

RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING DAN PENGAMAN MOTOR INDUKSI TIGA PHASA BERBASIS MIKROKONTROLER ATmega 8535

Design Of Three Phase Induction Motor Monitoring And Safety
System Based On Microcontroller ATmega 8535

Sahdan Ashari¹, I Made Budi Sukmadana², Ida Bagus Fery Citarsa³

ABSTRAK

Motor induksi merupakan jenis motor listrik yang banyak digunakan di dunia industri dan biasa digunakan sebagai penggerak pada peralatan-peralatan produksi seperti conveyor, crusher, fan atau blower, pompa, dan lain-lain. Sesuai peran dan fungsinya, maka motor induksi diharuskan bekerja dengan baik dan aman. Namun, banyak sekali jenis-jenis gangguan yang dapat berpotensi untuk mengganggu fungsi dan kerja dari motor induksi atau bahkan merusak motor induksi itu sendiri. Sistem pengaman dirancang untuk mengamankan kerja motor induksi tiga fasa dari gangguan tegangan lebih, tegangan kurang, tegangan antara fasa tidak seimbang, beban lebih, panas lebih, dan kecepatan putaran kurang. Hal ini dilakukan dengan membandingkan nilai setting nominal motor dengan nilai kerja motor. Fasilitas monitoring dirancang pada personal computer menggunakan pemrograman GUI (Graphical User Interface) dengan MATLAB R2009a yang akan memudahkan dalam analisa keadaan motor sehingga langkah untuk perbaikan atau perawatan dapat di ambil dengan cepat dan tepat.

Dari hasil pengujian, diperoleh hasil bahwa pengukuran semua sensor memiliki rata-rata kesalahan hasil pengukuran yang relatif kecil, yaitu untuk pengukuran oleh sensor arus memiliki error sebesar 2,4%, 4,65% dan 8,9%. Untuk sensor tegangan $V_{ac_{R-S}}$ sebesar 0,7%, sensor tegangan $V_{ac_{S-T}}$ sebesar 1.1%, dan sensor tegangan $V_{ac_{R-T}}$ sebesar 0.5%. Untuk sensor suhu LM35 memiliki rata-rata error 0,41 %. Hasil pengukuran dari tachometer dan tachogenerator sebagai sensor kecepatan putaran memiliki rata-rata error 2,08 %. Diperoleh pula hasil bahwa dengan menggunakan rangkaian kontaktor dan relai yang dirancang maka motor induksi 3 fasa akan dapat dihidupkan dan dimatikan dari 2 tempat, selain itu motor induksi 3 fasa tidak akan bekerja jika mikrokontroler ATmega 8535 membaca suatu gangguan.

Kata kunci: motor induksi, sistem monitoring, sistem pengaman

ABSTRACT

Induction motor is a type of electric motor that is widely used in industry and is used as a driving force in the production equipments such as conveyors, crushers, fans or blowers, pumps, and others. In order to fulfill its roles and functions, the induction motor is required to work properly and safely. However, many types of interference can potentially interfere the function of the induction motor or even destroy it. The security system is designed to secure a three-phase induction motor work of nuisance over voltage, under voltage, unbalance voltage between phases, overload, overheat, and under speed. These can be done by comparing the value of the motor nominal setting with the value of the motor. Monitoring facility is designed on a personal computer using the GUI (Graphical User Interface) programming with MATLAB R2009a which will facilitate the analysis of the state of the motor so that the steps to repair or maintenance can be taken quickly and precisely.

From the test, the measurements of all the sensors have a relatively small average of error, which is the current sensor has an error of 2.4%, 4.65% and 8.9%. Voltage sensor of $V_{ac_{R-S}}$ has an error of 0.7%, the voltage sensor $V_{ac_{S-T}}$ of 1.1%, and a voltage sensor $V_{ac_{R-T}}$ of 0.5%. LM35 temperature sensor has an average error of 0.41%. The tachometer and tachogenerator as a rotation speed sensor has an average error of 2.08%. Another result obtained is that by using a series of contactors and relays that are designed, the 3-phase induction motor can be switched on and off from two places, in addition to that the 3-phase induction motor will not work if the microcontroller ATMEGA 8535 read a nuisance.

