

# SISTEM PENGAMAN

## MOTOR INDUKSI 3 PHASA TERHADAP GANGGUAN UNBALANCE VOLTAGE DAN OVERLOAD

Lucky Pradigta S.R.<sup>1</sup>, Indhana Sudiharto, ST., MT.<sup>2</sup>, Epyk Sunarno, S.ST., MT.<sup>3</sup>

Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Industri, PENS-ITS, Surabaya, Indonesia,

e-mail: lucky.digta88@gmail.com<sup>1</sup>

Dosen Jurusan Teknik Elektro Industri, PENS-ITS, Surabaya, Indonesia. <sup>2,3</sup>

### Abstrak

Motor induksi 3 phasa merupakan jenis motor yang paling sering digunakan pada proses produksi di industri. Hal ini dikarenakan motor induksi memiliki beberapa keuntungan yang tidak dimiliki oleh motor DC, tetapi sering juga terjadi gangguan antara lain adalah Unbalance Voltage dan Overload pada motor induksi 3 phasa. Gangguan tersebut mempunyai dampak yang sangat berbahaya bila dibiarkan berlarut-larut dikarenakan arus yang mengalir sangat besar sehingga meningkatkan suhu dan dapat mengakibatkan motor induksi 3 phasa terbakar.

Untuk mengatasi gangguan, maka diperlukan suatu sistem yang dapat mengamankan dari Unbalance Voltage sesuai standar ANSI Std C84.1-1989 dan Overload sesuai standar name plate Overcurrent Protection Relay CKR Series. Sistem pengaman bekerja dengan membandingkan nilai setpoint dan parameter tegangan serta arus yang disensor dari motor induksi 3 phasa sebagai beban. Dari pengujian sistem pengaman Unbalance Voltage dan Overload yang bekerja dengan membandingkan nilai setpoint antara arus 1.5 Ampere sampai 5 Ampere maka didapatkan persentase error rata-rata 3.44 % untuk waktu trip kontaktor pada pengaman Overload dan tegangan antara 360 Volt sampai 380 Volt dengan persentase Unbalance Voltage antara 0 % sampai 10.95 % pada pengaman Unbalance Voltage.

Kata Kunci : Motor Induksi 3 Phasa, Sensor Tegangan, Sensor Arus, Mikrokontroller AT Mega 16.

### Abstract

The 3 phase induction motor is a motor type most often used in production processes in industry. This is because the induction motor has several advantages that are not owned by a DC motor, but often also occur among other disturbance Unbalance Voltage and Overload in the 3 phase induction motor. The disturbance has a very harmful impact if allowed to drag on due to a very large current flows thereby increasing the temperature and can lead to 3 phase induction motor burn.

To overcome the interference, we need a system that can secure from Unbalance Voltage according to the standard ANSI Std C84.1-1989 and Overload Protection Relay Overcurrent with name plate CKR Series. The security system works by comparing the value setpoint and voltage and current parameters of the outtakes from the 3 phase induction motor as load. From testing the security system Unbalance Voltage and Overload that works by comparing the current value of setpoint between 1.5 Ampere to 5 Amperes then obtained an average percentage error 3.44 % for the time trip on security contactors Overload and voltage between 360 Volts to 380 Volts with a percentage Unbalance Voltage between 0 % to 10.95 % in Unbalance Voltage safety.

*Key words : The 3 phase Induction Motor, Voltage Sensor, Current Sensors, Microcontroller AT Mega 16.*

### 1. Pendahuluan

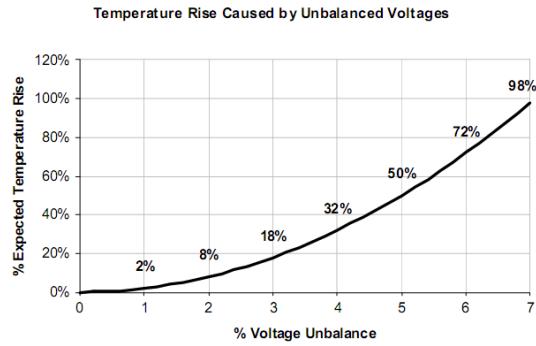
Sering kita jumpai di banyak industri, pada umumnya menggunakan motor induksi 3 phasa pada proses produksi. Motor induksi 3 phasa secara umum digunakan untuk mengubah energi listrik menjadi energi gerak yang digunakan untuk mengerakkan suatu beban pada proses produksi. Motor induksi 3 phasa sering digunakan karena memiliki beberapa keunggulan diantaranya memiliki kontruksi sangat kuat, perawatan motor yang relatif mudah dan memiliki effisiensi relatif tinggi pada keadaan normal.

