

SISTEM PROTEKSI MOTOR INDUKSI 3 FASA TERHADAP BERMACAM GANGGUAN MENGGUNAKAN MIKROKONTROLLER

Darmawansyah¹, M.Khairul Amri Rosa¹, Ika Novia Anggraini¹.

¹ Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Bengkulu

E-mail: awang.kingdom@gmail.com

ABSTRAK

Di era globalisasi saat ini, berbagai pekerjaan manusia bergantung pada peralatan listrik seperti motor induksi tiga fasa. Motor induksi tiga fasa sangat penting penggunaannya sesuai peran dan fungsinya. Terjadinya variasi tegangan dalam sistem tenaga listrik disebabkan karena besaran tegangan antar ketiga fasa tidak sama sehingga adanya perbedaan sudut fasa R, S dan T, yang menyebabkan beban yang tidak merata *overload* pada sistem distribusi listrik. Diantara gangguan-gangguan yang dapat terjadi yaitu tegangan lebih (*overvoltage*), tegangan kurang (*under voltage*), tegangan antar fasa tidak seimbang (*unbalance voltage*), beban lebih (*over load*), panas lebih (*over heat*). Berdasarkan permasalahan tersebut, dirancanglah sistem proteksi motor induksi tiga fasa, sistem menggunakan sensor arus, tegangan, suhu, yang berfungsi mengukur besaran nilai ketika terjadi gangguan, contactor magnetic sebagai pemutus dan penghubung ketika gangguan diberikan sesuai dengan nilai set point yang diberikan pada mikrokontroler. Hasil penelitian untuk tegangan tidak seimbang sebesar V1 112 V, V2 114 V, V3 108 V, tegangan lebih sebesar V1 181 V, V2 175 V, V3 206 V, arus lebih sebesar A1 104 A, A2 107 A, A3 0,77 A, beban lebih pada sumber tahanan 333 Ω , 250 Ω , 200 Ω , 167 Ω , dan panas berlebih sebesar 40,75 °C pada waktu 6,5 menit dengan kondisi tripping pada setiap pengujian. Hasil akhir penelitian ini menunjukkan sistem proteksi yang dirancang lebih baik digunakan untuk motor induksi tiga fasa.

Kata Kunci: *unbalanced, gangguan-gangguan, sistem proteksi, sensor, kontaktor magnetik, mikrokontroler.*

ABSTRACT

In the current era of globalization, various human jobs depend on electrical equipment such as three-phase induction motors. Three-phase induction motors are very important to use according to their roles and functions. The occurrence of voltage variations in the electric power system is due to the

magnitude of the voltages between the three phases which are not the same so that there are differences in the angle of the R, S and T phases, which causes an uneven load overload in the electrical distribution system. Among the disturbances that can occur are overvoltage, under voltage, unbalance voltage between phases, overload, and overheating. Based on these problems, a three-phase induction motor protection system was designed, the system uses current, voltage, temperature sensors, which functions to measure the value when a disturbance occurs, a magnetic contactor as a breaker and a liaison when the disturbance is given in accordance with the set point value given to the microcontroller. The results of the research for unbalanced voltage of V1 112 V, V2 114 V, V3 108 V, overvoltage of V1 228 V, V2 207 V, V3 264 V, over current of A1 104 A, A2 107 A, A3 0.77 A, the overload on the resistance source is 333 Ω , 250 Ω , 200 Ω , 167 Ω , and the overheating is 40.75 °C at 6.5 minutes with tripping conditions in each test. The final results of this study indicate that the protection system which is designed is better used for three-phase induction motors.

Keywords: *unbalanced, disturbances, protection systems, sensors, magnetic contactor, microcontroller.*

1. PENDAHULUAN

Di era globalisasi saat ini, berbagai aktifitas manusia bergantung pada peralatan listrik seperti motor induksi tiga fasa. Motor induksi tiga fasa sangat penting penggunaannya dan banyak digunakan dalam dunia industri, sesuai dengan peran dan fungsinya motor induksi biasa digunakan sebagai penggerak peralatan produksi seperti perakitan alat-alat berat.

Terjadinya variasi tegangan dalam sistem tenaga listrik disebabkan karena besaran tegangan antar ketiga fasa tidak sama sehingga adanya perbedaan sudut fasa R, S dan T yang menyebabkan beban yang tidak merata.

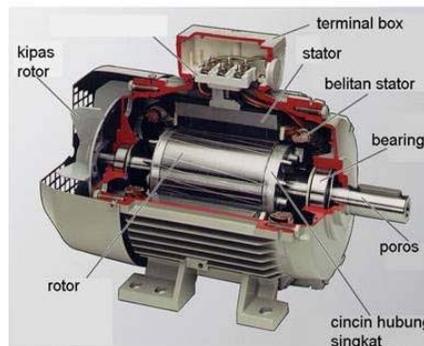
Permasalahan yang terjadi akibat gangguan-gangguan pada motor induksi tiga fasa ketika tegangan antar fasa tidak seimbang (*unbalance voltage*) pada

motor induksi akan timbul panas dan arus *unbalance*. Arus *unbalance* ini akan membuat bagian belitan stator dan belitan rotor menjadi panas, akibat dari timbulnya panas yang berlebih menyebabkan umur motor akan bertambah pendek karena isolasi pada *winding* rusak, putaran dan torsi pada motor juga akan semakin turun, sehingga bisa berdampak kerusakan pada motor induksi tiga fasa.

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Alam Alif Malkarim tahun 2016 dengan judul penelitian tentang analisis ketidakseimbangan tegangan dan kenaikan suhu pada motor induksi tiga fasa akibat gangguan *single-phasing*. Perancangan dilakukan bertujuan ketika terjadi gangguan *single-phasing* dalam kondisi beban nol dan berbeban dengan menggunakan *proxy brake*. Berdasarkan hasil pengujian, didapatkan akibat terjadinya *single-phasing* menimbulkan ketidakseimbangan tegangan sebesar 3,64 % pada kondisi beban nol hingga 6,30 % pada kondisi beban penuh, dimana daya keluaran saat *single-phasing* bernilai 36,46 Watt hingga 573,62 Watt, sedangkan pada kondisi normal bernilai 34,06 Watt hingga 417,04 Watt. Efisiensi saat *single-phasing* bernilai 21 % hingga 70 %, sedangkan pada kondisi normalnya bernilai 30 % hingga 76 %. Kenaikan suhu pada motor ketika kondisi beban nol sebesar 35,40°C dan pada kondisi berbeban sebesar 57,74°C (83,819 % beban penuh) dengan suhu pada kondisi normalnya bernilai 28°C [1].

Penelitian yang dilakukan Sahdan Ashari pada tahun 2015 dengan judul rancang bangun sistem monitoring dan pengaman motor induksi tiga fasa berbasis mikrokontroler Atmega 8535. Penelitian ini adalah agar 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 berlebih. Selain sistem pengaman juga dirancang sebuah sistem monitoring menggunakan pemrograman GUI (*graphical user interface*) dengan MATLAB R2009a. Berdasarkan hasil pengujian, pengukuran sensor arus dengan kesalahan yang relatif kecil yaitu 2,4 %, 4,65 %, dan 8,9 %. Sedangkan nilai rata-rata kesalahan pengukuran untuk sensor tegangan V_{acR-S} sebesar 0,7 %, V_{acS-T} 1,1 %, dan V_{acR-T} 0,5 % [2].

Lucky Pradigta pada tahun 2011 dengan judul penelitian tentang sistem pengaman motor induksi tiga fasa terhadap gangguan *unbalance voltage* dan *over load*. Penelitian ini bertujuan mengamankan motor induksi tiga fasa dari *unbalance voltage* dan *over load*, sistem pengaman bekerja dengan membandingkan nilai *set point* dengan parameter berupa tegangan serta arus yang diukur oleh sensor terhubung ke motor induksi



Gambar 1 umum motor induksi tiga fasa

tiga fasa sebagai beban. Berdasarkan pengujian yang dilakukan, *setting* arus antara 1 A dengan memberikan arus sebesar 5 A didapatkan waktu *tripping* 4,14 detik, dan saat *setting* arus 2 A dengan memberikan *setting* arus sebesar 5 A didapatkan waktu trip 7,3 detik. Maka dari hasil pengujian didapatkan persentase rata-rata *error* sebesar 3,44 % sehingga ketetapan waktu rata-rata *tripping* 96,56 % untuk pengaman *over load* [3].

Berdasarkan permasalahan, maka dalam penelitian ini bertujuan untuk mendeteksi, memproteksi, memprediksi, dan memonitoring apabila terjadi gangguan pada motor induksi tiga fasa yang terdiri dari beberapa perancangan perangkat keras dan perangkat lunak, tahapan pengujian proteksi yang dilakukan dengan cara pemberian nilai *set point* untuk sensor tegangan, arus, dan suhu maka *contactor magnetic* yang akan memutuskan ketika terjadi gangguan yang diberikan melebihi nilai *set point* yang diberikan, sehingga dibuatlah perancangan sistem proteksi dari bermacam gangguan dan monitoring menggunakan mikrokontroler dengan menggunakan *contactor magnetic* yang terhubung secara DOL (*Direct Online*) pada motor induksi tiga fasa.

2. KERANGKA TEORITIS

A. Motor Induksi

Sama seperti jenis motor listrik lainnya, motor induksi terbagi atas dua komponen utama yaitu stator yang merupakan bagian yang diam dan rotor yang merupakan bagian yang berputar. Untuk melihat motor induksi secara jelas dapat dilihat pada Gambar 1 [5].

B. Magnetic Contactor

Kontaktor magnet atau saklar magnet merupakan saklar yang bekerja berdasarkan prinsip kemagnetan. Artinya saklar ini bekerja jika ada gaya kemagnetan pada penarik kontakannya. Magnet berfungsi sebagai penarik dan sebagai pelepas kontak-kontaknya dengan bantuan pegas pendorong. Sebuah kontaktor harus mampu mengalirkan dan memutuskan arus



Gambar 2 Magnetic Contactor

dalam keadaan kerja normal. Arus kerja normal ialah arus yang mengalir selama pemutusan tidak terjadi. Sebuah kontaktor dapat memiliki koil yang bekerja pada tegangan DC atau AC. Pada tegangan AC, tegangan minimal adalah 85 % tegangan kerja, apabila kurang maka kontaktor akan bergetar. Gambar 2 bentuk fisik dari *magnetic contactor* [11].

C. Pengaruh Gangguan Tegangan Tak Seimbang Pada Temperatur

Berdasarkan standar NEMA (*National Electrical Manufacturers Association*) pengoperasian motor induksi diatas 5 % sangat tidak direkomendasikan, hal ini disebabkan efek kenaikan arus yang tidak bisa ditoleransi oleh motor induksi. Kenaikan arus ini menyebabkan kenaikan *temperature* pada stator, rotor, dan inti besi pada motor induksi. Berdasarkan persamaan *Derating Curve* pada motor induksi untuk tegangan seimbang dinyatakan dengan Persamaan 2.9:

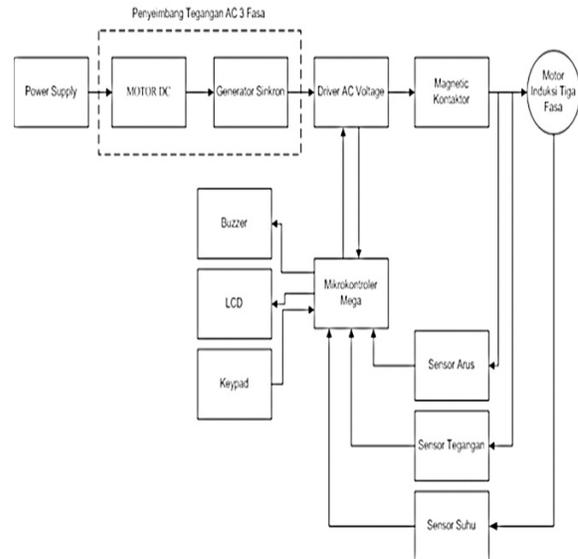
$$1 + \frac{\text{persen kenaikan temperatur pada lilitan}}{100} = \left(\frac{\text{persen load}}{100}\right)^{-1.7} \quad (2.9)$$

Sedangkan untuk kondisi pencatutan tegangan tak seimbang untuk standar NEMA melakukan pendekatan persamaan 2.10 [8] :