Keywords: induction motor, monitoring systems, security systems

¹Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Mataram, Nusa Tenggara Barat, Indonesia
Email: sahdanashari@yahoo.co.id¹; mbudi@yahoo.com²; ferycitarsa@unram.ac.id³

PENDAHULUAN

Motor induksi merupakan salah satu mesin listrik yang banyak digunakan di dunia industry, yaitu seebagai penggerak pada peralatan-peralatan produksi seperti *conveyor*, *crusher* (mesin penghancur), *fan* atau *blower*, pompa, dan lain-lain. Sesuai dengan peran dan fungsinya, maka motor induksi diharuskan bekerja dengan baik dan aman dengan semestinya, tetapi banyak sekali jenis-jenis gangguan yang dapat berpotensi untuk mengganggu fungsi dan kerja dari motor induksi atau bahkan merusak motor induksi itu sendiri.

Diantara gangguan-gangguan yang dapat terjadi yaitu: tegangan lebih (*Over Voltage*), tegangan kurang (*Under Voltage*), tegangan antara fasa tidak seimbang (*Unbalance Votage*), beban lebih (*Over Load*), panas lebih (*Over heat*), dan kecepatan putaran kurang (*Under speed*).

Jenis gangguan yang terjadi dapat disebabkan oleh banyak hal. Untuk mengetahui jenis gangguan harus dilakukan analisa terhadap nilai kerja motor (tegangan, arus, suhu, kecepatan putaran) pada saat gangguan terjadi. Hal ini dapat dilakukan dengan mengukur nilai-nilai kerja motor menggunakan sensor-sensor, yang kemudian diolah oleh mikrokontroler (ATMega 8535), sehingga dapat dilakukan proses monitoring dengan mencatat hasil pengukuran pada PC (*Personal Computer*). Setelah monitoring dilakukan, maka jenis gangguan dapat dianalisa dan dijadikan indikasi awal untuk mencegah terjadinya kerusakan pada motor induksi (Ulumudin, 2012). Selain monitoring, untuk mengatasi gangguan diperlukan suatu sistem pengaman yang dapat mengamankan motor induksi, dimana sistem pengaman ini akan bekerja untuk mengamankan motor induksi pada saat terjadi gangguan dengan memutus aliran listrik yang masuk ke motor induksi, sehingga kerusakan pada motor induksi dapat dicegah.

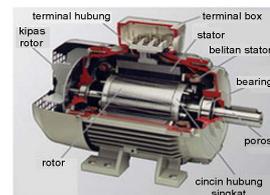
Mariana (2009), melakukan penelitian tentang rancang bangun *smart protection* pada motor induksi tiga fasa menggunakan mikrokontroler ATMega 16. Dari penelitian ini diperoleh sistem pengaman yang bertujuan untuk mengamankan kerja motor induksi tiga fasa dari gangguan berupa tegangan lebih, tegangan kurang, arus lebih, suhu lebih, dan kecepatan lebih.

Pradigta (2010), melakukan penelitian tentang sistem pengaman motor induksi 3 fasa terhadap gangguan *unbalance voltage*

dan *over load*. Dari penelitian ini diperoleh sistem pengaman yang bertujuan mengamankan kerja motor induksi tiga fasa dari gangguan berupa *unbalance voltage* dan *over load*.(Pradigta, 2010)

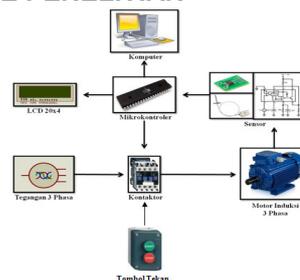
Darmawan (2012), dan Ulumudin (2012), melakukan penelitian tentang rancang bangun sistem pengaman dan monitoring motor sinkron tiga fasa, dimana Darmawan merancang perangkat keras berupa sistem pengaman yang terdiri atas rangkaian-rangkaian sensor, penampil menggunakan LCD (*liquid crystal display*), dan rangkaian *softswitch* (*driver* kontaktor) yang terhubung ke mikrokontroler ATMega 16, sedangkan Ulumudin merancang sistem monitoring (perangkat lunak) yang berupa tampilan pada PC (*personal computer*) menggunakan Visual Studio 2008 dengan bahasa pemrograman C++.(Darmawan, 2012)

Pada penelitian ini akan dirancang sebuah perangkat monitoring dan pengaman motor induksi tiga fasa berbasis mikrokontroler ATMega 8535 (Anonim, 2006), yang dapat mengamankan kerja motor induksi tiga fasa dari gangguan berupa tegangan lebih, tegangan kurang, beban lebih, tegangan fasa tidak seimbang, kecepatan putaran kurang dan panas lebih. Selain sebuah sistem pengaman juga akan dirancang sebuah sistem monitoring menggunakan pemrograman GUI (*graphical user interface*) dengan MATLAB R2009a, yang mampu menunjukkan nilai kerja dari motor induksi tiga fasa, mencatat jenis gangguan yang terjadi, serta dapat juga mengirimkan perintah untuk menghidupkan dan mematikan motor induksi tiga fasa.



