

PERANCANGAN SISTEM PROTEKSI ARUS DAN TEMPERATUR LEBIH MENGGUNAKAN PROGRAMMABLE LOGIC CONTROL (PLC) PADA MESIN PENGEKSTRAKSI BIJI KAPUK

Rizky Patra Jaya^{*)}, Mochammad Facta, and Tejo Sukmadi

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Diponegoro Semarang
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)}E-mail: rizkypatrajaya@gmail.com

Abstrak

Sistem proteksi diperlukan untuk melindungi peralatan tenaga listrik dari gangguan-gangguan, baik berupa gangguan arus maupun temperatur lebih. Gangguan ini dapat merusak dan mempercepat penuaan dari peralatan tenaga listrik. Peralatan tenaga listrik membutuhkan Over Current Relay (OCR) untuk perlindungan terhadap gangguan arus lebih dan Digital Indicating Controllers (DIC) yang dilengkapi dengan termokopel tipe K sebagai sensor suhu untuk perlindungan terhadap gangguan temperatur lebih. Mesin pengekstraksi biji kapuk yang terdiri dari 2 buah motor induksi 3 fasa dan sebuah pemanas memerlukan peralatan proteksi seperti OCR dan DIC. Proses kerja OCR dan DIC dikoordinasikan menggunakan Programmable Logic Control (PLC). Dalam tugas akhir ini, dilakukan perancangan sistem proteksi terhadap arus dan temperatur lebih pada peralatan tenaga listrik di mesin pengekstraksi biji kapuk. Motor pertama, menggunakan batas setting OCR dengan karakteristik tipe definite sebesar 2,25 Ampere. Setting DIC pada motor pertama sebesar 56°C, diatas ambient temperatur motor. Pada motor kedua menggunakan batas setting OCR dengan karakteristik tipe inverse sebesar 2,86 Ampere. Setting DIC pada motor kedua sebesar 56°C, diatas ambient temperatur motor. Pengujian proteksi temperatur lebih pada pemanas disimulasikan dengan bahan uji pengganti yaitu air, menggunakan DIC dengan batas setting sebesar 66,5°C. Hasil pengujian menunjukkan respon yang baik, dengan temperatur gangguan yang terbaca sebesar 66,8°C.

Kata kunci: sistem proteksi, OCR, DIC, PLC

Abstract

Protection system is needed to protect electrical equipment, like high current or high temperatures. This faults result damage of the electrical equipment and reduce device lifetime. Over Current Relay (OCR) used to protect equipment from over current effect and Digital Indicating Controllers (DIC) with K-type thermocouple as temperature sensor to protect againts high temperatures. Extraction cotton seed machine consist of 2 Pcs three phase induction motors and a heater. Its need protection equipment such as OCR and DIC. OCR and DIC process was coordinated by Programmable Logic Control (PLC). In this final assigment, a design protection system was set up againts over current and high temperatures on electrical equipment of extraction cotton machine. The first motor was protected by OCR with definite types characteristic for 2.25 Ampere. Setting DIC for the first motor was 56°C is upper ambient temperature motor. The second motor using was protected by OCR with inverse type characteristic for 2.86 Ampere. Setting DIC for the second motor was 56°C is upper ambient temperature motor. