starting = 1,6763 A
 Arus stabil = 2,2164 A
 Waktu stabil = 4.3482 s

Untuk memverifikasi analisis motor induksi kapasitor permanen beban nol yang telah diperoleh, dilakukan eksperimen di laboratorium. Dengan menggunakan motor induksi kapasitor permanen 30 V, 100 W, 6, dimana untuk menjalankan motor kapasitor 80 μF diseriakan dengan belitan bantu. Dari eksperimen ini diperoleh gelombang tegangan pada sumbu q dan d seperti pada gambar 4.3 dan 4.4. Dari hasil simulasi terlihat bahwa tegangan motor induksi kapasitor permanen pada belitan utama stabil dari awal sebesar 42,42 V. Untuk belitan bantu waktu mulai stabil saat $t = 4.0053$ detik, besar tegangan puncak hasil simulasi pada belitan bantu sebesar 74,2297 V.

Selanjutnya dilakukan verifikasi arus pada sumbu q dan d seperti pada gambar 4.5 dan 4.6. Untuk arus belitan utama pada motor induksi kapasitor permanen beban nol stabil pada waktu 3.1534 detik. Besar arus puncak hasil perhitungan sebesar 2,2441 A. Sedangkan arus belitan bantu stabil pada waktu 4.3482 detik, dimana besar arus puncak hasil perhitungan sebesar 2,2164 A.

4.1.2 Analisis Motor Kapasitor Permanen Berbeban Bentuk invers Γ

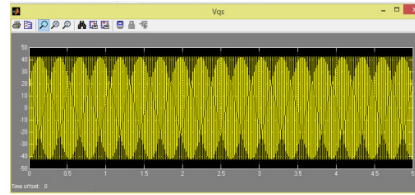
Analisis yang dilakukan selanjutnya yaitu dengan menggunakan rangkaian ekuivalen d-q bentuk invers Γ seperti pada gambar 4.7 dan menghubungkan beban secara paralel dengan kapasitor pada belitan utama.



(a)

(b)

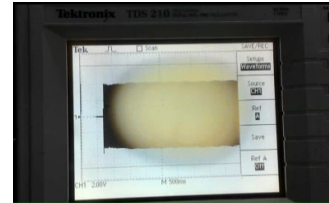
Gambar 4.7 Rangkaian ekuivalen motor induksi kapasitor permanen berbeban bentuk invers Γ . (a) sumbu q, (b) sumbu d.



Gambar 4.8 Hasil simulasi tegangan pada sumbu q saat motor induksi kapasitor permanen berbeban

Keterangan :

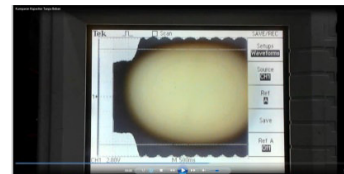
$V_{qs} = 42,42$ Volt



Gambar 4.9 Hasil pengujian tegangan pada sumbu q saat motor induksi kapasitor permanen tanpa beban

Keterangan :

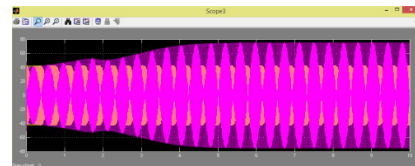
$V_{qs} = 41$ V



Gambar 4.10 Hasil pengujian tegangan pada sumbu d saat motor induksi kapasitor permanen tanpa beban

Keterangan :

Tegangan awal = 44 V
 Tegangan stabil = 80 V
 Waktu stabil = 1,2 s



Gambar 4.11 Hasil simulasi tegangan pada sumbu d saat motor induksi kapasitor permanen berbeban

Keterangan :

Tegangan awal = 39,6483 V
 Tegangan stabil = 72,8832 V
 Waktu stabil = 4,5647 s

Untuk memverifikasi analisis motor induksi kapasitor permanen berbeban yang telah diperoleh, dilakukan eksperimen di laboratorium. Hasilnya tidak berbeda jauh dengan analisis motor induksi kapasitor

permanen beban nol, karena adanya beban yang dipasang pada belitan utama menyebabkan sedikit penurunan terhadap nilai tegangan dan arus seperti pada gambar 4.8 - 4.11. Dari hasil eksperimen terlihat bahwa pada belitan utama stabil dari awal, dimana besar tegangan puncak hasil eksperimen pada belitan utama sebesar 41 V sedangkan pada hasil perhitungan sebesar 42,42 V. Untuk belitan bantu waktu mulai stabil saat $t = 4,5647$ detik, besar tegangan puncak hasil eksperimen pada belitan bantu sebesar 80 V sedangkan pada hasil perhitungan sebesar 72,8832 V. Dari bentuk penaikan gelombang tegangan yang dihasilkan, hasil eksperimen mendekati nilai hasil perhitungan pada belitan utama dan belitan bantu sehingga analisis yang diperoleh valid.

$$\text{Persentase error} = \frac{\text{Hasil}_{\text{pengujian}} - \text{hasil}_{\text{simulasi}}}{\text{hasil}_{\text{pengujian}}} \times 100\% \quad (4.8)$$

- Persentase error tegangan awal pada belitan utama $= \frac{|41 - 42,42|}{41} \times 100\% = 3,46\%$
- Persentase error tegangan awal pada belitan bantu $= \frac{|80 - 72,8832|}{80} \times 100\% = 8,896\%$
- Persentase error tegangan stabil pada belitan bantu $= \frac{|44 - 39,6483|}{44} \times 100\% = 9,89\%$

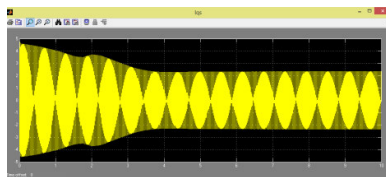


Gambar 4.12 Hasil pengujian arus pada kapasitor saat motor induksi kapasitor permanen berbeban

Keterangan :

Tegangan awal = 40 V

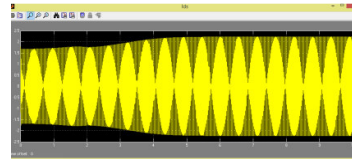
Tegangan stabil = 70 V



Gambar 4.13 Hasil simulasi arus pada sumbu q saat motor induksi kapasitor permanen berbeban

Keterangan :

Arus starting = 4,6351 A
Arus stabil = 2,2889 A
Waktu stabil = 4,0542 s



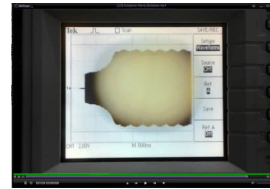
Gambar 4.14 Hasil simulasi arus pada sumbu d saat motor induksi kapasitor permanen berbeban

Keterangan :

Arus starting = 1,6806 A

Arus stabil = 2,1996 A

Waktu stabil = 4,7081 s



Gambar 4.15 Hasil pengujian arus pada sumbu d saat motor induksi kapasitor permanen berbeban

Keterangan :

Arus starting = 2,1 A

Arus stabil = 2,8 A

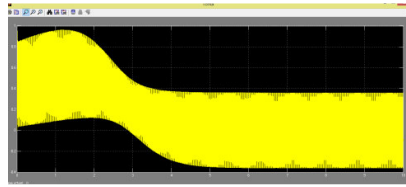
Waktu stabil = 1,3 s

Selanjutnya dilakukan verifikasi arus pada sumbu q dan d. Untuk arus belitan bantu pada motor induksi kapasitor permanen berbeban stabil pada waktu 4,0542 detik. Besar arus puncak hasil eksperimen sebesar 2,8 A sedangkan pada hasil perhitungan sebesar 2,1996 A.

- Persentase error arus *starting* pada belitan bantu $= \frac{|2,1 - 1,6806|}{2,1} \times 100\% = 19,97\%$
- Persentase error arus stabil pada belitan bantu $= \frac{|2,8 - 2,1996|}{2,8} \times 100\% = 21,44\%$

4.1.3 Analisis Perubahan Tegangan pada Motor Induksi Kapasitor Permanen

a. Motor Induksi Kapasitor Permanen Beban Nol.



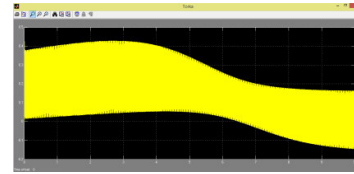
Gambar 4.16 Hasil simulasi torsi saat motor induksi kapasitor permanen tanpa beban

Keterangan :

Torsi saat stabil = 0,3631 Nm

t saat stabil = 4,8928

Tegangan stabil = 49,5717 V
Waktu stabil = 9,2452 s



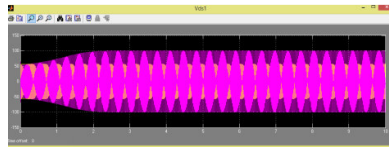
Gambar 4.20 Hasil simulasi torsi (20 V) saat motor induksi kapasitor permanen tanpa beban

Keterangan :

Torsi stabil = 0,1643 Nm

Waktu stabil = 9,4228 s

- Over Voltage = 40 Volt



Gambar 4.17 Hasil simulasi tegangan (40 V) saat motor induksi kapasitor permanen tanpa beban