Gambar 1. Konstruksi motor induksi (Yulianto dan Kurniawan, 2012)

METODE PENELITIAN



Gambar 2. Blok diagram rancangan sistem

Tabel 1. Standar pengaman yang digunakan

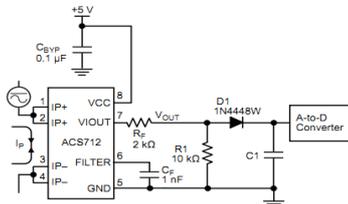
No	Jenis Gangguan	Nilai Parameter Gangguan
1	Beban Lebih	$I_{ac} > I_n$
2	Tegangan Lebih	$V_{ov} > 110\% V_n$
3	Tegangan Kurang	$V_{uv} < 90\% V_n$
4	Tegangan tak Seimbang	1%
5	Kecepatan putaran kurang	$N_s < N_n$
6	Panas Lebih	<i>Maks insulation temperature:</i> A = 60°C B = 80°C F = 105°C

(Sumber : NEMA dan IEEE standard)

Gambar 2 merupakan blok diagram sistem perangkat keras yang akan dibangun dalam tugas akhir ini, dimana terdapat beberapa sensor yang akan digunakan untuk mendeteksi besaran-besaran listrik berupa tegangan, arus, kecepatan putaran, dan temperatur dari motor induksi 3 fasa yang kemudian akan diolah mikrokontroler ATmega 8535 untuk dikirim, sebelum ditampilkan pada LCD (*Liquid Crystal Display*) dan PC (*Personal Computer*) untuk diolah kembali agar data hasil pembacaan sensor-sensor tersebut dapat disimpan dan diamati kembali sewaktu-waktu untuk mengetahui gangguan yang terjadi pada motor yang diamati, sehingga dapat dijadikan sebuah acuan untuk pengoprasian motor agar tidak terjadi kerusakan dari motor.

HASIL DAN PEMBAHASAN

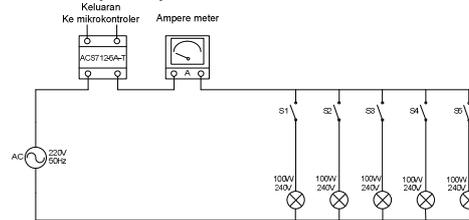
Pengujian sensor arus. Untuk mengukur arus masukan pada motor induksi 3 fasa akan digunakan sensor arus efek *hall* ACS712-5A-T dari allegro yang rangkaiannya seperti Gambar 3.



Gambar 3. Rangkaian sensor arus ACS712-5A-T (Sumber : *datasheet ACS712-5A-T*)

Pengujian rangkaian sensor arus, ketiga sensor arus (ACS712-5A-T) yang digunakan akan diuji satu per satu dengan merangkai sensor arus secara seri dengan sumber tegangan 220 Vac, Ampere meter, dan beban berupa lampu pijar 100 Watt

sebanyak 5 buah yang terpasang secara paralel, seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Rangkaian pengujian sensor arus

Setelah semua perangkat dirangkai seperti gambar diatas, selanjutnya saklar ditakan (ON) sesuai kombinasi seperti pada Tabel 2 dan akan diperoleh keluaran sensor arus sebagai berikut:

Tabel 2. Tegangan keluaran sensor arus 1 untuk tiap kombinasi saklar

kombinasi saklar					Arus input sensor (Ampere)	Tegangan output sensor (Volt)
S1	S2	S3	S4	S5		
OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	0	2.118
ON	OFF	OFF	OFF	OFF	0.2	2.166
ON	ON	OFF	OFF	OFF	0.6	2.248
ON	ON	ON	OFF	OFF	1.15	2.332
ON	ON	ON	ON	OFF	1.5	2.418
ON	ON	ON	ON	ON	1.9	2.503

