

RANCANG BANGUN SISTEM PENGAMAN DAN MONITORING MOTOR SINKRON TIGA FASA (HARDWARE)

Ir. Gigih Prabowo, MT.¹, Ir. Era Purwanto, M.Eng.², Arif Darmawan³

¹Dosen Jurusan Teknik Elektro Industri

²Dosen Jurusan Teknik Elektro Industri

³Mahasiswa D3 Jurusan Teknik Elektro Industri

Politeknik Elektronika Negeri Surabaya - ITS

Kampus ITS Sukolilo Surabaya 60111

Email : arif_darmawan43@yahoo.com

Motor sinkron tiga fasa merupakan salah satu mesin listrik yang banyak digunakan di dunia industri. Motor ini bekerja pada kecepatan yang konstan sesuai tegangan dan frekuensinya serta dapat di fungsikan untuk memperbaiki faktor daya. Oleh karena itu, maka motor sinkron diharuskan bekerja dengan baik dan aman. Namun, banyak jenis gangguan yang berpotensi untuk mengganggu kinerja motor atau bahkan merusak motor itu sendiri, diantaranya yaitu gangguan tegangan lebih, tegangan kurang, arus lebih, beban lebih, tegangan fasa hilang, kecepatan lebih dan panas lebih.

Dalam bekerjanya sistem mampu mendeteksi jenis-jenis gangguan tersebut, namun dalam pengamanannya masih terdapat perbedaan waktu maupun nilai parameter pengamanan antara teori dengan kenyataannya. Error rata-rata adalah sebesar 2% pada setiap gangguan yang terjadi. Fasilitas monitoring digunakan untuk merekam data parameter kerja motor sehingga mudah untuk dianalisa.

Kata kunci : Motor sinkron, Sensor, Pengaman, Monitoring.

1. Pendahuluan

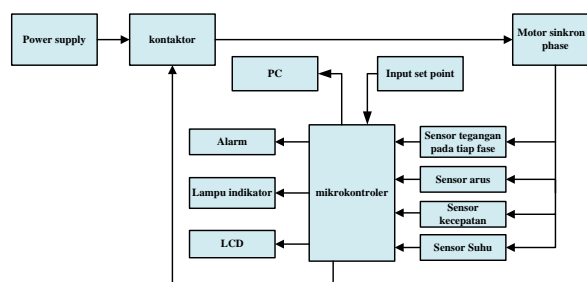
Motor sinkron tiga fasa merupakan salah satu mesin listrik yang banyak digunakan di dunia industri. Motor ini bekerja pada kecepatan yang konstan sesuai tegangan dan frekuensinya. Selain konstruksinya yang hampir sama dengan motor asinkron sehingga tidak terlalu memerlukan perawatan yang intensif, motor sinkron dapat difungsikan sebagai kondensator sinkron untuk perbaikan faktor daya. Karena fungsi serta kelebihanannya, motor sinkron banyak diaplikasikan pada industri sebagai alat penggerak terutama pada plant yang membutuhkan kecepatan konstan atau sebagai pengkoreksi faktor daya. Sesuai dengan peran dan fungsinya, maka motor sinkron dinilai sangat penting dalam dunia industri. Sehingga motor sinkron diharuskan bekerja dengan baik dan aman dengan semestinya. Namun, banyak sekali jenis-jenis gangguan yang berpotensi untuk mengganggu fungsi dan kerja motor atau bahkan merusak motor itu sendiri. Di antaranya yaitu: tegangan lebih, tegangan kurang, tegangan fasa hilang, arus lebih, beban lebih, kecepatan lebih dan panas lebih.

Gangguan listrik yang terjadi dapat di sebabkan oleh banyak hal, untuk mengetahui penyebabnya harus di lakukan analisa terhadap nilai parameter listrik pada saat gangguan terjadi. Hal ini dilakukan dengan memonitoring parameter-parameter elektrik yang ada terlebih, sehingga penyebab terjadinya gangguan dapat di analisa dan langkah untuk perbaikan dapat di ambil dengan cepat dan tepat. Oleh karena itu, pengamanan motor akan dipadu dengan fasilitas monitoring sehingga sistem tersebut tidak

hanya mengamankan, tetapi juga memudahkan dalam analisa keadaan kerja motor.