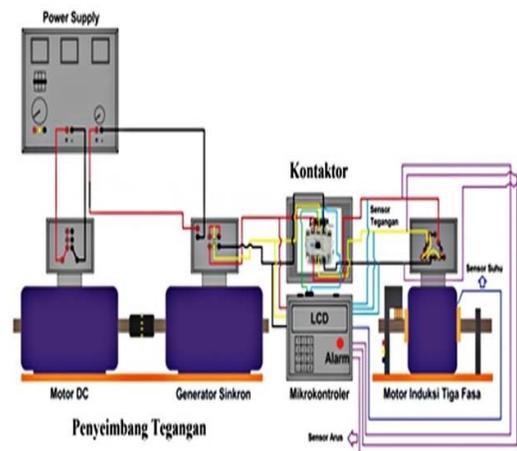
$$1 + \frac{2(\% \text{ketidakseimbangan})^2}{100} = \left(\frac{\% \text{load}}{100}\right)^{-1.7} \quad (2.10)$$

Pada persamaan diatas dapat menentukan % *Load* yang diperbolehkan pada kondisi ketidakseimbangan tertentu. Dengan kata lain, *derating* (penurunan nilai) dibutuhkan untuk mendapatkan spesifikasi dari kenaikan *temperature* pada motor.

Pada pengoperasiannya motor induksi tidak bisa berjalan dengan baik jika dioperasikan pada tegangan tak seimbang. Efek langsung yang diakibatkan oleh ketidakseimbangan tegangan pada performa motor induksi adalah meningkatnya rugi panas pada motor, rugi akustik (*noise*), penurunan rating motor, dan memperpendek umur motor. Walaupun tegangan tak seimbang yang terjadi kecil, tetapi arus motor tak seimbang dapat mengalir [8].



Gambar 3 Diagram Blok Keseluruhan Sistem

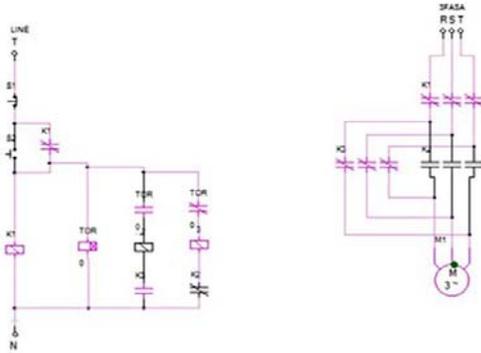


Gambar 4 Desain Alat Keseluruhan Sistem Proteksi Motor Induksi Tiga Fasa

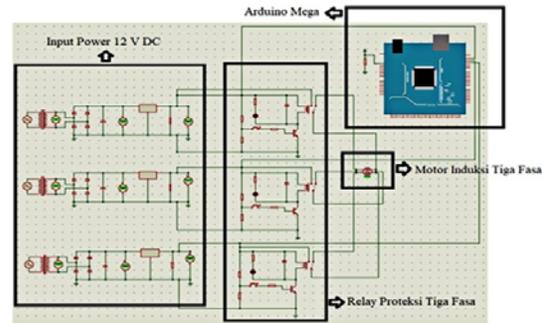
3. METODE RISET

A. Diagram Blok Sistem

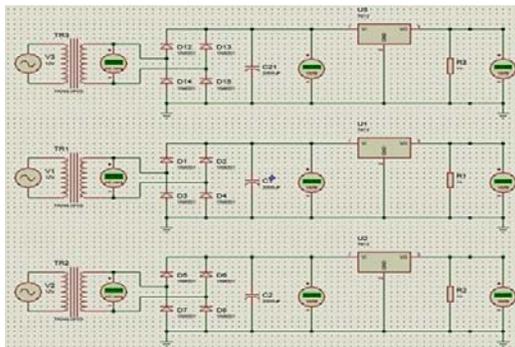
Penelitian ini dilakukan untuk membahas tentang perancangan sistem proteksi yang bertujuan untuk memprediksi dan memproteksi gangguan-gangguan seperti *unbalance voltage*, *over current*, *over load*, dan *over heat*. Metode ini dilakukan dengan dua bagian yaitu perancangan perangkat keras (*hardware*) dan tahap perancangan perangkat lunak (*software*). Pada bagian ini dijelaskan bahwa perancangan secara umum dari sistem kerja pengaman motor induksi tiga fasa. yang dapat dilihat pada Gambar 3.



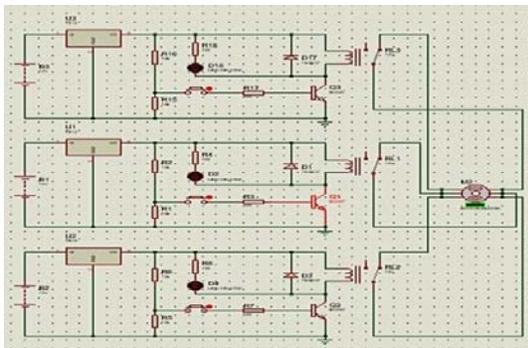
Gambar 5 Input-Output Power Supply Tiga Fasa dan Motor Induksi Tiga Fasa