Untuk sensor arus 2 dan 3 diberi kombinasi saklar yang sama sehingga diperoleh tegangan keluaran setiap sensor arus yang kemudian dihitung nilai ADC (*Analog to Digital Conversion*). Berikut adalah nilai ADC untuk tiap tegangan keluaran sensor arus yang dihitung dengan persamaan 1.

$$Nilai _ ADC = \frac{V_{in}}{V_{reff}} \times 1023 \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan:

- V_{in} = Nilai tegangan keluaran sensor yang akan dimasukkan ke mikrokontroler (V)
- V_{reff} = 5 Vdc

Tabel 3. Nilai ADC untuk tiap tegangan keluaran sensor arus

Arus input sensor (Ampere)	Tegangan output sensor arus 1 (Ampere)	Tegangan output sensor arus 2 (Ampere)	Tegangan output sensor arus 3 (Ampere)	Nilai ADC sensor arus 1	Nilai ADC sensor arus 2	Nilai ADC sensor arus 3
0	2.118	2.128	2.117	433	435	433
0.2	2.166	2.178	2.165	443	446	443
0.6	2.248	2.261	2.246	460	463	459
1.15	2.332	2.346	2.332	477	480	477
1.5	2.418	2.434	2.417	495	498	494
1.9	2.503	2.519	2.501	512	515	512

Dengan diperolehnya nilai ADC untuk tiap tegangan keluaran sensor arus, maka akan dapat diperoleh persamaan garis hubungan antara nilai ADC dengan nilai arus masukan sensor yang kemudian dapat dimasukkan kedalam program dari

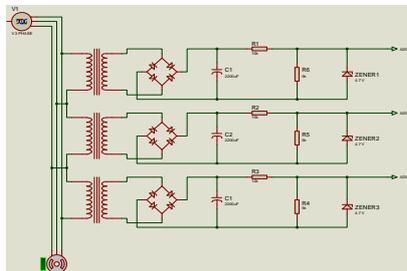
mikrokontroler ATmega 8535, sehingga mikrokontroler akan dapat digunakan untuk pengukuran arus pada penelitian. Berikut adalah hasil pengukuran arus yang diperoleh dari tiap sensor.

Tabel 4. Hasil pengukuran sensor arus (ACS712-5A-T) dengan Amperemeter

No	Pengukuran Amperemeter (A)	Pengukuran Sensor Arus			Error (%)		
		Sensor Arus 1	Sensor Arus 2	Sensor Arus 3	Sensor Arus 1	Sensor Arus 2	Sensor Arus 3
1	0	0	0	0	0	0	0
2	0.2	0.2	0.2	0.2	0	0	0
3	0.6	0.6	0.6	0.5	0	0	16.67
4	1.1	1	1	0.9	9.1	9.1	18.18
5	1.5	1.5	1.3	1.3	0	13.3	13.3
6	1.8	1.9	1.7	1.7	5.5	5.5	5.5
Rata-rata Error				2.4	4.65	8.9	

Dari Tabel 4 dapat dilihat bahwa hasil pengukuran sensor arus memiliki rata-rata kesalahan hasil pengukuran yang relatif kecil, yaitu 2,4%, 4,65% dan 8,9% sehingga sensor arus yang telah dirancang dapat digunakan untuk mengukur arus motor induksi pada penelitian.

Pengujian sensor tegangan. Untuk mengukur tegangan masukan dari motor induksi 3 phasa, maka digunakan 3 buah potensial transformer dengan tegangan primer 240 Vac dan tegangan sekunder 6 Vac, sehingga ketika diberi masukan 380 Vac pada sisi sekunder akan menghasilkan tegangan 9,5 Vac yang kemudian disearahkan dengan penyerah gelombang penuh sehingga keluarannya tegangannya menjadi tegangan DC. Sebelum dimasukkan ke pin ADC mikrokontroler terlebih dahulu diberi rangkaian pembagi tegangan agar tegangan yang dihasilkan tidak merusak mikrokontroler. berikut adalah gambar rangkaian yang digunakan.



Gambar 5. Rangkaian sensor tegangan (Darmawan, 2012)

Setelah seluruh komponen terpasang seperti pada rangkaian Gambar 5, kemudian akan diperoleh tegangan keluaran dari

potensial transformer yang akan dimasukkan ke pin ADC mikrokontroler, pada Tabel 5.

Setelah nilai tegangan keluaran dari tiap potensial transformer diperoleh maka akan dapat diperoleh nilai ADC untuk tiap nilai tegangan keluaran dengan menggunakan persamaan 1 sebagaimana pada Tabel 6.

