

UNJUK KERJA MOTOR INDUKSI TIGA FASE ROTOR SANGKAR DENGAN BERBAGAI PENGASUTAN

Performance of Cage Rotor Three Phase Induction Motor with Various Starting

Sultan¹, I Made Ari Nrartha², Agung Budi Muljono³

ABSTRAK

Arus pengasutan motor induksi cukup besar yakni dua sampai tujuh kali dari arus nominal motor. Arus pengasutan yang tinggi pada motor kapasitas besar dapat menyebabkan drop tegangan pada sistem sehingga membahayakan peralatan lain pada sistem. Motor induksi kapasitas besar adalah motor induksi tiga fase jenis rotor sangkar. Pada penelitian telah dibuat sistem pengukuran arus, tegangan dan kecepatan secara realtime untuk melihat unjuk kerja sistem pengasutan motor seperti sistem DOL dan sistem Bintang-Delta. Pengukuran menggunakan sensor arus, sensor tegangan dan sensor kecepatan diteruskan ke komputer menggunakan ADC (arduino). Hasil pengukuran dapat disimpan dan ditampilkan dalam bentuk grafik. Penelitian ini menghasilkan yakni arus pengasutan rata-rata sistem DOL adalah tiga kali dari arus nominal motor. Pengasutan sistem Bintang-Delta menghasilkan arus pengasutan rata-rata satu setengah kali dari arus nominal motor. Pada pengasutan sistem Bintang-Delta, lonjakan arus terjadi dua kali saat motor terhubung bintang dan saat terhubung delta. Hasil penelitian menunjukkan unjuk kerja pengasutan sistem Bintang-Delta lebih baik dari sistem DOL pada saat motor berbeban maupun tanpa beban.

Kata kunci: Motor Induksi, Sistem DOL, Sistem Bintang-Delta.

ABSTRACT

Starting current of induction motor is big enough that two to seven times the nominal current of the motor. Starting current is high in large capacity motors can cause a voltage drop on the system so that harm other equipment in the system. In research has made measurement systems for current, voltage and speed in real time to see the starting of the motor system performance such as system DOL and Star-Delta system. Measurements using current sensor, voltage sensor and speed sensor is passed to the computer using the ADC (arduino). The measurement results can be stored and displayed in graphical form. This research resulted in the average starting current DOL system is three times the nominal current of the motor. Star-Delta starting system generates the starting current average of one and a half times the nominal current of the motor. In the Star-Delta starting system, surge occurs twice when the motor is connected star and when connected delta. The results show the performance of Star-Delta starting system is better than the current system in the motor DOL loaded and no load.

Keywords: Induction Motor, DOL System, Star-Delta System.

PENDAHULUAN

Penggunaan motor induksi sangat luas baik skala kecil (rumah tangga) maupun skala besar (pabrik-pabrik, perhotelan, perkantoran dan mall). Penggunaan motor induksi yang sangat luas ini mendorong dilakukannya perbaikan-perbaikan operasi motor sehingga dapat menambah perbaikan unjuk kerja motor itu sendiri maupun unjuk kerja sistem dimana motor induksi tersebut terhubung. Unjuk kerja sistem sangat dipengaruhi oleh setiap peralatan yang terhubung pada sistem. Motor induksi mempunyai kelemahan yakni mempunyai arus pengasutan yang cukup tinggi sehingga dapat menyebabkan drop tegangan sistem.

Pada Laboratorium Sistem Tenaga Fakultas Teknik Universitas Mataram, sistem pengasutan motor induksi sudah dipraktikkan pada Praktikum Mesin-mesin Listrik sub percobaan Mesin AC lanjut. Pada percobaan tersebut pengukuran dilakukan secara manual menggunakan alat ukur analog. Pengukuran arus asut motor induksi yang terbaca menggunakan perkiraan saja karena waktu arus asut motor sangat singkat sehingga praktikan memperkirakan besar arus berdasarkan penyimpangan arus tertinggi yang terjadi saat motor diberikan tegangan masukan. Tegangan sistem yang terukur secara pengamatan kelihatan tidak ada perubahan sehingga banyak informasi pengukuran yang hilang.

¹Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Mataram, Nusa Tenggara Barat, Indonesia

Penelitian ini merupakan kelanjutan penelitian Nrartha, (2013) mengenai perancangan *interface* untuk visualisasi kecepatan dan suhu motor DC *shunt* berbeban. Penelitian tersebut berhasil membuat *interface* untuk melihat secara *realtime* unjuk kerja kecepatan dan suhu motor DC *shunt* berbeban. Pembuatan *interface* yang sama dilakukan dengan menambahkan sensor arus dan sensor tegangan pada *interface*. Sensor-sensor ini untuk mengamati perilaku arus asut, kecepatan dan tegangan suplai motor induksi tiga fase jenis rotor sangkar saat motor mulai diasut untuk kondisi motor berbeban dan tidak berbeban.

Motor listrik merupakan perangkat elektromagnetis yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Motor listrik banyak digunakan untuk kebutuhan rumah tangga (*mixer*, bor listrik, kipas angin) dan di industri-industri. Motor listrik kadangkala disebut "kuda kerja" nya industri sebab diperkirakan bahwa motor-motor listrik menggunakan sekitar 70% beban listrik total di industri (anonim, 2013).

Penelitian tentang pengasutan motor induksi telah banyak dilakukan, mulai dengan sistem pengasutan secara konvensional oleh Badarusman (2012) sampai dengan sistem secara otomatis dan bahkan telah dilakukan dengan sistem cerdas.