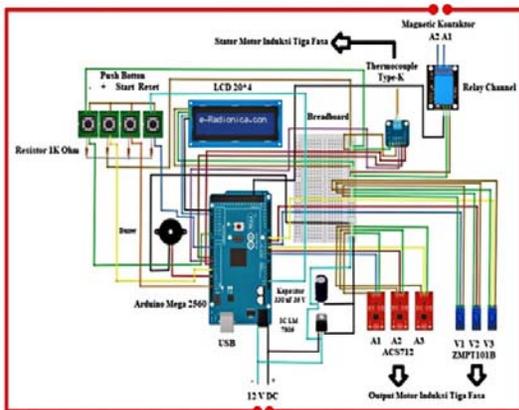
Gambar 9 Rangkaian Keseluruhan



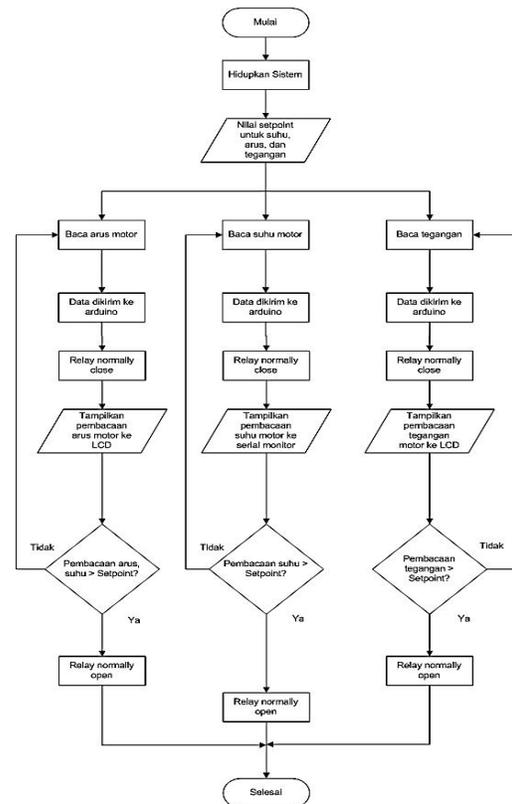
Gambar 6 Power supply Input-Output 12V DC



Gambar 7 Rangkaian Relay Proteksi



Gambar 8 Rangkaian Input-Output Mikrokontroler Mega dan Sensor



Gambar 10 Diagram Alir Sistem

Gambar 3 dapat menjelaskan alur perancangan dari sistem pengaman motor induksi tiga fasa. Masukkan sistem terdiri dari power supply sebagai sumber pada motor DC. Motor DC nanti akan jadi penggerak awal yang terhubung ke generator sinkron agar mendapatkan putaran yang terkendali dan mendapatkan tegangan dalam keadaan *balanced*, selanjutnya keluaran dari generator sinkron dihubungkan ke *input* motor induksi tiga fasa agar bisa dilakukan pengujian proteksi pada motor induksi tiga fasa saat terhubung star dan delta untuk proses pengujian dalam keadaan *unbalanced*. Pengujian dilakukan dengan memberikan nilai *setpoint* pada mikrokontroler untuk tegangan, arus, dan suhu saat diberikan gangguan pada motor induksi tiga fasa dan

kontaktor akan bekerja memutuskan ketika terjadi gangguan.

B. Perancangan Perangkat Keras

Desain keseluruhan rangkaian alat sistem proteksi motor induksi dapat dijelaskan mekanisme kerja alat secara keseluruhan, yaitu dengan menggunakan sumber tegangan *power supply* sebagai sumber input pada motor DC yang terhubung ke Generator Sinkron agar mendapatkan tegangan keluaran dalam keadaan *balanced* dengan frekuensi tetap 50 Hz, kemudian tegangan keluaran dari generator sikron yang terhubung secara delta menjadi sumber *input* tegangan motor induksi tiga fasa yang terhubung delta, sehingga dapat dilakukan pengujian proteksi motor induksi.

Dalam keadaan *unbalanced* terhadap gangguan-gangguan yang sering terjadi seperti *undervoltage*, *overvoltage*, *undercurrent*, dan *overheat* pengujian juga menggunakan kontaktor yang berfungsi sebagai *switching* atau pemutus yang peka terhadap suhu, tegangan, arus akan membuka dan menutup ketika terjadi gangguan-gangguan sesuai nilai *set point* yang telah diberikan, dari keseluruhan pengujian yang dilakukan data yang dihasilkan akan diolah pada sinyal keluaran lalu dikirimkan ke mikrokontroler akan ditampilkan pada layar LCD. Desain perangkat keras pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.

C. Rangkaian Input-Output Star dan Delta Pada Motor Induksi Tiga Fasa

Rangkaian DOL (*direct online*) K1 (Kontak Utama) bekerja sebagai *supply* utama pada kontak 1, 3, 5, untuk keluaran pada kontak 2, 4, 6 terhubung ke input motor induksi tiga fasa yang bertujuan untuk pemutus dan penghubung dari generator sinkron ketika motor induksi tiga fasa diberi gangguan-gangguan. Proteksi oleh TOR (*thermal over load relai*) bekerja bila pada rangkaian utama terjadi gangguan arus lebih pada beban motor induksi tiga fasa. Rangkaian dapat dilihat pada Gambar 5.

D. Rangkaian Power supply Input-Output 12 VDC

Sumber 220 VAC akan diturunkan menggunakan transformator 1 A menjadi 12 AC yang telah diturunkan tegangan AC tersebut kemudian disearahkan oleh dioda sehingga menghasilkan gelombang penuh, rangkaian catu daya 12 V DC, dan pengatur tegangan yang digunakan yaitu IC LM7812 untuk menghasilkan tegangan arus searah sebesar 12 V DC. Rangkaian dapat dilihat pada Gambar 6

E. Rangkaian Relay Proteksi

Rangkaian menggunakan relay proteksi yang akan digunakan dalam proteksi motor induksi tiga

fasa, dari rangkaian relay proteksi untuk pengatur tegangan (*switching*) yang digunakan yaitu IC LM7812 untuk menghasilkan tegangan arus searah sebesar 12 V, dan menggunakan relay sebagai pemutus dan pembuka ketika arus melebihi *datasheet* dari *triac* BT135 maka lampu indikator akan hidup ketika arus melebihi 12 A. Untuk transistor berfungsi sebagai penguat sinyal AC, penguat arus, dan *switching*. Rangkaian dapat dilihat pada Gambar 7.

F. Rangkaian Input-Output Mikrokontroler dan Sensor

Rangkaian *input-output* mikrokontroler dan sensor menggunakan Arduino Mega, untuk sensor suhu akan mendeteksi suhu yang terdapat pada sekitar kumparan, sensor tegangan digunakan untuk mendeteksi tegangan pada masing-masing fasa, dan sensor arus digunakan untuk mendeteksi arus yang masuk fasa setiap fasa, selanjutnya data dari keseluruhan sensor akan diatur nilai *set point* nya pada tombol *push botton* sebagai masukkan ke mikrokontroler dan ditampilkan ke layar LCD, dan *buzzer* digunakan sebagai indikator ketika terjadi gangguan pada motor induksi tiga fasa, seperti pada Gambar 8

G. Rangkaian Keseluruhan

Pada Gambar 9 rangkaian keseluruhan dapat dijelaskan bahwa pada sistem proteksi motor induksi tiga fasa menggunakan rangkaian star dan delta bertujuan untuk mengetahui kinerja alat yang telah dirancang, berdasarkan rangkaian keseluruhan rangkaian akan dikontrol dan dimonitoring oleh mikrokontroler Mega.