Tabel 5. Tabel nilai tegangan keluaran tiap Transformator

Tegangan Phasa ke Phasa (Volt)			Vout Potensial Transformator (Volt)			Vout Pembagi Pegangan (Volt)		
Vac _{R-S}	Vac _{S-T}	Vac _{R-T}	Vac _{R-S}	Vac _{S-T}	Vac _{T-R}	Vdc _{R-S}	Vdc _{S-T}	Vdc _{T-R}
48.9	50.5	49.3	1.37	1.43	1.37	0.27	0.29	0.3
75.9	77.3	76.7	2.13	2.18	2.14	0.56	0.58	0.56
101.3	102.9	102.8	2.85	2.91	2.88	0.83	0.85	0.83
125.9	127.3	127	3.54	3.59	3.55	1.1	1.12	1.1
150.8	152.4	152.3	4.24	4.3	4.26	1.38	1.4	1.37
175.8	177.5	177.6	4.95	5.03	4.98	1.66	1.68	1.65
201	203	203	5.66	5.75	5.69	1.95	1.97	1.93
225.8	227.7	228.2	6.36	6.45	6.39	2.22	2.24	2.2

Tabel 6. Nilai ADC tegangan keluran PT

Tegangan Phasa ke Phasa (Volt)			Vout Pembagi Pegangan (Volt)			Nilai ADC		
Vac _{R-S}	Vac _{S-T}	Vac _{R-T}	Vdc _{R-S}	Vdc _{S-T}	Vdc _{T-R}	Vdc _{R-S}	Vdc _{S-T}	Vdc _{T-R}
48.9	50.5	49.3	0.27	0.29	0.3	55	59	61
75.9	77.3	76.7	0.56	0.58	0.56	115	119	115
101.3	102.9	102.8	0.83	0.85	0.83	170	174	170
125.9	127.3	127	1.1	1.12	1.1	225	229	225
150.8	152.4	152.3	1.38	1.4	1.37	282	286	280
175.8	177.5	177.6	1.66	1.68	1.65	340	344	338
201	203	203	1.95	1.97	1.93	399	403	395
225.8	227.7	228.2	2.22	2.24	2.2	454	458	450

Dengan diperolehnya nilai ADC untuk tiap tegangan keluaran potensial transformer, maka akan dapat diperoleh persamaan garis hubungan antara nilai ADC dengan nilai tegangan masukan sensor yang kemudian dapat dimasukkan kedalam program dari mikrokontroler ATmega 8535, sehingga mikrokontroler akan dapat digunakan untuk pengukuran tegangan pada penelitian. Tabel 7 menunjukkan adalah hasil pengukuran tegangan yang diperoleh dari tiap sensor tegangan.

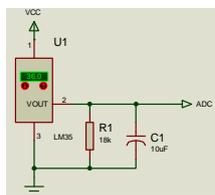
Tabel 7. Hasil pengujian rangkaian sensor Tegangan

Tegangan Phasa ke Phasa V _{LL} (Volt)			Tegangan Hasil Pembacaan Sensor Tegangan (Volt)			Error hasil pembacaan sensor tegangan (%)		
Vac _{R-S}	Vac _{S-T}	Vac _{R-T}	Vac _{R-S}	Vac _{S-T}	Vac _{T-R}	Vac _{R-S}	Vac _{S-T}	Vac _{T-R}
49.3	50.5	49.8	49.6	49.3	50.1	0.6	2.4	0.6
100.6	101.8	101.4	99.2	99.1	99.9	1.4	2.6	1.5
151.7	153.4	153.1	150.4	151.2	151.9	0.8	1.4	0.8
201	201.9	203.1	200.4	200.2	202.2	0.3	0.8	0.4
223	224.6	224.6	225.5	222.5	225.6	1.1	0.9	0.4
252.4	253.8	254.9	252.6	251.8	255.5	0.1	0.8	0.2
302	304	305	300.8	299.5	303.2	0.4	1.5	0.6
350.5	352.8	354.1	352.9	353.7	356.9	0.7	0.2	0.8
400	402	404	404.2	404.4	408	1.1	0.6	1
Rata-rata Error						0.7	1.1	0.5

Dari tabel hasil pengujian sensor tegangan 3 phasa yang telah dirancang diperoleh nilai rata-rata kesalahan pengukuran untuk sensor tegangan Vac_{R-S} sebesar 0,7%, sensor tegangan Vac_{S-T} sebesar 1.1%, dan sensor tegangan Vac_{R-T} sebesar 0.5%.