Beban motor induksi memiliki karakteristik yang berbeda-beda, seperti beban yang memiliki karakteristik kecepatan yang tetap hanya dapat dikopel dengan motor induksi yang memiliki kecepatan relatif konstan. Beban yang kecepatannya konstan seperti, eskalator pada *Mall*, ban berjalan pada industri, mesin bubut dan yang lainnya (Isdiyanto, 2010).

Bentuk fisik dari luar Motor induksi dapat dilihat pada Gambar 1 dan gambar 2 berikut:



Gambar 1. Bentuk Fisik Motor Induksi (Anonim, 2014)

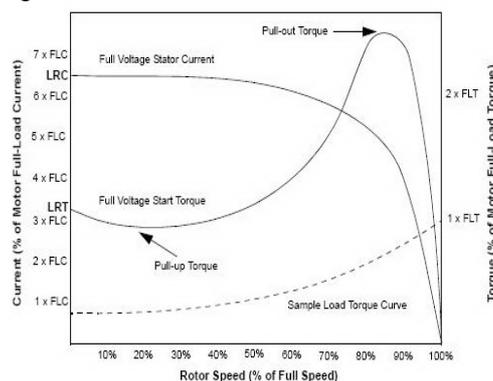


Gambar 2. Motor Induksi Dilihat Ke Dalam (Anonim, 2014)

Penamaan motor induksi dari kenyataan bahwa arus rotor motor bukan diperoleh dari sumber tertentu, tetapi merupakan arus yang terinduksi sebagai akibat adanya perbedaan relatif antara putaran rotor dengan medan putar yang dihasilkan oleh arus stator.

Belitan stator yang dihubungkan dengan suatu sumber tegangan tiga fasa akan menghasilkan medan magnet yang berputar dengan kecepatan sinkron. Medan putar pada stator tersebut akan memotong konduktor-konduktor pada rotor, sehingga terinduksi arus sesuai dengan Hukum Lenz, rotor pun akan ikut berputar mengikuti medan putar stator.

Perbedaan putaran relatif antara stator dan rotor disebut *slip*. Bertambahnya beban akan memperbesar kopel motor, sehingga memperbesar arus induksi pada rotor (*slip* bertambah besar). Jadi, beban motor bertambah, putaran rotor cenderung turun. Dikenal dua tipe motor induksi yaitu motor induksi dengan rotor belitan dan rotor sangkar.



Gambar 3. Karakteristik Torsi Kecepatan Motor Induksi (Anonim, 2014)

Kecepatan motor induksi tidak konstan karena dipengaruhi oleh tegangan, frekwensi juga perubahan beban, hal ini yang menyebabkan perubahan harga *slip* sampai 100% saat *start*, sampai 0% pada saat motor diam (Zuhal, 1988). Hubungan karakteristik antara beban, kecepatan dan torsi pada motor induksi seperti pada Gambar 3 diatas.

Pengasutan motor induksi dapat dilakukan dengan berbagai metoda. Metoda-metoda ini bertujuan untuk mengurangi arus asut motor sehingga *drop* tegangan pada sistem dapat dikurangi dan tidak berbahaya bagi peralatan-peralatan lain dalam sistem. Berbagai metoda pengasutan yang sering digunakan seperti: pengasutan sistem DOL, sistem Bintang Delta, pengasutan dengan transformator, pengasutan dengan tahanan (khusus untuk motor induksi jenis belitan), dan pengasutan dengan kapasitor.

METODE PENELITIAN

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini ditabelkan pada Tabel 1.dan Tabel 2.berikut:

Tabel 1. Peralatan untuk Penelitian

No	Nama Alat	Jumlah
1	Motor induksi 3 <i>phasa</i> (LB 1 kW, 230/400 V)	1
2	Generator DC <i>shunt</i>	1
3	Beban resistor	1
4	Tachometer	1
5	Tachogenerator	1
6	Voltmeter	2
7	Amperemeter	3
8	Komputer 1 set + <i>software</i> MATLAB	1
9	Mikrokontroler (Arduino Uno)	1

Tabel 2. Bahan untuk Penelitian

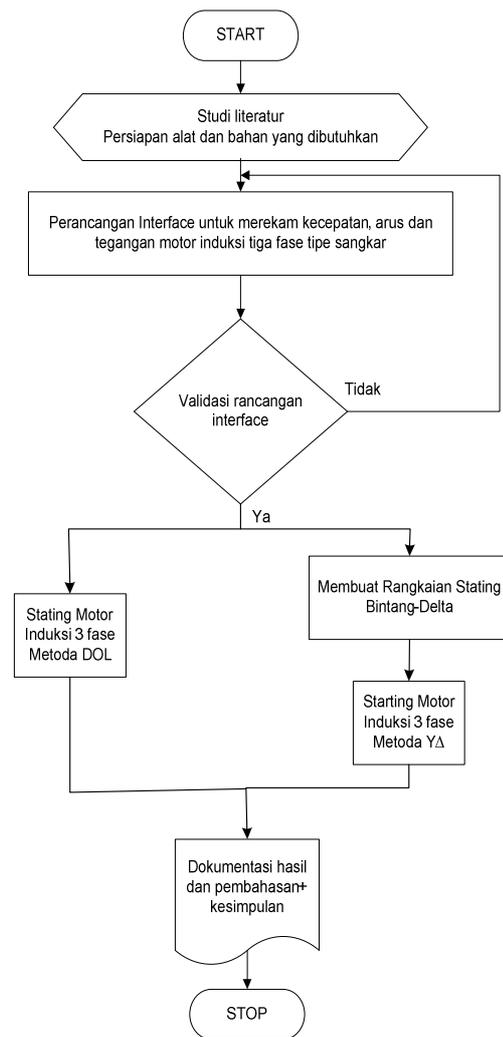
No	Nama Bahan	Jumlah
1	<i>Magnetic Contactor</i>	3
2	<i>Timer</i>	1
3	Sensor Arus	1
4	Transformator 1 fase (3 A)	1
5	Tahanan (R)	6
6	Dioda	3
7	Papan untuk panel sensor arus, sensor tegangan, dan transformator.	Secukupnya
8	Timah	Secukupnya
9	Rumah cok	Secukupnya
10	Kabel	Secukupnya

Pengukuran unjuk kerja motor dilakukan secara *real time* dengan alat ukur analog dan rancangan *interface*. Rancangan *interface* menggunakan mikrokontroler (Arduino) sebagai ADC, yang dilengkapi dengan sensor arus, sensor tegangan dan sensor kecepatan. Hasil dari sensor-sensor ini dapat direkam secara langsung pada komputer.

Rancangan sensor arus menggunakan sensor arus yang dilengkapi dengan kombinasi tahanan, penyearahan dan *filter* frekuensi tinggi. Penyearahan diperlukan karena ADC membutuhkan masukan DC. Sensor tegangan menggunakan pembagian

tegangan dari kombinasi tahanan. Masukan ADC dibatasi lima volt sehingga dibutuhkan transformator 1 fase untuk menurunkan tegangan dari 220 Volt ke tegangan 12 Volt AC, sebelum masuk ke rangkaian pembagi tegangan dan penyearahan. Sensor kecepatan berupa tachogenerator. Tachogenerator mempunyai keluaran tegangan yang proporsional dengan kecepatannya, yaitu 1000 rpm sama dengan 1 volt DC.

Pengujian *Interface* dilakukan untuk mendapatkan hasil pengukuran sensor-sensor adalah valid. Unjuk kerja sistem pengasutan motor diukur dengan dua cara yaitu menggunakan alat ukur analog/digital (cara konvensional) dan menggunakan *interface* yang telah dibuat dan dapat direkam secara langsung pada komputer. Hasil dua pengukuran ini akan dibandingkan, dibahas kemudian dibuatkan kesimpulannya. Gambar 3 menunjukkan diagram alir penelitian.

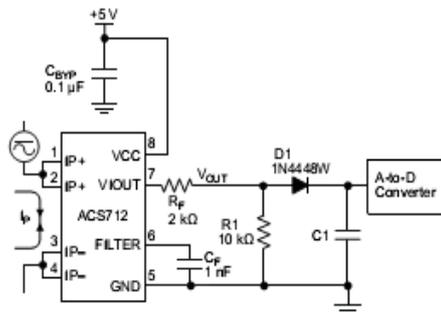


Gambar 4. Bagan Alir Metode Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebelum melakukan pengukuran unjuk kerja starting motor induksi tiga fase, dilakukan pembuatan dan pengujian sensor-sensor yang digunakan, seperti: sensor arus, sensor tegangan dan sensor kecepatan.

Pembuatan dan Pengujian Sensor Arus. ACS712 digunakan sebagai sensor arus. V_{out} pada kaki 7 harus diberikan perbandingan tahanan tertentu sehingga hasil keluaran V_{out} berupa tegangan. Tegangan ini dapat diteruskan pembacaannya lewat PortIn analog dari arduino. Rangkaian lengkap sensor arus menggunakan ACS712 dapat dilihat pada Gambar 5. berikut:



Gambar 5. Sensor Arus dengan ACS712 (Anonim, 2012)

Hasil pengujian sensor arus melalui arus masukan pada pin 1/2 dan arus keluar dari pin 3/4 dapat ditabelkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian Sensor Arus

No	Arus AC masukan (A)	Vout DC (V)
1	0.0	2.240
2	0.4	2.464
3	0.6	2.533
4	0.8	2.558
5	1.0	2.605
6	1.2	2.666
7	1.4	2.727
8	1.6	2.780
9	1.8	2.832
10	2.0	2.890

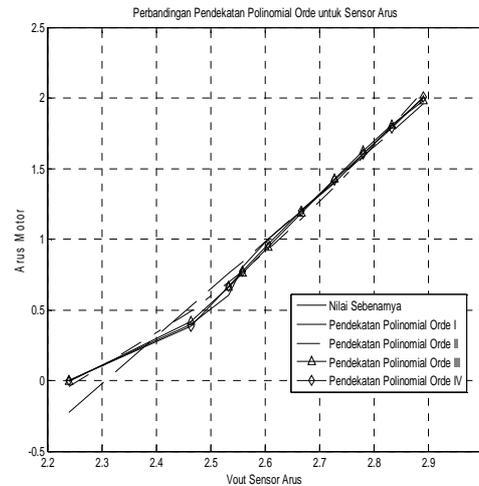
Hasil pengujian ini digunakan untuk membuat persamaan polinomial yang akan digunakan pada program untuk menampilkan arus asut dari masukan yang diterima dari ADC arduino. Polinomial yang dipilih berdasarkan MSE (*Mean Square Error*) terkecil dari masing-masing pendekatan orde polinomial. Untuk mendapatkan polinomial dari data pengujian akan digunakan fungsi polifit pada MATLAB.

```
a=polyfit( arusac , Vout , 1 ) ;
```

Keterangan:

- a = konstanta polynomial.
- Arus ac = *output* keluaran program.
- V_{out} = *output* dari serial arduino/ADC.
- 1 = polinomial orde 1.