2. Konfigurasi Sistem

Pada perancangan sistem pengaman dan monitoring motor sinkron tiga fasa terhadap gangguan tegangan lebih, tegangan kurang, tegangan fasa hilang, arus lebih, beban lebih, kecepatan lebih, panas lebih akan dibuat seperti blok digram sebagai berikut :



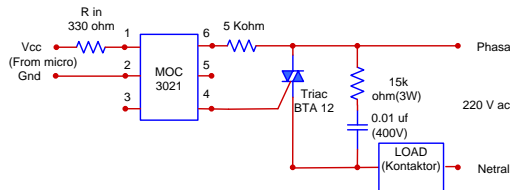
Gambar 1 Blok diagram sistem pengaman dan monitoring motor sinkron tiga fasa

2.1 Perencanaan dan Pembuatan Sensor Tegangan

Sensor tegangan ini digunakan untuk mendapatkan parameter tegangan antar fasa sehingga dapat mengetahui besar tegangan fasa-fasa. Pada pembuatan sensor tegangan ini menggunakan *Potensial Transformer* dan rangkaian pembagi tegangan.

2.6 Perencanaan dan Pembuatan Softswitching (Driver Kontaktor)

Softswitch ini 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 mikrokontroler. Softswitch ini menggunakan TRIAC (BTA12) dan di drive dengan menggunakan MOC 3021 yang mendapat pulsa dari mikrokontroler. Di bawah ini adalah komponen BTA.



Gambar 8 Rangkaian Softswitch (Driver kontaktor)

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 Var iAC 3 ϕ	Vin VariAC 3 ϕ			V out Potensial Transformer		
	V AC R-S	V AC S-T	V AC R-T	V AC R-N	V AC S-N	V AC R-N
400	400	402	401	13.12	13.84	12.56
380	380	381	397	12.97	13.68	12.4
360	360	361	391	12.75	13.43	12.2
340	340	340	387	12.61	13.3	12.08
320	320	320	382	12.41	13.07	11.9
300	300	300	376	12.24	12.86	11.73
280	280	280	371	12.15	12.77	11.63
260	260	260	265	11.93	12.55	11.43
240	240	240	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-N	V AC S-N	V AC R-N	V DC R-N	V DC S-N	V DC R-N
11.42	11.24	11.11	4	4	4
10.85	10.67	10.52	3.86	3.86	3.86
10.29	10.12	10.02	3.69	3.69	3.69
9.72	9.55	9.45	3.506	4.502	3.502
9.16	8.95	8.87	3.302	3.286	3.293
8.6	8.4	8.34	3.088	3.072	3.086
8.01	7.82	7.76	2.863	2.849	2.864
7.44	7.27	7.24	2.640	2.625	2.640
6.87	6.71	6.66	2.408	2.394	2.408

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 fasa antara 240 Volt rms sampai 400 Volt rms tegangan line to line. 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 fasa sekitar 3.86 Volt yang nantinya digunakan sebagai tegangan sensor yang masuk ke aDC. Sedangkan untuk gelombang tegangan keluaran dari sensor tegangan terlihat pada gambar 6.

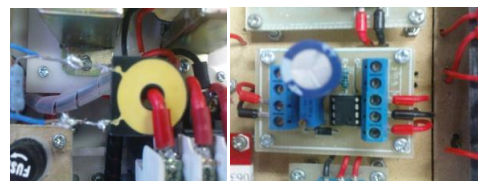


Gambar 9 Gelombang Tegangan Keluaran Sensor Tegangan

3.2 Pengujian Sensor Arus

Pengujian sensor ini dilakukan dengan cara merangkai sensor arus secara seri. Pengujian dengan cara membebani sumber tiga fasa dengan resistansi load 3 fasa. Pengujian dilakukan melihat hasil keluaran CT type TZ77V.