H. Perancangan Perangkat Lunak

Perancangan perangkat lunak atau *software* pada sistem proteksi motor induksi tiga fasa digunakan untuk membantu kinerja sistem kendali. Sistem kendali menggunakan Arduino sebagai mikrokontroler yang berisi suatu perintah untuk memproses sistem kerja dan mengamankan motor induksi tiga fasa. Tahap awal dalam merancang *software* yaitu dengan memberi inisialisasi dan konfigurasi dengan memasukkan nilai *set point* sensor tegangan, arus, dan suhu.

I. Metode Pengujian

Tahapan-tahapan pengujian dilakukan untuk mengetahui apakah kerja dari keseluruhan sistem dapat bekerja dengan baik, dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Pengujian Komponen Sensor

1.1 Pengujian Pengukuran Kalibrasi Sensor

Pengujian pengukuran kalibrasi setiap sensor arus, tegangan, dan suhu dilakukan untuk menguji

keakuratan sensor agar nanti ketika dilakukan pengujian proteksi nilai pengukuran yang didapat sesuai dengan tujuan penelitian dan tidak mendapat nilai *error* yang cukup besar.

2. Pengujian Sistem *Balanced* Motor Induksi Tiga Fasa

Pengujian pengukuran kondisi *balanced* dilakukan untuk mendapatkan tegangan *balanced* yaitu sebesar 380 VAC, pengujian menggunakan sumber DC 200 V sebagai *input* motor DC sebagai penggerak dan generator sinkron sebagai pembangkit tegangan agar mendapatkan tegangan yang seimbang (*balanced*), hasil dari tegangan keluaran generator sinkron yang diambil berupa tegangan *line to line* dan *line to netral* pada osiloskop.

3. Pengujian Sistem Proteksi Motor Induksi Tiga Fasa

3.1 Pengujian Proteksi Saat *Unbalance Voltage*

Pengujian *unbalance voltage* ketika kondisi tegangan dalam keadaan tidak seimbang dengan cara memberikan beban motor DC dengan sumber tahanan menggunakan *reostat variabel*, sehingga tegangan antar fasa bisa mengalami drop tegangan pada sumber tiga fasa. Tahanan yang digunakan ini divariasikan mulai dari *range* terbesar sampai dengan terkecil untuk mengukur hasil keluaran dari setiap fasa R, S, dan T dan ketika mencapai gangguan yang diberikan maka kontaktor akan *trip*.

3.2 Pengujian Proteksi Saat *Over Voltage*

Pengujian dilakukan dengan menaikkan *input* tegangan pada *power supply* menggunakan input dari regulator tegangan tiga fasa, tegangan eksitasi dinaikkan mulai dari 349 s/d 302 V hingga lebih dari setting tegangan nominalnya. Kemudian sumber tegangan dihubungkan dengan motor induksi tiga fasa dengan menggunakan kontaktor magnetik, yang bertujuan untuk mengetahui respon proteksi terhadap adanya tegangan naik secara mendadak dan kontaktor akan merespon untuk mentriapkan motor induksi tiga fasa ketika diberikan gangguan dengan kondisi variasi tegangan yang diberikan sesuai dengan nilai *set point* yang diberikan.

Over voltage merupakan fenomena yang terjadi karena kenaikan nilai rms tegangan AC yang lebih besar dari 110% pada frekuensi daya dalam durasi lebih lama dari satu menit. *Over voltage* ini disebabkan oleh adanya pelepasan beban, misalnya pemutusan suatu beban besar. Saat tegangan lebih atau *over voltage* tidak boleh melebihi tegangan nominal sistem, yaitu sebesar +5% sedangkan untuk tegangan turunnya dibatasi sampai dengan -10% (SPLN 1 ; 1995).

A. Perhitungan Batas Nominal Standar Tegangan Lebih +5% (*Over Voltage*)

$$\begin{aligned} \text{Per Unit} &= \frac{\text{Tegangan Nyata}}{\text{Tegangan Dasar}} \\ &= 230 \text{ V} + 5\% = \frac{241,5 \text{ V}}{230 \text{ V}} = 1,05 \text{ PU} \end{aligned}$$

Jadi untuk untuk batas nominal standar tegangan lebih +5% dengan nilai 241,5 V.

B. Perhitungan Batas Nominal Standar Tegangan Turun -10% (*Under Voltage*)

$$\begin{aligned} \text{Per Unit} &= \frac{\text{Tegangan Nyata}}{\text{Tegangan Dasar}} \\ &= 230 \text{ V} - 10\% = \frac{207}{230} = 0,9 \text{ PU} \end{aligned}$$

Jadi untuk untuk batas nominal standar tegangan turun -10% dengan nilai 207 V.

3.3 Pengujian Proteksi Saat *Over Current*, *Over Load*, *Over Heating*, dan Diagram Alir Penelitian

Pengujian proteksi *over current* dan *over load* adalah situasi besarnya beban ditanggung pada motor induksi tiga fasa yang melebihi kapasitasnya dengan cara memberikan nilai *set point* arus 1 A. Proteksi *overcurrent* dan *over load* dilakukan beban mekanik dengan sumber variasi tahanan menggunakan *reostat variabel*.

Pengujian ini bertujuan untuk melihat batasan suhu maksimal untuk waktu kerja dari motor induksi tiga fasa dalam keadaan beroperasi dengan *setting* batasan suhu maksimal 40°C, dengan cara memberikan beban lebih dari kapasitas yang ditanggung motor.

Pada penelitian ini harus memiliki struktur dan alur kerja yang tepat. Berikut diagram alir penelitian yang dapat dilihat pada Gambar 10.