Gambar 6. menunjukkan perbandingan pendekatan data pengukuran dengan masing-masing pendekatan polinomial orde yang ditampilkan dalam bentuk grafik hubungan V_{out} sensor terhadap besar arus motor.



Gambar 6. Perbandingan Polinomial Orde Sensor Arus.

Hasil grafik pendekatan polinomial tidak jauh berbeda dengan data hasil pengukuran sensor. Untuk mengurangi waktu sensor dalam menampilkan hasil maka dalam program dipilih pendekatan polinomial orde satu.

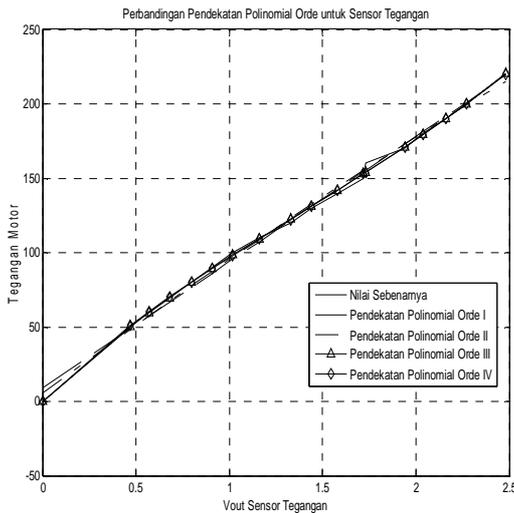
Pembuatan dan Pengujian Sensor Tegangan. Rangkaian sensor tegangan menggunakan pembagian tegangan. Tegangan maksimum untuk masukan ADC adalah 5 volt DC. Diperlukan transformator untuk menurunkan tegangan fase motor dari 220 V ke tegangan 5 volt. Pada penelitian ini dipergunakan transformator *center tap* dengan masukan 220 V dan keluaran 12 V ke 12 V dengan center tap. Keluaran 12 V ke 12 V (24 V) dibagi lagi dengan pembagi tegangan menggunakan kombinasi tahanan. Kemudian nilai ini disearahkan dengan penyearah gelombang penuh menggunakan 2 diode. Hasil sensor diteruskan ke PortIn analog pada ADC/arduino.

Hasil pengujian dari sensor tegangan dapat ditabelkan pada Tabel 4. sebagai berikut:

Tabel 4. Hasil Pengujian Sensor Tegangan

No	Tegangan AC (V)	Vout DC Sensor (V)
1	0	0.000
2	50	0.470
3	60	0.570
4	70	0.680
5	80	0.800
6	90	0.910
7	100	1.020
8	110	1.160
9	120	1.330
10	130	1.440
11	140	1.580
12	150	1.720
13	160	1.730

Gambar 7. menunjukkan grafik perbandingan data pengukuran sensor tegangan dengan pendekatan masing-masing polinomial.



Gambar 7. Perbandingan Polinomial Orde Sensor Arus

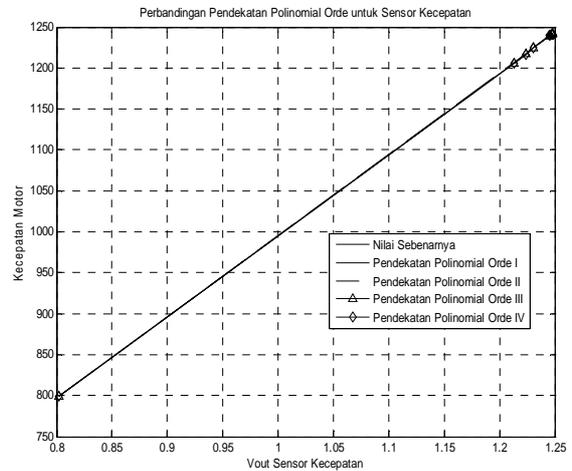
Seperti sensor arus hasil perbandingan polinomial orde sensor tegangan hampir sama sehingga untuk mengurangi waktu sensor dalam menampilkan hasilnya maka dalam program dipilih pendekatan orde satu.

Pengujian Sensor Kecepatan. Sensor kecepatan menggunakan tachogenerator yang dikopel langsung pada motor. Pengujian tachogenerator menghasilkan hasil pengujian seperti pada Table 5. berikut:

Tabel 5. Hasil Pengujian Sensor Kecepatan

No	Kecepatan (rpm)	Vout Sensor DC(V)
1	799	0.802
2	1206	1.213
3	1216	1.224
4	1225	1.231
5	1239	1.245
6	1240	1.246
7	1241	1.247
8	1242	1.248

Gambar 8 menunjukkan perbandingan masing-masing polinomial orde yang ditampilkan dalam bentuk grafik hubungan Vout sensor kecepatan terhadap kecepatan motor.



Gambar 8. Perbandingan Polinomial Orde Sensor Kecepatan

Seperti sensor arus hasil perbandingan polinomial orde sensor kecepatan hampir sama sehingga untuk mengurangi waktu sensor dalam menampilkan hasilnya maka dalam program dipilih pendekatan orde satu.