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



Gambar 10 Rangkaian Sensor Arus AC dan Penguatnya

Pengujian arus dilakukan pada sensor arus fasa R dengan cara mengukur keluaran tegangan dari sensor arus *CT type TZ77V* 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 AC (CT) (mV)	V DC setelah penguatan (Volt)
0	0	0
1	36	0.503
1.5	54	1.030
2	71	1.578
2.5	89	2.125
3	106	2.629
3.5	124	3.070
4	143	3.455
4.5	160	3.81
5	178	4.14
5.5	196	4.44
6	214	4.71
6.5	236	4.97
7	251	5.19

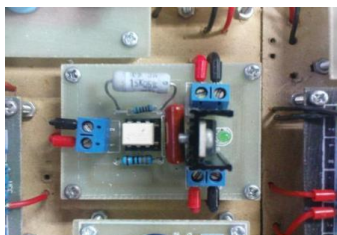
Pada Tabel 3 merupakan hasil pengujian sensor arus. Pengujian ini dilakukan dengan memberikan arus antara 0 sampai dengan 7 Ampere. Keluaran sensor arus ini berupa tegangan DC antara 0 V sampai dengan 5.19 V untuk arus 0 sampai dengan 7 Ampere. Dan gelombang keluaran tegangan sensor arus pada gambar 11.



Gambar 11 Gelombang Keluaran Tegangan Sensor Arus

3.3 Pengujian Softswitch (Driver Kontaktor)

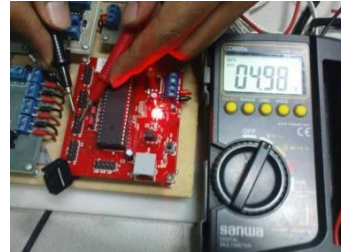
Pengujian *Softswitch* dilakukan dengan cara memberikan sinyal tegangan 5 Volt yang nantinya sinyal tegangan ini diperoleh dari mikrokontroler. Hasil pengujian bila diberikan tegangan 5 Volt DC maka *Softswitch* akan bekerja dan beban akan teraliri sumber listrik dan sebaliknya.



Gambar 12 Rangkaian *Softswitch* Untuk Drive Kontaktor

3.4 Pengujian Mikrokontroler

Pengujian mikrokontroler ini dilakukan dengan pengujian software program bahasa C dengan AVR Code Vision. Pengujian dilakukan untuk mengetahui sistem minimum bekerja dengan baik, maka diadakan penyetelan pada jalur-jalur port yang dimiliki oleh mikrokontroler ATmega 16



Gambar 13 Pengujian Mikrokontroler

3.5 Pengujian Gangguan

Pada pengujian gangguan ini merupakan pengujian seluruh prinsip kerja sistem sistem pengamanan dan *monitoring* motor sinkron *tiga fasa* apakah dapat bekerja sebagai mestinya atau tidak. Jenis-jenis gangguan yang dimanakan yaitu tegangan lebih, tegangan kurang, arus lebih, beban lebih, panas lebih dan kecepatan lebih.

3.5.1 Pengujian Gangguan Tegangan Lebih

Untuk menguji pengamanan sistem terhadap gangguan tegangan lebih pengujian dilakukan dengan beban resistor variable *tiga fasa*. Dalam pengujian, tegangan input dari regulator tegangan *tiga fasa* di naikan hingga lebih dari nilai tegangan seting nominalnya. Kemudian sumber tegangan di koneksikan dengan beban, menggunakan magnetik kontaktor. Hal ini dilakukan untuk mengetahui respon sistem pengamanan terhadap adanya tegangan lebih secara mendadak.

Tabel 4.7 berikut akan memuat data pengujian sistem terhadap gangguan tegangan lebih.

Tabel 4.7 Data Pengujian Gangguan Tegangan Lebih

N o.	Set Nominal Tegangan (V)	VLL Regulator (V)	Tegangan pada saat Trip secara teori	Tegangan Trip pada tampilan LCD	%Error	Kondisi sistem
1	380	415	418	415	-	Tidak Trip
2	380	420	418	421	0.71	Trip
3	380	425	418	422	0.95	Trip
4	350	380	385	380	-	Tidak Trip

No.	Set Nominal Tegangan (V)	VLL Regulator (V)	Tegangan pada saat Trip secara teori	Tegangan Trip pada tampilan LCD	%Error	Kondisi sistem
5	350	390	385	386	0.25	Trip
6	350	400	385	387	0.51	Trip
7	300	330	330	330	-	Tidak Trip

Pada data hasil pengujian diketahui bahwa tegangan *Trip* pada sistem pengamanan adalah diatas 110% dari set nominal tegangan. Adapun waktu *Trip* yang sama pada setiap pengujian adalah dikarenakan adanya waktu untuk mengidentifikasi gangguan dalam program mikrokontroler.