Dalam penggunaan motor induksi 3 phasa, ternyata terdapat beberapa permasalahan yang

dapat mengakibatkan rusak baik secara permanen atau sementara pada motor induksi 3 phasa tersebut. Permasalahan yang terjadi diantaranya adalah gangguan terhadap ketidakseimbangan tegangan (unbalance voltage) dan terjadinya beban lebih (overload).

Unbalance voltage terjadi bila tegangan phasa R, S, dan T tidak sama sehingga supply 3 phasa ke motor induksi tidak seimbang. Sebenarnya, tegangan supply pada motor induksi 3 phasa dibutuhkan tegangan supply 3 phasa yang seimbang (balance), tetapi pada kenyataan sangat sulit mendapatkan tegangan supply 3 phasa

yang seimbang. Sehingga dalam pemberian supply 3 phasa pada motor induksi 3 phasa terdapat toleransi unbalance volatage sesuai standarisasi yang telah ada seperti **ANSI Std C84.1 – 1989** adalah 3 %, **Pacific Gas and Electric** adalah 2.5 % dan **NEMA Std MGI.1993** adalah 1 %. Untuk akibat dari unbalance voltage digambarkan sesuai kurva antara prosentase unbalance voltage terhadap prosentase kenaikan temperature yang diambil dari data Pacific Gas and Electric Company (PG&E) di bawah ini :



Gambar 1 Kurva Kenaikan Tempertur Akibat Tegangan Tak Seimbang

Perhitungan unbalance voltage menurut standar NEMA Standard MGI.1993 , ANSI Std C84.1 – 1989 dan IEEE adalah :

$$\% \text{ Unb\_Volt} = \frac{\text{deviation}}{\text{average voltage}} * 100$$

Dimana :

- % Unb\_Volt : nilai % Unbalance Voltage
- Deviation from Average Voltage : selisih antara tegangan rata-rata dengan tegangan fasa-fasa terendah (selisih tegangan terbesar).
- Average voltage : rata-rata 3 tegangan fasa-fasa ( $V_{RS}$ ,  $V_{ST}$  dan  $V_{ST}$ ).

Beban lebih atau yang disebut dengan overload terjadi bila beban melebihi batas kemampuan dari motor induksi 3 phasa. Arus stator sering dipakai sebagai gambaran seberapa besar beban/load motor. Secara umum, besar arus tidak boleh lebih dari yang tercantum di name plate motor  $I_n$  atau  $I_{full load}$ . Panas yang timbul dalam winding adalah fungsi kuadrat arus, jadi bertambah sedikit saja mengakibatkan peningkatan panas besar.

Untuk karakteristik dari pengaman overload menggunakan normaly invers dengan perhitungan sebagai berikut.

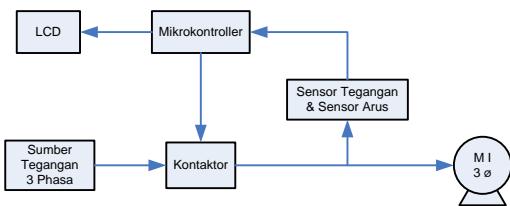
### Normal Inverse :

$$t = \frac{0.14}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^{0.02} - 1} * T_p (\text{secon})$$

Maka perlu pencegahan terhadap permasalahan yang terjadi pada motor induksi 3 phasa terutama terhadap unbalance voltage dan overload dengan cara menganalisa dan membuat sistem pengaman motor induksi 3 phasa terhadap gangguan unbalance voltage dan overload dengan menggunakan mikrokontroller.