Unjuk kerja Metoda Pengasutan Motor Pengujian Konvensional. Pengujian unjuk kerja motor induksi (Motor Induksi Tiga Fase 1 kW, 400Y/230Δ, arus 2.4Y/4.2Δ, cos pi = 0.8 lag). Data hasil pengujian pengasutan motor induksi untuk sistem DOL ditabelkan pada Tabel 6 dan sistem Bintang-Delta ditabelkan pada Tabel 7.

Tabel 6. Hasil Pengujian Kinerja Motor Induksi Tiga Fase untuk Sistem DOL

Pengujian Beban Nol								
Hubungan Motor	Arus (Amp)		Teg. (Volt)		Daya (Watt)		Putaran motor RPM	beban
	I_{St}	I_{Ss}	V_{L-N}	V_{L-L}	P_{St}	P_{Ss}		
bintang	5,0	0,82	125	220	1100	70	1495	0
segitiga	5,5	2,75	-	220	1400	160	1503	0
Pengujian berbeban								
Hubungan Motor	Arus (Amp)		Teg (Volt)		Daya (Watt)		Putaran motor (RPM)	R (%)
	I_{St}	I_{Ss}	V_{L-N}	V_{L-L}	P_{St}	P_{Ss}		
Bintang	>6	1,09	125	220	2400	140	1463	100%
segitiga	>6	2,8	-	220	4000	420	1497	100%
Bintang	>6	1,15	125	220	2800	300	1457	80%
segitiga	>6	2,82	-	220	>3600	440	1485	80%
Bintang	>6	1,2	125	220	2880	360	1452	60%
segitiga	>6	2,89	-	220	>3600	460	1483	60%
Bintang	>6	1,3	125	220	3000	400	1447	40%
segitiga	>6	2,91	-	220	>3600	520	1480	40%

Tabel 6. menunjukkan pengasutan motor induksi rotor sangkar dengan sistem DOL, arus asut (I_{St}) untuk hubungan motor, Bintang (Y) adalah 0,7 ampere dan hubungan Delta (Δ) adalah 2,5 Ampere, sedangkan untuk arus *steady state* (I_{Ss}) adalah 0,23 Ampere untuk hubungan Bintang dan 0,95 Ampere untuk hubungan Delta saat motor beban nol (tanpa beban). Hasil pengukuran ini menunjukkan saat diasut maupun saat kondisi *steady state* arus hubungan Bintang lebih kecil dari hubungan Delta. Putaran motor untuk kedua hubungan motor tersebut tidak menunjukkan perbedaan yang besar. Putaran motor relatif hampir sama yaitu 1495 RPM untuk pengasutan sistem DOL-Bintang, dan 1503 RPM untuk pengasutan sistem DOL-Delta.

Pengujian yang dilakukan dalam kondisi motor berbeban juga menghasilkan arus asut (I_{St}) pada pengasutan motor dengan sistem DOL-Bintang lebih kecil dibanding dengan motor diasut dengan sistem DOL-Delta. Hasil pengujian dalam penelitian ini menunjukkan bahwa bila menjalankan motor listrik berbeban dan memiliki berkapasitas besar arus asutnya sangat tinggi terlihat dari pengukuran alat ukur yang digunakan (skala 6 ampere) tidak bisa membaca arus asut motor untuk kedua hubungan motor (Bintang dan Delta), metoda pengasutan sistem DOL menimbulkan arus pengasutan yang sangat tinggi apalagi bila dari awal motor dibebani terlalu berat.

Tabel 7. Hasil Pengujian Kinerja Motor Induksi Tiga Fase untuk Sistem Bintang-Delta

Pengujian Beban nol								
Hubungan motor	Arus(Amp)		Teg. (Volt)		Daya (Watt)		Putaran motor (RPM)	Beban (%)
	I_{St}	I_{Ss}	V_{L-N}	V_{L-L}	P_{St}	P_{Ss}		
Star/Delta	4,2	1,6	125	220	1200	360	1495	0
Pengujian Berbeban								
Hubungan motor	Arus(Amp)		Teg. (Volt)		Daya (Watt)		Putaran motor (RPM)	R (%)
	I_{St}	I_{Ss}	V_{L-N}	V_{L-L}	P_{St}	P_{Ss}		
Star/Delta	5.2	1,60	125	220	3200	436	1483	100%
Star/Delta	5.4	1,62	125	220	2800	440	1481	80%
Star/Delta	5.7	1,67	125	220	2800	476	1481	60%
Star/Delta	5.9	1,69	125	220	2800	484	1471	40%

Tabel 7 menunjukkan terjadi penurunan arus asut apabila motor diasut dengan sistem Bintang-Delta. Arus asut sistem DOL pembacaan arus lebih besar dari 6 ampere sedangkan untuk pengasutan sistem Bintang-Delta arus asut lebih kecil dari 6 ampere. Arus *steady state* motor bertambah seiring dengan bertambahnya beban.