3.5.2 Pengujian Gangguan Tegangan Kurang

Sama seperti pada pengujian respon sistem terhadap gangguan tegangan lebih, pada pengujian gangguan tegangan kurang dilakukan dengan beban resistor variable tiga fasa. Dalam pengujian, tegangan input dari regulator tegangan *tiga fasa* di turunkan hingga kurang dari nilai tegangan seting nominalnya. Kemudian sumber tegangan di koneksikan dengan beban, menggunakan magnetik kontaktor. Hal ini dilakukan untuk mengetahui respon sistem pengamanan terhadap adanya tegangan lebih secara mendadak.

Tabel 4.8 berikut akan memuat data pengujian sistem terhadap gangguan tegangan lebih.

Tabel 5 Data Pengujian Gangguan Tegangan Kurang

No	Set Nominal Tegangan (V)	VLL Regulator (V)	Tegangan pada saat Trip secara teori	Tegangan Trip pada tampilan LCD	%Error	Kondisi sistem
1	380	415	418	418	-	Tidak Trip
2	380	420	418	421	0.71	Trip
3	380	425	418	422	0.95	Trip
4	350	380	385	385	-	Tidak Trip
5	350	390	385	386	0.25	Trip
6	350	400	385	387	0.51	Trip
7	300	330	330	330	-	Tidak Trip
8	300	331	330	331	0.30	Trip
9	300	380	330	332	0.60	Trip

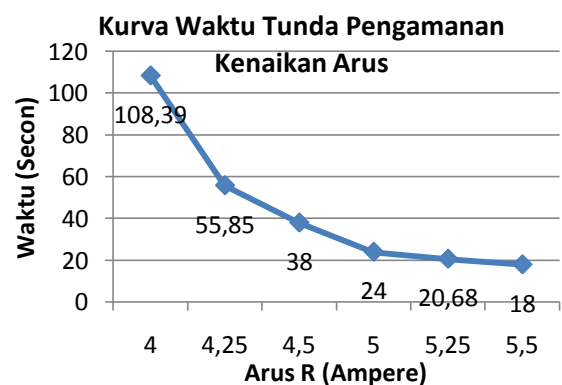
Pada data hasil pengujian diketahui bahwa tegangan *Trip* pada sistem pengamanan adalah dibawah 90% dari set nominal tegangan. Adapun waktu *Trip* yang sama pada setiap pengujian adalah dikarenakan adanya waktu untuk mengidentifikasi gangguan dalam program mikrokontroler.

3.5.3 Pengujian Gangguan Arus Lebih dan Beban Lebih

Untuk menguji respon terhadap gangguan arus lebih dan beban lebih, maka arus yang mengalir melalui sensor harus di naikkan sehingga melebihi arus nominalnya. Pengujian dilakukan dengan regulator 1 fasa yang terhubung dengan resistor variabel 1 fasa. Arus yang mengalir pada rangkaian pengujian diatur terlebih dahulu tanpa menghubungkan sensor dengan sistem pengamanan. setelah itu, arus nominal di pada sistem pengamanan di atur lebih kecil dari arus yang mengalir pada beban. Kemudian untuk pengujian respon sistem pengamanan, sensor di hubungkan dengan sistem pengamanan menggunakan switch. Berikut adalah tabel data hasil pengujian respon sistem terhadap gangguan arus lebih dan beban lebih.

Tabel 6 Data Pengujian gangguan arus lebih dan beban lebih

No	Nilai Arus Rangkaian (A)	Nilai Seting Arus Nominal (A)	Pengenalan Jenis Gangguan	Waktu Trip secara teori (s)	Waktu Trip secara praktek (s)	% Error
1	5.5	3	Over Current	18	18.6	3.33
2	5.25	3	Overload	20.68	21	1.54
3	5	3	Overload	24	24.7	2.91
4	4.5	3	Overload	38	39	2.63
5	4.25	3	Overload	55.85	57	2.05
6	4	3	Overload	108.39	110	1.48



Gambar 13 Grafik Tundaan Waktu

Dari table diatas dapat dilihat bahwa semakin besar arus yang lewat dan melebihi setting point, maka semakin cepat pula tundaan waktu yang terjadi. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tampilan grafik dibawah ini.