4. HASI DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Sistem Proteksi

Pengujian dilakukan di Laboratorium Fakultas Teknik Universitas Bengkulu, berdasarkan perancangan dan pengujian-pengujian yang telah dilakukan, hasil data dan analisa dapat dijabarkan sebagai berikut:

B. Pengujian Proteksi *Unbalance Voltage*

Pengujian dilakukan saat tegangan dalam kondisi *balanced* 380 V untuk setiap fasa R, S, dan T diberikan gangguan *unbalanced* dengan beban sebesar 1000 Ω, sampai dengan 167 Ω pada fasa R dengan nilai *set point*

Tabel 1 Data Hasil Pengujian Proteksi Saat *Unbalance Voltage*

R (Ω)	V_{out} Motor Induksi Tiga Fasa (V)			I_{out} Motor Induksi Tiga Fasa (A)			V_{out} Beban Motor DC	RPM
	V ₁	V ₂	V ₃	I ₁	I ₂	I ₃		
1000	140	139	166	0,89	0,90	0,63	181,7	2673
500	137	135	156	0,88	0,96	0,65	176,4	2628
333	135	137	143	0,95	1	0,68	168,5	2588
250	130	136	128	0,98	1,05	0,75	163,8	2533
200	123	128	120	1,04	1,07	0,77	156,0	2477
167	112	114	108	1,13	1,16	0,82	148,9	2421

V_{in} Motor DC = 200 V.

Set Point V_{L-N} = 250 V.

V_{out} Generator Sinkron Sebelum Dibebeani = 380 V.

V_{out} Generator Sinkron Setelah Dibebeani = 260 V.

yang diberikan sebesar 250 V konstan, dari penjelasan diatas data hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 1.

Berdasarkan hasil pengujian pada saat motor diberikan beban sebesar 1000 Ω nilai tegangan keluaran yang didapat semakin besar dengan kondisi variasi tegangan *unbalance voltage* yang cukup jauh antara V_1V_2 terhadap V_3 , dan nilai arus keluaran semakin kecil yaitu sebesar 0,63 A pada I_3 , sedangkan ketika beban divariasikan sebesar 167 Ω nilai tegangan yang didapat menurun dengan kondisi *unbalance voltage* cukup jauh pada V_1, V_2 terhadap V_3 , dan nilai arus keluaran semakin besar yaitu sebesar 1,13 A pada I_1 .

Dari pengujian yang telah dilakukan ketika kondisi *unbalance voltage* disimpulkan bahwa semakin besar sumber tahanan yang diberikan maka tegangan yang dihasilkan akan semakin besar dan arus semakin kecil, ini dikarenakan semakin besar tahanan maka tahanan akan terbagi kebeban lainnya, dan ketika sumber tahanan diberikan semakin kecil maka tegangan keluaran yang dihasilkan akan semakin kecil dan arus keluaran akan semakin besar, ini dikarenakan semakin kecil sumber tahanan yang diberikan maka tahanan akan semakin sedikit terbagi kebeban lainnya.

C. Pengujian Proteksi *Over Voltage*

Pengujian dilakukan saat tegangan dalam kondisi *balanced* 380 V ketika diberikan *set point* gangguan *over voltage* 250 V sampai dengan 200 V untuk proses *tripping* ketika motor induksi tiga fasa diberikan variasi nilai gangguan, dari penjelasan diatas data hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2 Data Hasil Pengujian Proteksi Saat *Over Voltage*

Set Point (V)	V_{out} G Setelah Dibebeani (V)	V_{out} L-N Motor Induksi Tiga Fasa (V)			I_{out} Motor Induksi Tiga Fasa (A)			Kondisi	RPM
		V ₁	V ₂	V ₃	I ₁	I ₂	I ₃		
250	349	228	207	264	1,25	1,24	0,80	Trip	2664
240	331	208	189	244	1,06	1,09	0,67	Trip	2637
230	323	197	196	236	1,03	1,02	0,66	Trip	2617
220	314	191	180	222	1,00	1,02	0,65	Trip	2574
210	304	182	185	217	0,98	0,96	0,65	Trip	2456
200	302	181	175	206	0,98	1,12	0,60	Trip	2262

V_{in} Motor DC = 200 V.

V_{out} Generator Sinkron = 380 V.

Berdasarkan hasil pengujian ketika nilai *set point* tegangan sebesar 250 V dan diberikan sumber tegangan generator sinkron ketika dibebani sebesar 349 V nilai tegangan keluaran yang didapat semakin besar dengan kondisi variasi tegangan *over voltage* yang cukup jauh antara V_1V_2 terhadap V_3 dengan kondisi *tripping* pada motor induksi tiga fasa terjadi pada tegangan keluaran pada V_3 yaitu sebesar 264 V, dan nilai arus keluaran semakin besar yaitu sebesar 1,25 A pada I_1 , sedangkan ketika nilai *set point* tegangan sebesar 200 V dengan sumber tegangan generator sinkron ketika dibebani sebesar 302 V nilai tegangan yang didapat menurun dengan kondisi *over voltage* cukup jauh pada V_1, V_2 terhadap V_3 , dan nilai arus keluaran semakin kecil yaitu sebesar 0,60 A pada I_3 , dari pengujian yang telah dilakukan ketika kondisi *over voltage* disimpulkan bahwa semakin besar sumber tegangan pada generator sinkron yang diberikan maka tegangan yang dihasilkan akan semakin besar dan arus semakin besar, dan ketika sumber generator sinkron diberikan semakin kecil maka tegangan keluaran yang dihasilkan akan semakin kecil dan arus keluaran akan semakin kecil, ini dikarenakan pada pengujian *over voltage* tidak menggunakan sumber tahanan dan beban pada motor induksi tiga fasa.

D. Pengujian Proteksi *OverCurrent* dan *OverLoad*

Pengujian dilakukan saat tegangan dalam kondisi *balanced* 380 V untuk setiap fasa R, S, dan T sebagai sumber tegangan pada motor induksi tiga fasa ketika diberikan gangguan *over current* dan *over load* dengan menambahkan beban mekanik motor DC dan variabel resistif sebagai sumber tahanan pada beban motor DC 1000 Ω , sampai dengan 167 Ω dengan nilai *set point* *tripping* yang diberikan untuk tegangan sebesar 250 V konstan dan arus sebesar 1 A pada setiap 6 kali pengujian, dari penjelasan diatas data hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3 Data Hasil Pengujian Proteksi Saat *OverCurrent* dan *Overload*

R (Ω)	V_{out} Motor Induksi Tiga Fasa (V)			I_{out} Motor Induksi Tiga Fasa (A)			Kondisi	V_{out} M DC	RPM
	V_1	V_2	V_3	I_1	I_2	I_3			
1000	140	139	166	0,89	0,90	0,63	Normal	181,7	2673
500	137	135	156	0,88	0,96	0,65	Normal	176,4	2628
333	135	137	143	0,95	1	0,68	Trip	168,5	2588
250	130	136	128	0,98	1,05	0,75	Trip	163,8	2533
200	123	128	120	1,04	1,07	0,77	Trip	156,0	2477
167	112	114	108	1,13	1,16	0,82	Trip	148,9	2421

V_{in} Motor DC = 200 V.