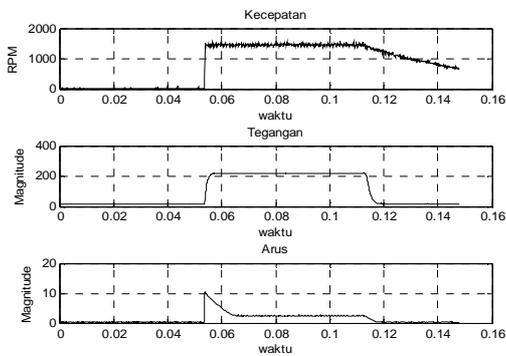
Pengujian Bebasis Interface. Pengujian ini dilakukan dengan *interface* telah dibuat dan diujikan sebelumnya. Pengujian metoda pengasutan dilakukan dengan melihat keluaran dari tiga sensor (sensor arus, tegangan dan kecepatan) kemudian direkam secara *real time* lewat komputer untuk melihat

secara langsung perbandingan arus asut, tegangan sumber dan kecepatan motor bila diasut secara langsung (sistem DOL) atau sistem Bintang-Delta. Gambar 8. menunjukkan tampilan GUI (*Graphic User Interface*) untuk merekam unjuk kerja motor induksi tiga fase.

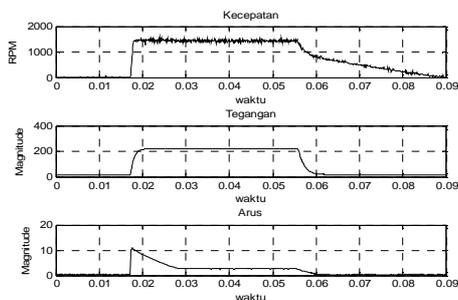


Gambar 9. Tampilan GUI Untuk Merekam Unjuk Kerja Motor

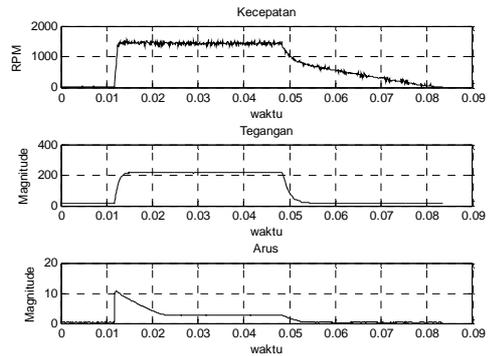
Hasil-hasil pengujian pengasutan sistem DOL ditunjukkan pada Gambar 9 sampai Gambar 10 untuk motor hubung Delta tanpa beban dan berbeban.



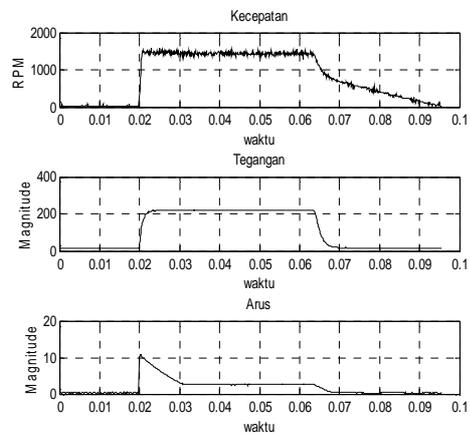
Gambar 10. Karakteristik Kinerja Motor, Pengasutan Sistem DOL, Motor Hubung Delta Tanpa Beban



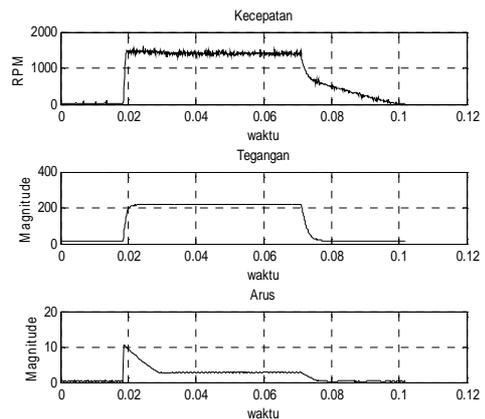
Gambar 11. Karakteristik Kinerja Motor, Pengasutan Sistem DOL, Motor Hubung Delta dengan Beban R (100%)



Gambar 12. Karakteristik Kinerja Motor, Pengasutan Sistem DOL, Motor Hubung Delta dengan Beban R (80 %)

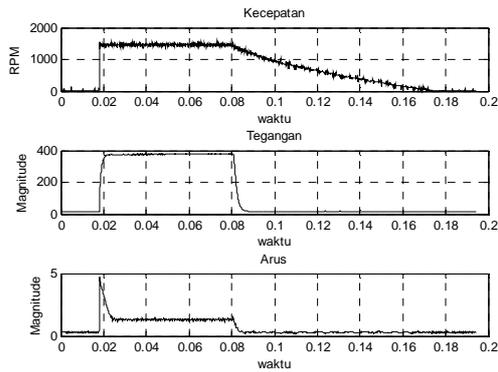


Gambar 13. Karakteristik Kinerja Motor, Pengasutan Sistem DOL, Motor Hubung Delta dengan Beban R (60%)

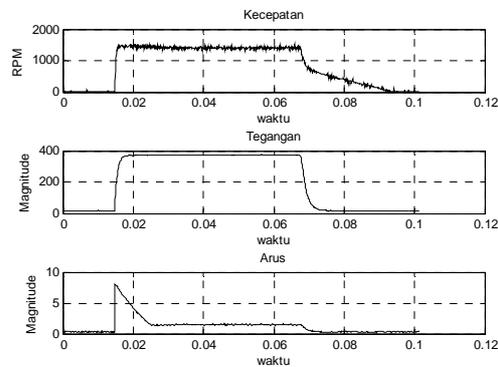


Gambar 14. Karakteristik Kinerja Motor, Pengasutan Sistem DOL, Motor Hubung Delta dengan Beban R (40%)