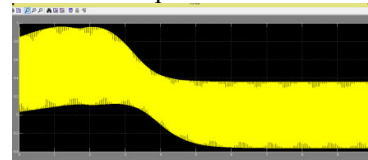
Keterangan :

Tegangan awal = 52,7331 V

Tegangan stabil = 100,0138 V

Waktu stabil = 2,6051 s

b. Motor Induksi Kapasitor Permanen Berbeban



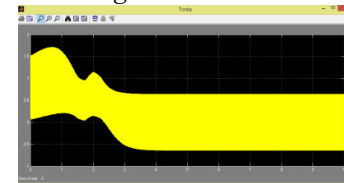
Gambar 4.21 Hasil simulasi torsi saat motor induksi kapasitor berbeban

Keterangan :

Torsi stabil = 0,3745 Nm

Waktu stabil = 4,7425 s

- Over Voltage = 40 V



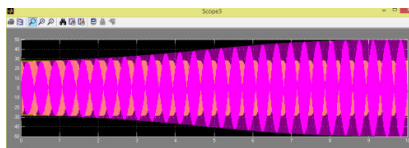
Gambar 4.22 Hasil simulasi torsi (40 V) saat motor induksi kapasitor berbeban

Keterangan :

Torsi stabil = 0,6448 Nm

Waktu stabil = 3,4428 s.

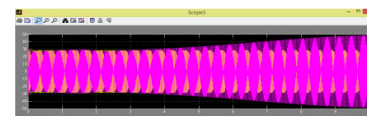
- Under Voltage = 20 V



Gambar 4.19 Hasil simulasi tegangan (20 V) saat motor induksi kapasitor permanen tanpa beban

Keterangan :

Tegangan awal = 22,2476 V



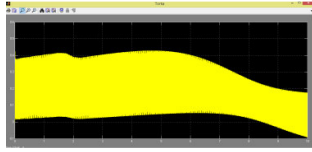
Gambar 4.23 Hasil simulasi tegangan (20 V) saat motor induksi kapasitor permanen berbeban

Keterangan :

Tegangan awal = 25,6343 V

Tegangan stabil = 48,3572 V

Waktu stabil = 9,7651 s



Gambar 4.24 Hasil simulasi torsi (20 V) saat motor induksi kapasitor permanen berbeban

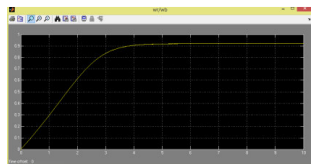
Keterangan :

Torsi stabil = 0,1818 Nm
Waktu stabil = 9,5919 s

Hasil analisa dari pengaruh perubahan tegangan terhadap torsi dari motor induksi kapasitor permanen adalah tegangan sebanding dengan torsi dan berbanding terbalik dengan waktu yang diperlukan untuk stabil. Dari hasil simulasi motor induksi kapasitor permanen tanpa beban, saat tegangan dinaikkan menjadi 40 V Torsi stabil saat 0,644 Nm dengan waktu stabil 2,6529 detik. Sedangkan saat tegangan diturunkan menjadi 20 V torsi stabil saat 0,1818 Nm dengan waktu stabil 9,5919 detik. Dari hasil simulasi motor induksi kapasitor permanen berbeban, saat tegangan dinaikkan menjadi 40 V Torsi stabil saat 0,6448 Nm dengan waktu stabil 3,4428 detik. Sedangkan saat tegangan diturunkan menjadi 20 V torsi stabil saat 0,1643 Nm dengan waktu stabil 9,4228 detik. Semakin besar tegangannya maka semakin besar torsi yang dihasilkan dan waktu yang diperlukan untuk mencapai stabil semakin kecil.

4.1.4 Analisis Perubahan Frekuensi pada Motor Induksi Kapasitor Permanen

a. Motor Induksi Kapasitor Permanen Beban Nol

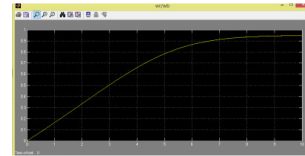


Gambar 4.25 Hasil simulasi kecepatan rotor saat motor induksi kapasitor permanen tanpa beban

Keterangan :

Kecepatan stabil = 0,9173 pu
Waktu stabil = 4,9553 s

- Over Frequency = 70 Hz

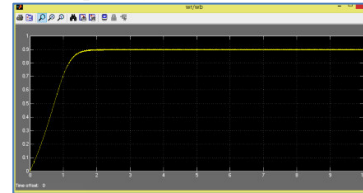


Gambar 4.26 Hasil simulasi kecepatan rotor saat motor induksi kapasitor permanen 70 Hz tanpa beban