Sehingga dapat disimpulkan bahwa rangkaian sensor tegangan yang dirancang pada penelitian ini telah dapat digunakan untuk mengukur tegangan 3 fasa.

Pengujian sensor suhu. Untuk mengukur suhu dari motor induksi 3 fasa pada penelitian ini akan menggunakan sensor suhu LM35. Sensor suhu LM35 memiliki keluaran berupa tegangan yang linear terhadap perubahan suhu yaitu perubahan suhu sebesar 1 °C akan menghasilkan tegangan keluaran sebesar 10 mV. Gambar 6 adalah rangkaian sensor LM35 yang akan digunakan dalam penelitian.



Gambar 6. Rangkaian sensor suhu LM35 (Datasheet LM35)

Setelah sensor LM35 dirangkai seperti rangkaian diatas dan dihubungkan dengan pin ADC mikrokontroler, maka sensor diuji dalam ruangan berukuran 75x75x75 cm yang diberi pemanas berupa 4 buah lampu pijar 100 Watt. Ketika lampu pijar dinyalakan, nilai suhu akan meningkat dalam ruangan dan pada saat yang sama dilakukan pengukuran keluaran tegangan dari sensor suhu LM35 untuk tiap nilai suhu yang terukur termometer. Tabel 8 menampilkan hasil pengujian sensor suhu LM35.

Tabel 8. Tabel nilai tegangan keluaran dan nilai ADC sensor suhu LM35

NO	Suhu Termometer (°C)	Tegangan Keluaran sensor (Volt)	Nilai ADC
1	30	0,31	63
2	32	0,33	67
3	34	0,34	69
4	36	0,36	73
5	38	0,39	79
6	40	0,41	83
7	42	0,42	86

Setelah nilai ADC untuk tegangan keluaran sensor LM35 diperoleh, maka akan dapat diperoleh persamaan garis hubungan antara nilai ADC dengan nilai suhu masukan sensor yang kemudian dapat dimasukan kedalam program dari mikrokontroler ATmega 8535, sehingga mikrokontroler akan dapat digunakan untuk pengukuran suhu pada

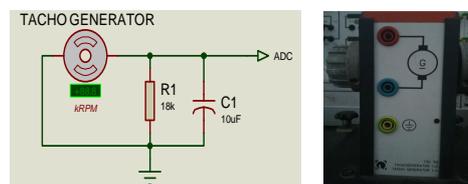
penelitian. Tabel 9 menunjukkan hasil pengukuran yang diperoleh.

Tabel 9. Hasil pengujian sensor suhu LM35

No	Hasil pengukuran suhu (°C)		Error (%)
	Termometer	LM35	
1	30	30,21	0,95
2	32	32,13	0,41
3	34	34,18	0,53
4	36	25,97	0,08
5	38	37,66	0,89
6	40	39,86	0,35
7	42	42,16	0,38
8	44	44,22	0,5
9	46	46,19	0,4
10	48	48,03	0,06
11	50	50	0
Rata-rata Error			0,41

Dari Tabel 9 dapat dilihat bahwa selisih hasil pengukuran suhu antara termometer dan sensor suhu LM35 cukup kecil, terlihat dari rata-rata error yang diperoleh yaitu 0,41 %, hal ini menunjukkan bahawa sensor suhu LM35 yang telah dirancang dapat digunakan dengan baik pada penelitian ini.

Pengujian sensor kecepatan putaran. Untuk mengukur kecepatan putaran motor induksi 3 fasa pada penelitian ini akan digunakan *tacho* generator. *Tacho* generator yang digunakan memiliki keluaran berupa tegangan DC yang nilainya linear terhadap masukan kecepatan putaran (RPM) yang diukur yaitu apabila kecepatan putaran dari *tacho* generator adalah 1000 RPM maka keluaran tegangannya adalah 1 Vdc. Gambar 7 adalah rangkaian *tacho* generator yang akan digunakan dalam penelitian.



Gambar 7. Rangkaian sensor kecepatan putaran dan bentuk *tacho* generator

Untuk pengujian sensor kecepatan putaran menggunakan *tacho* generator, maka poros dari *tacho* generator di hubungkan dengan poros rotor dari motor DC Shunt agar diperoleh nilai putaran yang dapat diubah-ubah, dan diperoleh nilai tegangan keluaran *tacho* generator untuk tiap nilai kecepatan putaran motor DC shunt. Tabel 10 menunjukkan keluaran *tacho* generator untuk tiap nilai putaran motor DC shunt.