Set Point V_{L-N} = 250 V.

Set Point Arus = 1 A.

V_{out} Generator Sinkron Sebelum Dibebani = 380 V.

V_{out} Generator Sinkron Setelah Dibebani = 260 V.

Berdasarkan hasil pengujian pada saat motor diberikan beban sebesar 1000 Ω, nilai tegangan keluaran yang didapat semakin besar akan tetapi pada pengujian pertama tidak terjadi *over current* dan *over load* dikarenakan nilai arus keluaran yang didapat hanya mencapai 0,90 A pada I_2 dikarenakan semakin besar tahanan yang diberikan maka arus yang mengalir akan terbagi ke beban lainnya.

Sedangkan pada pengujian ketiga sampai dengan ke enam terjadi gangguan *over current* dan *over load* pada salah satu arus I_2 sebesar 1 A, 1,05 A, 1,07 A, 1,16 A dengan sumber tahanan sebesar 333 Ω, 250 Ω, 200 Ω, 167 Ω dikarenakan semakin kecil tahanan yang diberikan maka tidak akan terbagi ke beban lainnya dan arus keluaran yang mengalir akan semakin besar dan melewati nilai *set point* yang telah ditentukan sebesar 1 A.

E. Pengujian Proteksi *Over Heating*

Pengujian yang telah dilakukan, ketika kondisi suhu normal motor belum diberikan sumber tegangan 380 VAC dari generator sinkron dengan *set point* tegangan 250 VAC *line to neutral* dan arus 4 A.

ketika motor induksi beroperasi dan diberikan beban motor DC dengan variasi sumber tahanan variabel resistif pada setiap pengujian yang bertujuan untuk melawan arah putaran rotor pada motor induksi tiga fasa sehingga menimbulkan panas pada bagian rotor motor induksi tiga fasa dengan suhu mencapai 40 °C dari pengujian yang dilakukan hasil pengukuran ditampilkan pada layar LCD, ketika suhu pada motor induksi tiga fasa sudah melebihi nilai *set point* yang telah ditentukan dengan kondisi *tripping* maka tampilan layar LCD menunjukkan *over heating* dan motor berhenti beroperasi ketika diberi gangguan, dari pengujian yang telah dilakukan ketika sudah mencapai suhu 40°C maka data dikirimkan dan diolah oleh mikrokontroler yang ditampilkan pada tampilan layar *serial monitor*, dari penjelasan diatas data hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4 Data Hasil Pengujian Proteksi *Over Heating*

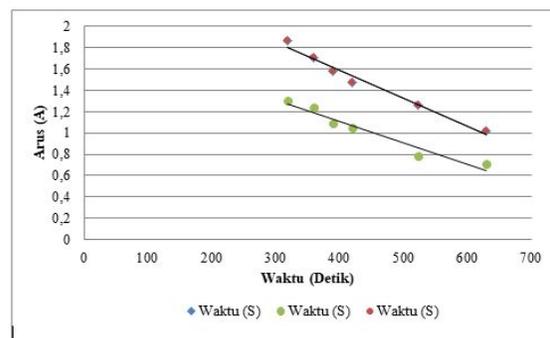
R (Ω)	Pengukuran Sensor Suhu Pada Layar Display (°C)	I_{out} Motor Induksi Tiga Fasa Pada Layar LCD (A)			I_{out} Motor Induksi Tiga Fasa Pada Tang Ampere (A)			Waktu (S)	Ket	RPM
		I_1	I_2	I_3	I_1	I_2	I_3			
1000	40,55	1,02	1,10	0,71	1,11	1,02	0,58	630	Trip	2963
500	40,00	1,26	1,37	0,79	1,27	1,42	0,73	522	Trip	2837
333	40,50	1,47	1,57	1,05	1,52	1,59	0,77	420	Trip	2660
250	40,75	1,58	1,44	1,09	1,57	1,62	0,82	390	Trip	2674
200	40,45	1,71	1,74	1,24	1,85	1,76	1,24	360	Trip	2590
167	40,65	1,86	1,81	1,30	1,87	1,86	1,27	318	Trip	2371

Set Point Suhu Start (°C) = 30 °C.

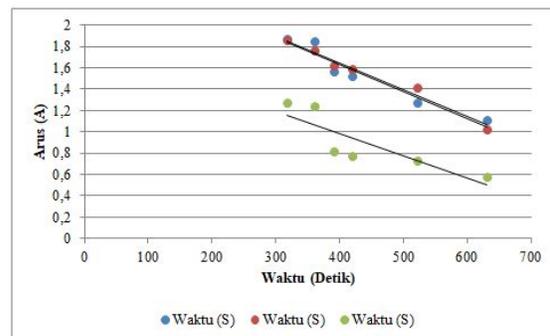
Set Point Suhu Stop (°C) = 40 °C.

V_{out} Generator Sinkron Sebelum Dibebani = 380 V.

V_{out} Generator Sinkron Setelah Dibebani = 326 V.



Gambar 11 Grafik Perbandingan Arus Keluaran Sensor Arus ACS712 Terhadap Waktu dalam Detik



Gambar 12 Grafik Perbandingan Arus Keluaran Dengan Alat Ukur Terhadap Waktu dalam Detik

Berdasarkan Gambar 11 dijelaskan bahwa karakteristik perbandingan pada dengan variasi tahanan eksternal, kenaikan suhu yang terukur pada sensor termokopel tipe-K pada kondisi *over heat* terjadi diwaktu yang semakin cepat, pada pengukuran suhu dengan tahanan sebesar 167 Ω dengan nilai arus yang terukur menggunakan sensor arus ACS712 sebesar I_1 1,86 A; I_2 1,81 A; I_3 1,30 A, dan Gambar 12 pengukuran dengan alat ukur menggunakan tang ampere dengan tahanan sebesar 167 Ω dengan nilai arus yang terukur sebesar I_1 1,87 A; I_2 1,86 A; I_3 1,27 A. Nilai arus dan panas yang ditimbulkan karena

putaran pada motor induksi tiga fasa yang berlawanan arah putar dengan motor DC ketika tahanan sumber variabel resitif diberikan mulai dari *range* tertinggi sampai dengan *range* terendah, dari hasil pengukuran suhu yang didapat sebesar 40,65 °C dengan waktu pemanasan selama 318 detik.