## 2. Konfigurasi Sistem

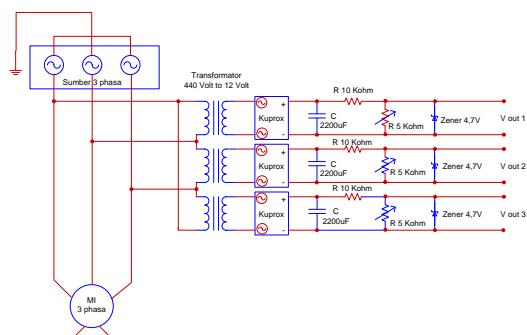
Pada perancangan sistem pengaman motor induksi 3 phasa terhadap gangguan unbalance voltage dan overload akan dibuat seperti blok diagram sebagai berikut.



Gambar 2 Blok Diagram Sistem Pengaman Motor Induksi 3 Phasa Terhadap Gangguan Unbalance Voltage Dan Overload

### 2.1 Perencanaan dan Pembuatan Sensor Tegangan

Sensor tegangan ini digunakan untuk mendapatkan parameter tegangan antar phasa sehingga dapat mengetahui besar tegangan phasa-phasa. Pada pembuatan sensor tegangan ini menggunakan potensial transformer dan rangkaian pembagi tegangan.

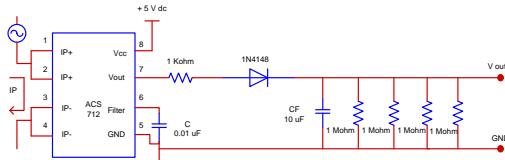


Gambar 3 Rangkain Sensor Tegangan

### 2.2 Perencanaan dan Pembuatan Sensor Arus

Sensor arus ini menggunakan ACS712-20A-T yang memiliki kemampuan arus sampai 20 Ampere. Keluaran dari ACS712-20A-T adalah tegangan dc ripple. Perubahan yang dihasilkan dari keluaran sensor arus ACS

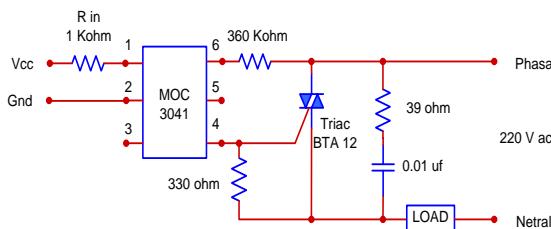
ACS712-20A-T ini sangat kecil sekitar 100 mV setiap perubahan 1 Ampere (sesuai data sheet).



Gambar 4 Rangkaian Sensor Arus

### 2.3 Perencanaan dan Pembuatan Softswitch

Softswitch adalah pengganti relay yang digunakan untuk menyambung dan memutuskan kontaktor. Fungsi dari softswitch ini bisa meredam arus yang muncul pada saat memutus dan menyambungkan kontaktor dari drive mikrokontroller. Softswitch ini menggunakan TRIAC (BTA12) dan di drive dengan menggunakan MOC 3041 yang mendapat pulsa dari mikrokontroller. Di bawah ini adalah gambar rangkaian softswitch



Gambar 5 Rangkaian Softswitch

## 3. Pengujian Dan Analisa

Pengujian dilakukan dengan cara pengukuran dan pengambilan bentuk gelombang output dari setiap rangkaian yang dibutuhkan.

### 3.1 Pengujian Sensor Tegangan

Sensor tegangan ini menggunakan Potensial Transformer dan Pembagi Tegangan sehingga dilakukan pengujian pada tegangan keluaran potensial transformer dan tegangan keluaran setelah dimasukkan rangkaian pembagi tegangan. Pada tabel 1 dan 2 di bawah ini merupakan hasil pengujian sensor tegangan. Pengujian ini dilakukan dengan cara pengukuran pada tegangan keluaran tarfo dan tegangan keluaran pembagi tegangan. Sedangkan pada gambar 6 merupakan gelombang keluaran tegangan sensor.