Tabel 10. Keluaran *tacho* generator untuk tiap kecepatan putar

No	Putaran Motor DC Shunt (RPM)	Tegangan <i>tacho</i> Generator (Volt)	Tegangan pada beban RC (Volt)	Nilai Adc
1	522,5	0,532	0,532	109
2	638,8	0,645	0,645	132
3	728,9	0,731	0,731	150
4	801,9	0,797	0,797	163
5	904	0,892	0,892	183
6	1004	0,991	0,991	203
7	1101	1,085	1,085	222
8	1202	1,182	1,182	242
9	1308	1,289	1,289	264
10	1412	1,386	1,386	284
11	1506	1,482	1,482	303

Setelah nilai ADC untuk tegangan keluaran *tacho* generator diperoleh, maka akan dapat diperoleh persamaan garis hubungan antara nilai ADC dengan nilai kecepatan putaran masukan *tacho* generator, yang kemudian dapat dimasukkan kedalam program dari mikrokontroler ATmega 8535, sehingga mikrokontroler akan dapat digunakan untuk pengukuran kecepatan putaran pada penelitian. Tabel 11 menunjukkan hasil pengukuran yang diperoleh.

Table 11. Perbandingan hasil pengukuran tachometer dan mikrokontroler

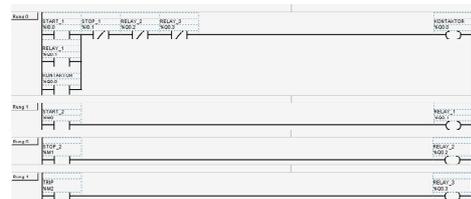
No	Nilai putaran motor DC shunt (RPM)		Error (%)
	Pengukuran <i>tacho</i> meter	Pengukuran mikrokontroler	
1	502	514,6	2,51
2	701,5	716,3	2,11
3	901	908,1	0,79
4	1005	1012,3	0,73
5	1101	1119,6	1,69
6	1201	1228,3	2,27
7	1304	1343,2	3,01
8	1503	1543,7	2,71
9	1606	1653,4	2,95
Rata-rata Error			2,08

Dari Tabel 11 dapat dilihat bahwa selisih hasil pengukuran dari *tacho* meter dan *tacho* generator sebagai sensor kecepatan putaran tidak begitu besar sehingga *error/kesalahan* pengukuran yang diperoleh untuk tiap nilai putaran juga akan kecil terlihat dari rata-rata *error* yang diperoleh yaitu sebesar 2,08 %. Hal ini menunjukkan bahwa *tacho* generator yang digunakan sebagai sensor kecepatan putaran pada penelitian ini telah dapat digunakan untuk melakukan pengukuran kecepatan putaran.

Rangkaian kontaktor sebagai driver dari motor induksi 3 fase. Untuk memutus dan menghubungkan tegangan motor induksi 3 fase diperlukan suatu saklar yang dapat dialiri arus yang cukup besar, dikarenakan arus nominal dari motor yang juga cukup besar, selain itu saklar yang digunakan juga

harus dapat dikontrol sehingga dalam penelitian ini digunakanlah kontaktor sebagai saklar pemutus dan menghubungkan tegangan motor.

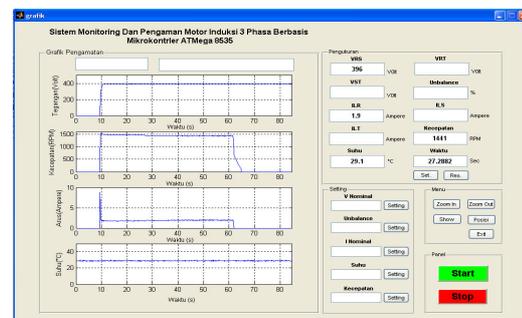
Agar kontaktor dapat digunakan untuk memutus dan menghubungkan tegangan motor maka perlu dirancang sebuah sistem kontrol yang akan bekerja apabila diberi perintah hidup (START) dan berhenti (STOP) serta pangaman jika terjadi gangguan (TRIP). Gambar 8 menampilkan diagram tangga dari rangkaian kontaktor yang akan digunakan