Keterangan :

Kecepatan stabil = 0,9465 pu
Waktu stabil = 9,4832 s

- Under Frequency = 30 Hz

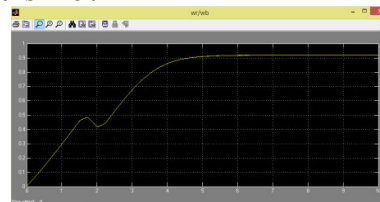


Gambar 4.27 Hasil simulasi kecepatan rotor saat motor induksi kapasitor permanen 30 Hz tanpa beban

Keterangan :

Kecepatan stabil = 0,8999 pu
Waktu stabil = 2,0057 s

b. Motor Induksi Kapasitor Permanen Berbeban Frekuensi = 50 Hz

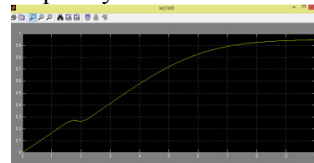


Gambar 4.28 Hasil simulasi kecepatan rotor saat motor induksi kapasitor permanen 50 Hz berbeban

Keterangan :

Kecepatan stabil = 0,9085 pu
Waktu stabil = 4,9253 s

- Over Frequency = 70 Hz

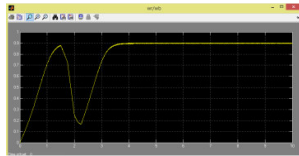


Gambar 4.29 Hasil simulasi kecepatan rotor saat motor induksi kapasitor permanen 70 Hz berbeban

Keterangan :

Kecepatan stabil = 0,9455 pu
Waktu stabil = 9,7919 s

- Under Frequency = 30 Hz



Gambar 4.30 Hasil simulasi kecepatan rotor saat motor induksi kapasitor permanen 30 Hz berbeban

Keterangan :

Kecepatan stabil = 0,9002pu

Waktu stabil = 4,0057 s

Hasil analisis dari pengaruh perubahan frekuensi terhadap kecepatan dari motor induksi kapasitor permanen adalah frekuensi sebanding dengan torsi dan waktu yang diperlukan untuk stabil. Dari hasil simulasi motor induksi kapasitor permanen tanpa beban, saat frekuensi dinaikkan menjadi 70 Hz, kecepatan stabil saat sebesar 0,9465 pu dengan waktu stabil sebesar 9,4832 detik. Sedangkan saat frekuensi diturunkan menjadi 20 V kecepatan stabil saat 0,8999 pu dengan waktu stabil sebesar 2,0057 detik. Dari hasil simulasi motor induksi kapasitor permanen berbeban, saat frekuensi dinaikkan menjadi 70 Hz, kecepatan stabil saat sebesar 0,9455 pu dengan waktu stabil sebesar 9,7919 detik. Sedangkan saat frekuensi diturunkan menjadi 20 V kecepatan stabil saat 0,9002pu dengan waktu stabil sebesar 4,0057 detik. Semakin besar frekuensinya maka semakin besar juga kecepatan yang dihasilkan dan waktu yang diperlukan untuk mencapai stabil semakin besar juga.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil evaluasi terhadap Analisis dan Pemodelan Motor Induksi Kapasitor Permanen dengan Rangkaian Ekuivalen Invers Γ dapat disimpulkan :

1. Model rangkaian ekuivalen invers Γ memiliki jumlah parameter yang lebih sedikit, sehingga dalam penentuan parameter rangkaian ekuivalennya tidak membutuhkan asumsi reaktansi bocor stator sama dengan reaktansi bocor rotor.
2. Berdasarkan dari hasil eksperimen motor induksi kapasitor permanen berbeban pada belitan utamanya, tegangan V_{qs}

terlihat stabil dari awal, dimana besar tegangan puncak hasil eksperimen pada belitan utama sebesar 41 V sedangkan pada hasil perhitungan sebesar 42,42 V. Untuk belitan bantu waktu mulai stabil saat $t = 4,5647$ detik, besar tegangan puncak hasil eksperimen pada belitan bantu sebesar 80 V sedangkan pada hasil perhitungan sebesar 72,8832 V. Dari bentuk penaikan gelombang tegangan yang dihasilkan, hasil eksperimen mendekati nilai hasil perhitungan pada belitan utama dan belitan bantu sehingga analisis yang diperoleh valid.