3.5.4 Pengujian Gangguan temperatur Lebih.

Pengujian suhu lebih di lakukan untuk memperoleh respon sistem terhadap gangguan panas lebih pada motor sinkron. Pada pengujian, sensor suhu akan di panaskan hingga suhunya melebihi nilai nominal suhu yang diperbolehkan yang mana sebelumnya telah diinputkan melalui program. Berikut adalah tabel dat hasil pengujian respon sistem pengaman terhadap gangguan suhu lebih.

Tabel 7 Data Pengujian Gangguan Suhu Lebih

No	Nilai Suhu Yang Di Set (°C)	Nilai Suhu Pengujian(°C)	Respon Sistem Pengaman
1	29	28.5	Tidak Trip
2	29	30.58	Trip
3	40	39	Tidak Trip
4	40	41.5	Trip
5	45	46	Trip
6	45	43	Tidak Trip

Pada pengujian gangguan suhu lebih diketahui bahwa sistem akan melakukan tindakan pengamanan ketika suhu telah melebihi set point yang telah ditentukan. Pada data terdapat adanya selisih antara nilai suhu pengujian dengan nilai set suhu, dikarenakan ketika sistem mengamankan gangguan sensor suhu tetap mengukur nilai suhu yang naik.

3.5.7 Pengujian Gangguan Tegangan Fasa Hilang

Pada pengujian gangguan fasa hilang, salah satu atau salah dua tegangan input tegangan yang diukur oleh sensor tegangan akan sengaja di hilangkan sehingga fasa tersebut terBAC a 0 volt oleh sensor tegangan. Berikut adalah tabel data hasil pengujian respon sistem terhadap tegangan fasa hilang.

Tabel 8 Data Pengujian Gangguan Fasa Hilang

No	Fasa Yang Dilepas Dalam Pengujian	Respon Sistem Pengaman
1	R	Trip
2	R dan S	Trip
3	S	Trip
4	S dan T	Trip
5	T	Trip

No	Fasa Yang Dilepas Dalam Pengujian	Respon Sistem Pengaman
6	T dan R	Trip
7	R, S dan T	Standby

Pada pengujian sistem pengaman terhadap gangguan tegangan fasa hilang, didapat data bahwa sistem akan mengamankan gangguan ketika terdapat salah satu atau dua fasa yang tegangannya hilang atau sama dengan nol. Namun ketika ketiga fasa dilepas sistem pengaman menganggap hal tersebut bukan sebagai gangguan sehingga sistem pengaman akan standby dengan kondisi kontaktor yang open.

3.5.6 Pengujian kecepatan lebih

Pada pengujian kecepatan lebih digunakan inverter tiga fasa untuk mengatur kecepatan motor sinkron tiga fasa. Sebelum diuji kecepatan nominal diset terlebih dahulu. setelah itu motor dinyalakan dan diatur hingga melebihi kecepatan nominal yang telah diset, setelah itu dicatat nilai kecepatan yang terBACa ketika kondisi kontaktor open (*Trip*).

Berikut tabel data pengujian respon sistem pengaman terhadap gangguan kecepatan lebih.

Tabel 9 Data Pengujian kecepatan lebih

No	Nilai seting kecepatan (RPM)	Nilai Kecepatan Motor saat Trip (RPM)	Nilai kecepatan motor saat Trip secara teori (RPM)	% Error
1	1000	1113	1100	1.18
2	1100	1231	1210	1.73
3	1200	1353	1320	2.5
4	1300	1476	1430	3.21
5	1400	1572	1540	2.07

Dari data pengujian respon sistem pengaman terhadap gangguan kecepatan lebih, diketahui bahwa sistem akan mengamankan motor ketika kecepatan motor melebihi sekitar 110% dari kecepatan setting. Pada data diatas nilai kecepatan motor saat *Trip* tidak tepat 110 % dari kecepatan seting. Hal ini dikarenakan setelah kontaktor *Trip* motor tetap berputar sedikit lebih cepat walaupun kontaktor telah *Trip* karena masih ada gaya setrifugal pada motor sinkron tiga fasa.