Berdasarkan penjelasan diatas dapat disimpulkan bahwa semakin besar tahanan yang diberikan maka arus yang mengalir akan terbagi ke beban lainnya begitupun jika tahanan semakin kecil maka arus yang dialirkan akan semakin sedikit dibagi ke beban lainnya, maka beban pada motor DC akan semakin berat membebani motor induksi tiga fasa.

5. PENUTUP

A. Kesimpulan

1. Sistem proteksi motor induksi tiga fasa dapat berjalan dengan baik, mampu memproteksi dan memonitoring apabila terjadi gangguan-gangguan yang diberikan sesuai dengan nilai *set point* yang diberikan.
2. Berdasarkan pengujian sistem proteksi motor induksi tiga fasa yang terhubung secara star dan delta, hasil pengujian untuk *unbalance voltage* sebesar V_1 140 V; V_2 139 V; V_3 166 V, *over voltage* sebesar V_1 228 V; V_2 207 V; V_3 264 V, *over current* sebesar A_1 104 A; A_2 107 A; A_3 0,77 A; *over load* pada tahanan 333 Ω , 250 Ω , 200 Ω , 167 Ω , dan *over heating* sebesar 40,75 °C dengan nilai arus dengan menggunakan sensor arus ACS712 sebesar I_1 1,86 A; I_2 1,81 A; I_3 1,30 A; dan nilai arus menggunakan alat ukur tang amperasebesar I_1 1,87 A; I_2 1,86 A; I_3 1,27 A; dengan waktu lama pemanasan selama 318 detik.
3. Berdasarkan hasil pengujian gangguan *over current* pada salah satu arus I_2 sebesar 1,05 A, dengan tahanan sebesar 250 Ω , sehingga motor induksi tiga fasa mengalami *over load* dengan kondisi *tripping*, dikarenakan semakin besar tahanan yang diberikan maka arus yang mengalir akan terbagi ke beban lainnya begitupun jika tahanan semakin kecil maka arus yang dialirkan akan semakin sedikit dibagi ke beban lainnya.

B. Saran

1. Diharapkan bila ada yang mau melanjutkan atau mengembangkan penelitian ini bisa menambahkan proteksi pada frekuensi dan generator.
2. Perancangan sebaiknya disertai dengan pengendali tegangan AC tiga fasa sebagai pengontrol tegangan ketika pengujian *output* yang dihasilkan lebih baik lagi.

REFERENSI

- [1] Alif, M.A. 2016. "Analisis Ketidakseimbangan Tegangan dan Kenaikan Suhu Pada Motor Induksi Tiga Fasa Akibat Gangguan Single-Phasing". Semarang : Teknik Elektro Universitas Diponegoro.
- [2] Ashari, Sahdan. 2015. "Rancang Bangun Sistem Monitoring dan Pengaman Motor Induksi Tiga Fasa Berbasis Mikrokontroler Atmega 8535". Nusa Tenggara Barat : Teknik Elektro Universitas Mataram.
- [3] Pradigta Lucky. 2011. "Sistem Pengaman Motor Induksi Tiga Fasa Terhadap Gangguan Unbalance Voltage dan Overload". Jawa Timur : Teknik Elektro Industri Institut Sepuluh November.
- [4] Wijaya, Mochtar. 2001. "Dasar – dasar Mesin Listrik". Djambatan. Jakarta.
- [5] Chapman, Stephen J. 2005. "Electric Machinery Fundamental". Forth Edition. McGraw Hill Companies, New York.
- [6] Prasetyo, Eko. 2009. "Analisis Pengaruh Jatuh Tegangan Jala – Jala Terhadap Unjuk Kerja Motor Induksi Tiga Fasa". Universitas Sumatera Utara : Sumatera Utara.
- [7] S. Corino E, d.k.k. "How The Efficiency Of Induction Motor Measured. Departement Of Electrical Engineering And Energy". Universidad De Cantabria.
- [8] Zuhail. 1991. "Dasar Tenaga Listrik. Bandung" : Teknik Elektro Institut Teknologi Bandung.
- [9] Sendro, Parisno. 2011. "Analisis Jatuh Tegangan Terhadap Kerja Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan MATLAB". Sumatera Utara : Universitas Sumatera Utara.
- [10] Purnami, Ayu. 2017. "Analisis Gangguan Undervoltage dan Overvoltage (Studi Kasus : Dekanat Fakultas Teknik Universitas Bengkulu)". Fakultas Teknik. Universitas Bengkulu. Bengkulu.
- [11] Prasetyo, Judi. 2015. "Penggunaan Software Electrical Control Techniques Simulator Sebagai Media Pembelajaran Untuk Meningkatkan Hasil Belajar Pada Mata Pembelajaran Instalasi Tenaga Kelas XI Di SMK NEGERI 5 Semarang". Semarang : Teknik Elektro Universitas Negeri Semarang.
- [12] Agung, Septa Fajri., dkk. "Sistem Deteksi Asap Rokok pada Ruangan Bebas Asap Rokok dengan Suara". Palembang. AMIK GI MDP.
- [13] Gitra, Doan . 2017. Sistem Kendali Tangki Produksi Pada Water Treatment System Berbasis Arduino Mega 2560 dengan Menerapkan Algoritma Fuzzy. Skripsi, Palembang : Jurusan Teknik Elektro Universitas Sriwijaya.
- [14] Timotius, Temi. 2016. "Makalah Proteksi Sitem Tenaga Listrik (Penggunaan Over Current Relay Dalam System Tenaga Listrik)". Nusa Tenggara Timur : Jurusan Teknik Elektro Universitas Nusa Cendana.
- [15] PT. PLN. 1998. "Standar Perusahaan Listrik Negara SPLN 1 : 1995". Jakarta : Bidang Transmisi dan Direksi Perusahaan Umum Listrik Negara.