Tabel 1 Hasil Sensor Tegangan Potensial Transformer

V in Varia c 3ø (Volt)	Vin Variac 3ø ( Volt )			V out Potensial Transformer ( Volt )		
	V ac R-S	V ac S-T	V ac R-T	V ac R-S	V ac S-T	V ac R-T
400	400	401	401	13.12	13.84	12.56
395	395	396	397	12.97	13.68	12.4

390	390	391	391	12.75	13.43	12.2
385	385	386	387	12.61	13.3	12.08
380	380	381	382	12.41	13.07	11.9
375	375	374	376	12.24	12.86	11.73
370	370	371	371	12.15	12.77	11.63
365	365	366	265	11.93	12.55	11.43
360	360	360	361	11.76	12.36	11.28

Tabel 2 Hasil Sensor Tegangan Pembagi Tegangan

V out Potensial Transformer (Volt)			V out (Pembagi Tegangan ) Sensor Tegangan (Volt)		
V ac R-S	V ac S-T	V ac R-T	V dc R-S	V dc S-T	V dc R-T
13.12	13.84	12.56	3.362	3.405	3.365
12.97	13.68	12.4	3.325	3.347	3.328
12.75	13.43	12.2	3.278	3.289	3.276
12.61	13.3	12.08	3.237	3.248	3.249
12.41	13.07	11.9	3.231	3.2	3.212
12.24	12.86	11.73	3.153	3.144	3.163
12.15	12.77	11.63	3.126	3.102	3.12
11.93	12.55	11.43	3.074	3.044	3.072
11.76	12.36	11.28	3.039	3.001	3.035

Dari tabel 1 dan 2 terlihat data hasil pengukuran sensor tegangan yang diukur pada tegangan yang disensor dan tegangan keluaran dari sensor. Pengujian dilakukan dengan memberi tegangan sumber 3 phasa antara 360 Volt rms sampai 400 Volt rms tegangan antar phasa. Pengujian dilakukan dengan mengukur tegangan keluaran dari potensial transformer dan tegangan keluaran dari rangkaian pembagi tegangan. Hasil tegangan keluaran sensor pada saat tegangan 380 Volt rms antar phasa sekitar 3.2 Volt yang nantinya digunakan sebagai tegangan sensor yang masuk ke adc. Sedangkan untuk gelombang tegangan keluaran dari sensor tegangan terlihat pada gambar 6.



Gambar 6 Gelombang Tegangan Keluaran Sensor

### 3.2 Pengujian Sensor Arus

Pengujian sensor ini dilakukan dengan cara merangkai sensor arus secara seri. Pengujian dengan cara membebani sumber 3 phasa dengan resistansi load 3 phasa. Pengujian dilakukan melihat hasil keluaran ACS.

Untuk hasil pembuatan rangkaian sensor arus dapat dilihat pada gambar 7.



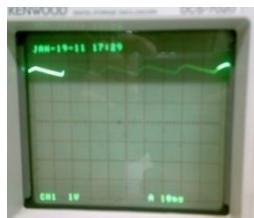
Gambar 7 Rangkaian Sensor Arus

Pengujian arus dilakukan pada sensor arus phasa R dan phasa T dengan cara mengukur keluaran tegangan dari sensor arus ACS tersebut. Untuk hasil pengujian sensor arus dapat dilihat pada tabel 2 dan gelombang keluaran tegangan sensor pada gambar 8 di bawah.

Tabel 3 Hasil Pengujian Sensor Arus

Arus (A)	V dc (IR) (Volt)	V dc (IT) (Volt)
0	2.14	2.14
0.5	2.16	2.15
1	2.17	2.18
1.5	2.21	2.21
2	2.24	2.24
2.5	2.28	2.28
3	2.32	2.32
3.5	2.35	2.35
4	2.39	2.39
4.5	2.43	2.43
5	2.48	2.47
5.5	2.51	2.51
6	2.55	2.55

Pada Tabel 3 merupakan hasil pengujian sensor arus. Pengujian ini dilakukan dengan memberikan arus antara 0 sampai dengan 6 Ampere. Keluaran sensor arus ini berupa tegangan dc antara 2.14 V sampai dengan 2.55 V untuk arus 0 sampai dengan 6 Ampere. Dan gelombang keluaran tegangan sensor arus pada gamabar 8.