3.6 Kesimpulan

Setelah dilakukan proses perencanaan, pembuatan dan pengujian alat serta dari data yang didapat dari perencanaan dan pembuatan sistem pengaman dan *monitoring* motor sinkron *tiga*

fasa terhadap gangguan tegangan lebih, tegangan kurang, tegangan fasa hilang, arus lebih, beban lebih, kecepatan lebih, serta panas lebih didapat :

1. Dari pengujian sistem pengaman arus lebih dan beban lebih yang dilakukan dengan memberi arus antara 4 A sampai dengan 5.5 Ampere untuk setting arus 3 A, maka hasil pengujian didapatkan bahwa pada saat setting arus 3 Ampere dengan memberikan arus sebesar 5 A didapatkan waktu trip 18.6 s sedangkan secara teori waktu yang diperlukan 18 s. Begitu juga pada saat setting arus 3A dengan memberikan arus sebesar 4 A didapatkan waktu trip 110s, sedangkan secara teori waktu yang diperlukan 108.9 s. Maka dari data pengujian didapatkan %error rata-rata ketepatan waktu trip 2,32 %.
2. Dari pengujian pengaman tegangan lebih dan tegangan kurang diperoleh perbedaan antara tegangan teori saat trip dengan tampilan tegangan trip diLCD dengan %error rata-rata 0,55 % dan 2.32%
3. Untuk pengujian pengaman kecepatan lebih diperoleh perbedaan antara teori kecepatan saat trip dengan tampilan kecepatan *trip* diLCD dengan %error rata-rata 2.138%.
4. Dari pengujian tegangan fasa hilang diperoleh bahwa fasa yang hilang diindikasikan dari turunnya tegangan salah satu/dua fasa hingga kurang dari 10% Vnominal.
5. Dari pengujian pengaman *temperatur* lebih diperoleh sistem akan mendeteksi gangguan panas lebih ketika suhu motor diatas set nominal.

3.7 Saran

Dalam pengerjaan dan penyelesaian proyek akhir ini tentu tidak lepas dari berbagai mAC am kekurangan dan kelemahan, baik itu pada sistem maupun pada peralatan yang telah dibuat. Untuk memperbaiki kekurangan-kekurangan dari peralatan, maka perlu melakukan hal-hal sebagai berikut:

1. Diharapkan pada sensor *temperatur* pada motor sinkron tiga fasa menggunakan sensor *Termocouple* agar dalam pengukuran suhu motor sinkron tiga fasa lebih akurasi dan lebih presisi.
2. Diharapkan pada *monitoring* menggunakan PC bisa memberikan perintah untuk ON dan OFF pada motor sinkron.
3. Diharapkan arus yang diukur adalah semua fase (R,S dan T) agar bisa mengamankan dan *memonitoring* perubahan ketiga arus fase tersebut.

Tinjauan Pustaka

1. Makalah motor sinkron VEDC-ITS di akses dari www.luqman96.files.wordpress.com pada 19 januari 2011.
2. Stephen J. Chapman, *electric mACHinery fundamentals : fourth edition*. Singapore, Mc Graw Hill, 2005.
3. Indhana Sudiharto, ST, MT. “ Sistem Pengaman Tenaga Listrik “, EEPIS, Surabaya, 2009
4. www.alldatasheet.com. ATMEGA 16. Diakses pada tanggal 14 januari 2011.
5. www.allegromicro.com. AC S706ELC20A-DS, Rev. 1 Diakses pada tanggal 15 januari 2011.
6. Aji Saka D.R, “Rancang Bangun Sistem Pengaman Tegangan Dan Frekuensi Dilengkapi Dengan Sistem *Monitoring* (Hardware)”, PENS-ITS, 2008.
7. Zuhul.”DASAR TENAGA LISTRIK”,ITB Bandung,1997.
8. Optocoupler. Diakses dari www.wizhoe'sblogs.htm. Pada 26 januari 2011.
9. Mikrokontroler dan LCD diakses dari www.juraganelektro.com pada 25 januari 2011.
10. Sensor suhu diakses dari www.dunia-listrik.blogspot.com pada 25 januari 2011.
11. [www.datasheetcatalog.com/ moc 3020](http://www.datasheetcatalog.com/moc3020)
12. Karakteristik OLR Sumber: <http://bayupancoro.wordpress.com/2007/02/25/>
13. IEEE standard.Sumber: <http://www.eng-tips.com/viewthread.cfm?qid=285726&page=6>
14. Karakteristik OCR Sumber:
15. NEMA standard. Sumber: <http://gurumuda.com/bse/motor-induksi-tiga>