Gambar 8. Diagram tangga kontrol motor induksi 3 fase

Dengan menggunakan rangkaian kontaktor dan relai yang dirancang seperti pada gambar diatas, maka motor induksi 3 fase akan dapat dihidupkan dan dimatikan dari 2 tempat yaitu menekan *push button start* (START_1) untuk menghidupkan dan menekan *push button stop* (STOP_1) untuk mematikan, serta jika terdapat perintah hidupkan dari PC maka mikrokontroler ATmega 8535 akan menghidupkan relai 1 (RELAY_1) dan perintah matikan dari PC maka mikrokontroler ATmega 8535 akan menghidupkan relai 2 (RELAY_12). Selain itu motor induksi 3 fase tidak akan bekerja jika mikrokontroler ATmega 8535 membaca suatu gangguan yang mengakibatkan mikrokontroler ATmega 8535 akan menghidupkan relai 3 (RELAY_3).

Sistem monitoring



Gambar 9 Hasil visualisasi dari pengujian motor induksi

Gambar 9 merupakan visualisasi untuk motor induksi 3 fasa dengan beban generator dimana generator akan diberi beban resistor. Pada awal mulai motor induksi tiga fasa (*start*), beban resistor belum dihubungkan, sehingga diperoleh hasil pengukuran arus *starting* 8,8 Ampere dan akan relatif konstan pada nilai arus 1,8 Ampere, tegangan antar fasa konstan pada nilai 394 Volt, kecepatan putaran berubah dari 0 rpm menjadi 1480 rpm, serta suhu relatif konstan pada 29,1 °C hingga mencapai detik 27,2882 (beban resistor dihubungkan) maka nilai arus meningkat dari 1,8 Ampere menjadi 1,9 Ampere, kecepatan putar menurun dari 1480 rpm menjadi 1440 rpm, sedangkan nilai tegangan dan suhu relatif konstan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengukuran sensor arus memiliki rata-rata kesalahan hasil pengukuran yang relatif kecil, yaitu 2,4%, 4,65% dan 8,9%
2. Nilai rata-rata kesalahan pengukuran untuk sensor tegangan $V_{ac_{R-S}}$ sebesar 0,7%, sensor tegangan $V_{ac_{S-T}}$ sebesar 1.1%, dan sensor tegangan $V_{ac_{R-T}}$ sebesar 0.5%.
3. Hasil pengukuran suhu antara termometer dan sensor suhu LM35 memiliki rata-rata *error* yang diperoleh yaitu 0,41 %,
4. Hasil pengukuran dari *tacho* meter dan *tacho* generator sebagai sensor kecepatan putaran memiliki rata-rata *error* yang diperoleh yaitu sebesar 2,08 %.
5. Dengan menggunakan rangkaian kontaktor dan relai yang dirancang maka motor induksi 3 fasa akan dapat dihidupkan dan dimatikan dari 2 tempat.
6. Motor induksi 3 fasa tidak akan bekerja jika mikrokontroler ATmega 8535 membaca suatu gangguan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2006, *Datasheet Mikrokontroler AVR ATmega 8535*, Atmel.
- Anonim, 2014, *Datasheet ACS712, Allegro Micro Systems, Inc.:* Worcester, Massachusetts U.S.A.
- Anonim, 2013, *Datasheet LM35 Temperature Sensor*, Texas Instruments.
- Darmawan, A., 2012, *Rancang Bangun Sistem Pengaman dan Monitoring Motor Sinkron Tiga Fasa (Hardware)*, Jurusan Teknik Elektro Industri ITS.
- IEEE Standard C37.96-1988, Guide for AC Motor Protection.
- Mariana, E., 2009, *Rancang Bangun Smart Protection Pada Motor Induksi Tiga Fasa*, Teknik Elektro Industri, PENS-ITS.
- NEMA Standard MG 1-10.40, *Nameplate Marking for Medium Single Phase and Polyphase Induction Motor*.
- Pradigta, L., 2010, *Sistem Pengaman motor Induksi 3 Fasa Terhadap Gangguan Unbalance Voltage dan Overload*, Jurusan Teknik Elektro Industri PENS-ITS.
- Ulumudin, A., 2012, *Rancang Bangun Sistem Pengaman dan Monitoring Motor Sinkron Tiga Fasa (Software)*, Jurusan Teknik Elektro Industri ITS.
- Yulianto. N., Kurniawan M., 2012, *Perbaikan dan Pemeliharaan Mesin Listrik 2*, SMK Negeri 1 Padang.