Gambar 8 Gelombang Keluaran Tegangan Sensor Arus

### 3.3 Pengujian Softswitch

Pengujian softswitch dilakukan dengan cara memberikan sinyal tegangan 5 Volt yang nantinya sinyal tegangan ini diperoleh dari mikrokontroller. Hasil pengujian bila diberikan tegangan 5 Volt dc maka softswitch akan bekerja dan beban akan teraliri sumber listrik dan sebaliknya.



Gambar 9 Rangkaian Softswitch Untuk Drive Kontaktor

### 3.4 Pengujian Mikrokontroller

Pengujian mikrokontroler ini dilakukan dengan pengujian software program bahasa C dengan AVR Code Vision. Pengujian ini dilakukan dengan melihat hasil perhitungan pada mikrokontroller melalui program dan ditampilkan pada LCD display. Semua perhitungan parameter untuk menentukan unbalance voltage dan overload dilakukan dengan pemrograman.

Pada pengujian ini, akan ditampilkan nilai adc yang akan diolah pada mikrokontroller pada tabel 4.

Tabel 4 Hasil Pengujian Nilai ADC Pada Mikrokontroller

Arus (A)	IR		IT	
	ADC	Vdc	ADC	Vdc
0	511	2.14	512	2.14
0.5	514	2.16	515	2.15
1	520	2.17	520	2.18
1.5	528	2.21	527	2.21
2	536	2.24	536	2.24
2.5	544	2.28	545	2.28
3	554	2.32	555	2.32
3.5	562	2.35	564	2.35
4	573	2.39	574	2.39
4.5	582	2.43	583	2.43
5	593	2.48	593	2.47
5.5	601	2.51	602	2.51
6	611	2.55	612	2.55

Pada pengujian nilai ADC (10 bit) yang nantinya akan digunakan sebagai parameter pengolahan pada mikrokontroller. Pengujian ini dilakukan dengan cara memberikan arus 0 sampai dengan 6 Ampere dengan keluaran adc sebesar 511 sampai 611.

### 3.5 Pengujian Sistem Pengaman Unbalance Voltage

Pengujian dilakukan dengan memberikan tahanan di salah satu phasa yaitu phasa R sehingga tegangan antar phasa bisa mengalami drop tegangan dan dapat menimbulkan tegangan yang tidak seimbang pada sumber tegangan 3 phasa. Tahanan ini menggunakan loading reostat yang dipasang pada phasa R. Loading Reostat dirubah-ubah dengan step tertentu sehingga dapat menghasilkan tegangan yang berbeda. Pada pengujian ini dibebani dengan Loading Reostat 3 phasa yang di setting sehingga beban mempunyai besar daya 2,1 KW dan arus normal sebesar 3.2 Ampere. Pada gambar 10 merupakan rang-

kaian dalam pengujian alat pengaman unbalance voltage dan data pengujian tertera pada tabel 5.

**Tabel 5 Hasil Pengujian Pengaman Unbalance Voltage Setting 3 %**

Step	Vrs (Volt)	Vst (Volt)	Vrt (Volt)	% Un_V	Kondisi
-	380	380	380	0	Tidak Trip
19	364	319	310	6.34	Trip
17	364	314	305	6.92	Trip
15	363	309	300	7.41	Trip
13	364	304	294	8.32	Trip
11	362	293	284	9.27	Trip
9	360	282	271	10.95	Trip



**Gambar 10 Rangkaian Pengujian Alat Pengaman Unbalance Voltage Dan Overload**

Pada pengujian unbalance voltage terlihat bahwa pada kondisi tegangan antar phasa adalah seimbang (sama) pada tegangan  $V_{rs} = 380$  V,  $V_{st} = 380$  Volt dan  $V_{rt} = 380$  Volt terlihat pada pengujian tidak trip kontakturnya. Sedangkan pada saat tegangan antar phasa tidak seimbang sesuai data pada tabel 5 maka akan menghasilkan prosentase unbalance voltage lebih dari 3 % sehingga akan trip kontakturnya.