3. Berdasarkan analisa pengaruh perubahan tegangan terhadap torsi dari motor induksi kapasitor permanen, tegangan sebanding dengan torsi dan berbanding terbalik dengan waktu yang diperlukan untuk stabil. Dari hasil simulasi motor induksi kapasitor permanen tanpa beban, saat tegangan dinaikkan menjadi 40 V Torsi stabil saat 0,644 Nm dengan waktu stabil 2,6529 detik. Sedangkan saat tegangan diturunkan menjadi 20 V torsi stabil saat 0,1818 Nm dengan waktu stabil 9,5919 detik. Dari hasil simulasi motor induksi kapasitor permanen berbeban, saat tegangan dinaikkan menjadi 40 V Torsi stabil saat 0,6448 Nm dengan waktu stabil 3,4428 detik. Sedangkan saat tegangan diturunkan menjadi 20 V torsi stabil saat 0,1643 Nm dengan waktu stabil 9,4228 detik.
4. Berdasarkan analisa pengaruh perubahan frekuensi terhadap kecepatan Hasil analisis dari pengaruh perubahan frekuensi terhadap kecepatan dari motor induksi kapasitor permanen adalah frekuensi sebanding dengan torsi dan waktu yang diperlukan untuk stabil. Dari hasil simulasi motor induksi kapasitor permanen tanpa beban, saat frekuensi dinaikkan menjadi 70 Hz, kecepatan stabil saat sebesar 0,9465 pu dengan waktu stabil sebesar 9,4832 detik. Sedangkan saat frekuensi diturunkan menjadi 20 V kecepatan stabil saat 0,8999 pu dengan waktu stabil sebesar 2,0057 detik. Dari hasil simulasi motor induksi kapasitor permanen berbeban, saat frekuensi

dinaikkan menjadi 70 Hz, kecepatan stabil saat sebesar 0,9455 pu dengan waktu stabil sebesar 9,7919 detik. Sedangkan saat frekuensi diturunkan menjadi 20 V kecepatan stabil saat 0,9002pu dengan waktu stabil sebesar 4,0057 detik. Semakin besar frekuensinya maka semakin besar juga kecepatan yang dihasilkan dan waktu yang diperlukan untuk mencapai stabil semakin besar juga.

Wahyudinata.2010.Analisis Performansi Motor Induksi Kapasitor Permanen Satu Fasa dengan Belitan Bantu dan Belitan Utama Berdasarkan Teori Medan Fluksi Silang dan Teori Medan Fluksi Ganda.*Skripsi*. Program S1 Departemen Teknik Elektro Universitas USU.

5.2 Saran

Untuk penelitian selanjutnya, perlu dilakukan pembahasan aplikasi yang dapat digunakan dari model rangkaian ekivalen invers Γ seperti misalnya dalam bidang pengontrolan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdul Kadir, Prof. Ir. "Mesin Tak Serempak".PT Djambatan : Jakarta.1981
- Bhag S. Guru, Huseyin R. Hiziroglu, "Electric Machinery and Transformers", Harcourt Brace Javanovich, San Diego, 1988.
- Hamzah, Amir.Analisis Pengaruh Perubahan Kecepatan, Kapasitansi, dan Beban pada Generator Induksi Satu Fasa". Jurnal Sains dan Teknologi. Pekanbaru. 2009
- Hamzah, Amir.,et al."Analisis dan Pemodelan Generator Induksi Satu Fasa Penguatan Sendiri dengan Rangkaian Ekivalen Invers Γ .Seminar UR-UKM ke-7 .Pekanbaru.2012
- Handoko,Didi.2010.AAnalisis Perbandingan Karakteristik dari Penggunaan Beberapa Nilai Kapasitor *Runningg* pada Motor Induksi 1 Fasa. Program S1 Departemen Teknik Elektro Universitas USU.
- Krause, Paul C,et al."Analysis of Electric Machinery".IEEE Power Engineering Society.New York.1995
- Kresna, Nursun Hardi.Model Perhitungan Pengaruh Kapasitor terhadap Kinerja Motor Induksi.Jurnal Seminar Hasil.Padang.2007
- Sinaga,Ridwan.2011. Analisis Karakteristik Berbeban Motor Induksi Satu Fasa Kapasitor *Start*.*Skripsi*. Program S1 Departemen Teknik Elektro Universitas USU.
- Sitanggang,Franklyn.2010.Analisis Perbandingan Karakteristik Berbeban Motor Kapasitor *Start* dengan Motor Kapasitor *Run* Berdasarkan Metode Teori Medan Fluksi Silang dan Teori Medan Fluksi Ganda.*Skripsi*. Program S1 Departemen Teknik Elektro Universitas USU.