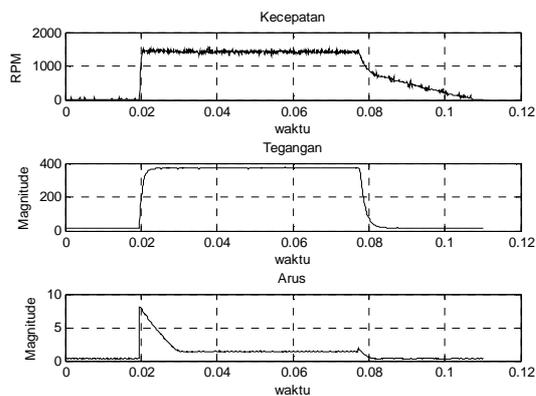
Hasil-hasil pengujian pengasutan sistem DOL ditunjukkan pada Gambar 14 sampai Gambar 18 untuk motor hubung bintang tanpa beban dan berbeban.



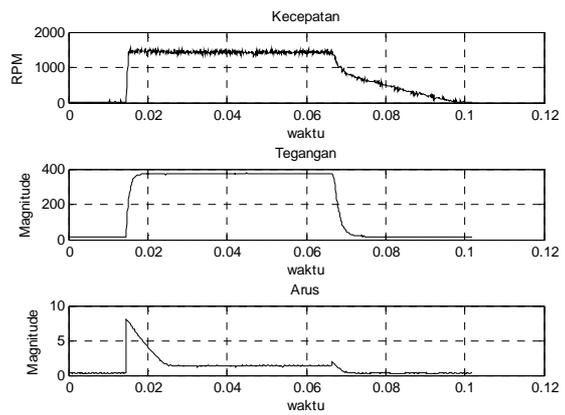
Gambar 15. Karakteristik Kinerja Motor, Pengasutan Sistem DOL, Motor Hubung Bintang Tanpa Beban



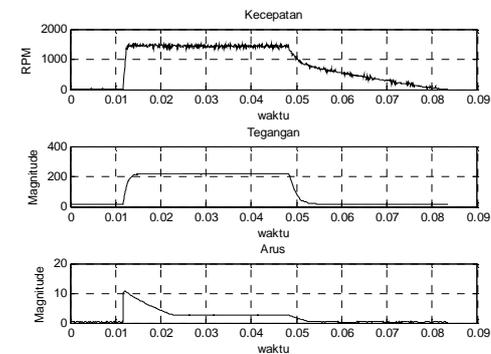
Gambar 16. Karakteristik Kinerja Motor, Pengasutan Sistem DOL, Motor Hubung Bintang Beban R (100 %)



Gambar 17. Karakteristik Kinerja Motor, Pengasutan Sistem DOL, Motor Hubung Bintang Beban R (80 %)

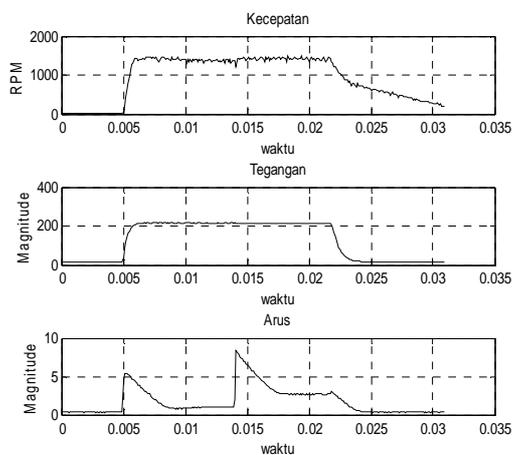


Gambar 18. Karakteristik Kinerja Motor, Pengasutan Sistem DOL, Motor Hubung Bintang Beban R (60 %)

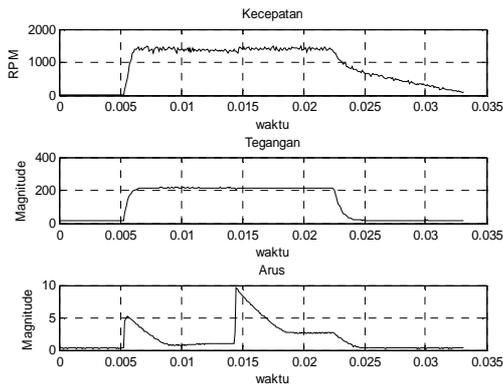


Gambar 19. Karakteristik Kinerja Motor, Pengasutan Sistem DOL, Motor Hubung Bintang Beban R (40 %)

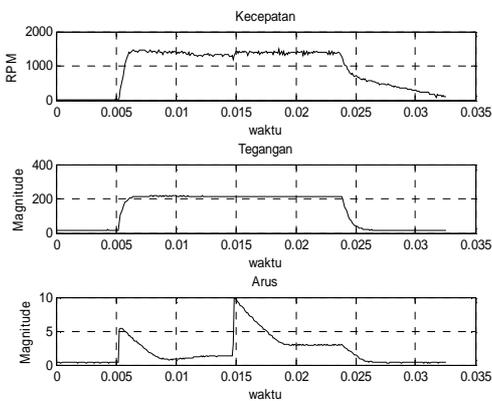
Hasil-hasil pengujian pengasutan sistem Bintang-Delta ditunjukkan pada Gambar 20 sampai Gambar 23 pada motor tanpa beban dan berbeban.