### 3.6 Pengujian Sistem Pengaman Overload

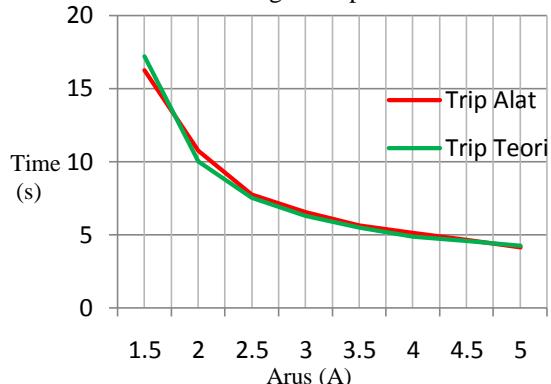
Pada pengujian sistem pengaman overload dengan arus setting 1 Ampere dilakukan dengan cara memberi arus beban yang melebihi dari arus setting yaitu antara 1.5 Ampere sampai 5 Ampere. Dari perbandingan antara arus beban dengan arus setting maka terdapat pula perbedaan waktu trip. Pada pengujian ini terdapat perbedaan antara waktu trip alat dengan waktu trip secara perhitungan sehingga terdapat prosentase error antara 1.52 % sampai 7.27 % dengan rata – rata prosentase error 3.59 % untuk arus setting 1 Ampere. Untuk data hasil pengujian pada tabel 6 dan dapat dilihat pada grafik gambar 11.

**Tabel 6 Hasil Pengujian Waktu Trip Kontaktor Setting 1 Ampere Pada Alat Sistem Pengaman Terhadap Overload**

I set (A)	Arus (A)	Waktu Untuk Trip		% error
		T Trip Alat (s)	T Trip teori (s)	
1	1.5	16.27	17.19	5.35
1	2	10.76	10.03	7.27
1	2.5	7.74	7.57	2.24
1	3	6.56	6.30	4.12
1	3.5	5.64	5.51	2.35
1	4	5.11	4.98	2.61

1	4.5	4.65	4.58	1.52
1	5	4.14	4.28	3.27

Grafik Antara Waktu Trip Alat Dengan Teori I setting 1 Ampere



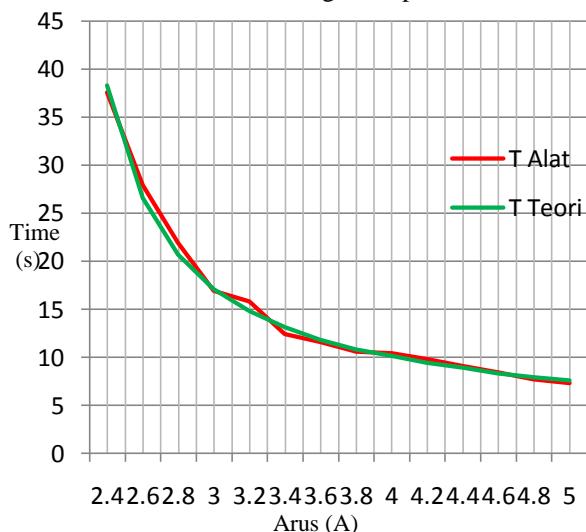
**Gambar 11 Perbandingan karakteristik normali invers antara hasil uji alat dengan teori I setting 1 ampare**

Pada pengujian sistem pengaman overload dengan arus setting 2 Ampere dilakukan dengan cara memberi arus beban yang melebihi dari arus setting yaitu antara 2.4 Ampere sampai 5 Ampere. Dari perbedaan perbandingan antara arus beban dengan arus setting maka terdapat pula perbedaan waktu trip. Pada pengujian ini terdapat perbedaan antara waktu trip alat dengan waktu trip secara perhitungan sehingga terdapat prosentase error antara 1.17 % sampai 6.76 % dengan rata – rata prosentase error 3.29 % untuk arus setting 2 Ampere.

**Tabel 7 Hasil Pengujian Waktu Trip Kontaktor I Setting 2 Ampere Pada Alat Sistem Pengaman Terhadap Overload**

I set (A)	Arus (A)	Waktu Untuk Trip (s)		% error
		T Trip Alat	T Trip teori	
2	2.4	37.6	38.3	1.83
2	2.6	27.9	26.6	4.89
2	2.8	21.9	20.7	5.80
2	3	16.9	17.1	1.17
2	3.2	15.8	14.8	6.76
2	3.4	12.4	13.1	5.34
2	3.6	11.6	11.8	1.69
2	3.8	10.6	10.8	1.85
2	4	10.4	10.1	2.97
2	4.2	9.8	9.4	4.26
2	4.4	9.1	8.9	2.25
2	4.6	8.4	8.3	1.20
2	4.8	7.7	7.9	2.53
2	5	7.3	7.5	3.57

Grafik Antara Waktu Trip Alat Dengan Teori I setting 2 Ampere



Gambar 4.26 Perbandingan karakteristik normali invers antara hasil uji alat dengan teori I setting 2 ampere

#### 4 Kesimpulan

Setelah dilakukan proses perencanaan, pembuatan dan pengujian alat serta dari data yang didapat dari perencanaan dan pembuatan sistem pengaman motor induksi 3 phasa terhadap gangguan unbalance voltage dan overload didapat :

1. Sensor dalam pembuatan sistem ini sangat berperan karena menentukan parameter untuk perhitungan dari karakteristik pengaman.
2. Dalam penentuan sensor yang digunakan harus sesuai dengan parameter yang diperlukan.
3. Dari pengujian sistem pengaman overload yang dilakukan dengan memberi arus antara 1.5 A sampai dengan 5 Ampere untuk setting arus 1 Ampere dan memberi arus antara 2.4 A sampai dengan 5 ampere untuk setting arus 2 Ampere, maka hasil pengujian didapatkan bahwa pada saat setting arus 1 Ampere dengan memberikan arus sebesar 5 Ampere didapatkan waktu trip 4.14 s sedangkan secara teori waktu yang diperlukan 4.28 s. Begitu juga pada saat setting arus 2 Ampere dengan memberikan arus sebesar 5 Ampere didapatkan waktu trip 7.3 s, sedangkan secara teori waktu yang diperlukan 7.5 s. Maka dari data pengujian didapatkan persentase error rata-rata adalah 3.44 % sehingga ketepatan waktu rata-rata trip 96.56 % untuk pengaman overload.
4. Dari pengujian sistem pengaman unbalance voltage yang dilakukan dengan memberikan tegangan 3 phasa yang seimbang 380 Volt maka didapatkan % unbalance voltage 0 % sehingga kontakor tidak trip. Sedangkan pada saat pengujian dengan tegangan 3 phasa yang tidak seimbang,  $V_{rs}=364$  V,  $V_{st}=319$  V,  $V_{rt}=310$  V didapatkan %

unbalance voltage 6.34 % sehingga kontakor trip karena melebihi dari setting poin yaitu 3 %. Dari hasil pengujian maka diperoleh karakteristik instan untuk pengaman unbalance voltage.

#### 5 Daftar Pustaka

- [1] Enrique Quispe, Gabriel Gonzales, Jair Aguado, "Influence of Unbalance and Waveform Voltage on the Performance Characteristics of Three-phase Induction motors", Departamento de Energetica y Electronica, Universidad Autonoma de Occidente, Cali – Colombia.
- [2] Pacific Gas and Electric Company, "Voltage Unbalance and Motor", Oktober 2009.pdf.
- [3] PacifiCorp, " 1C.3.1-Voltage Balance ", Volume 1, Part C – Power Quality, Engineering Standards and Technical Support Departemen, Engineering Handbook.
- [4] Henry A. Siregar, " Pengaruh Tegangan Tidak Seimbang Terhadap Torsi Dan Efisiensi Motor Induksi Tiga Phasa ", Tugas Akhir Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara, Medan, 2008.
- [5] Heri Andrianto, "Pemrograman Mikrokontroller AVR AT MEGA 16", Informatika, Bandung, 2008.
- [6] Datasheet of OVER CURRENTPROTECTION RELAYS, CKR Series.