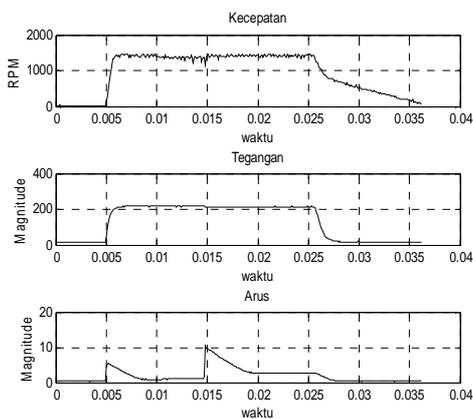
Gambar 20. Karakteristik Kinerja Motor, Pengasutan Sistem Bintang-Delta, Beban R (100 %)



Gambar 21. Karakteristik Kinerja Motor, Pengasutan Sistem Bintang-Delta, Beban R (80 %)



Gambar 22. Karakteristik Kinerja Motor, Pengasutan Sistem Bintang-Delta, Beban R (60 %)



Gambar 23. Karakteristik Kinerja Motor, Pengasutan Sistem Bintang-Delta, Beban R (40 %)

Karakteristik kinerja motor induksi tiga fase jenis rotor sangkar berdasarkan sistem pengasutan dapat dianalisis sebagai berikut:

1. Pengasutan sistem DOL, motor hubung delta mempunyai arus asut dan arus *steady state* lebih besar daripada motor terhubung bintang,

2. Pengasutan sistem DOL, arus asut dan arus *steady state* untuk hubung delta dan hubung bintang, cenderung semakin tinggi dengan bertambahnya beban (R yang berkurang (R adalah beban resistansi pada generator DC yang dikopel dengan motor induksi tiga fase, motor induksi sebagai penggerak mula generator DC)).
3. Pengasutan sistem Bintang-Delta, mempunyai lonjakan arus asut dua kali yaitu saat motor terhubung bintang dan saat motor terhubung delta.
4. Pengasutan sistem Bintang-Delta, arus asut dan arus *steady state* motor bertambah besar dengan bertambahnya beban (R yang berkurang (R adalah beban resistansi pada generator DC yang dikopel dengan motor induksi tiga fase, motor induksi sebagai penggerak mula generator DC)).
5. Terdapat penurunan arus asut apabila motor diasut dengan sistem Bintang-Delta dibandingkan dengan pengasutan sistem DOL. Penurunan arus asut sistem Bintang-Delta sampai setengah kali dari pengasutan sistem DOL. Besar penurunan arus asut hampir sama untuk semua pembebanan pada motor induksi.

KESIMPULAN

Berdasarkan pengujian unjuk kerja motor induksi tanpa beban dan berbeban yang diasut dengan sistem DOL dan sistem Bintang-Delta dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Pengasutan sistem DOL, motor hubung delta mempunyai arus asut dan arus *steady state* lebih besar dari pada motor terhubung bintang. Apabila motor di bebani, arus asut dan arus *steady state* pada hubung bintang dan delta, cenderung meningkat dengan bertambahnya beban.
2. Pengasutan sistem Bintang-Delta, menimbulkan lonjakan arus asut dua kali yaitu saat motor terhubung bintang dan saat motor terhubung delta. Apabila motor induksi dibebani menimbulkan arus asut dan arus *steady state* yang bertambah besar dengan adanya penambahan beban.
3. Terjadi penurunan arus asut apabila motor diasut dengan sistem Bintang-Delta dibandingkan dengan sistem DOL, penurunan arus sampai setengah kalinya. Besaran penurunan arus asut hampir sama untuk semua pembebanan pada motor induksi.

SARAN

Kedepan perlu dilakukan pengujian pengasutan dengan metode-metode lain, seperti pengaruh penambahan kapasitor saat pengasutan motor.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2013, "DC Motor *Paper and QA*", <http://staff.ui.ac.id/internal/040603019/material/DCMotorPaperandQA.pdf>, diakses tanggal 04 April 2013.
- Anonim, 2014, "Karakteristik Motor Induksi dan Start", <https://www.google.com/#q=karakteristik+motor+induksi&start>), diakses 13 maret 2014.
- Anonim, 2012, "ACS712 *Datasheet*", <http://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=Datasheet%20acs712&gclid=CLe3uLGgkMQCFVUSjgod9lwATw>, diakses 10 maret 2014.

- Badarusman, Y., 2012, "Pengasutan Konvensional Motor Induksi Tiga Fasa Rotor Sangkar Tupai", *JTET*. VOL.1 No 1.
- Isdiyanto, 2010, "Dampak Perubahan Putaran Terhadap Unjuk Kerja Motor Induksi Tiga Fasa Jenis Rotor Sangkar", *Jurnal Kompetensi Teknik* Vol.1 No.2.
- Nrарtha, I.M.A, Sultan, Muljono, A.B, Suksmadana, I. M.B, 2014, "Rancang Bangun *Interface* untuk Visualisasi Kecepatan dan Suhu Motor DC *Shunt* Berbeban (Sebagai Modul Praktikum di Laboratorium Sistem Tenaga)", Laporan Penelitian, Fakultas Teknik, Universitas Mataram.
- Zuhal, 1988, "Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya", Gramedia, Jakarta.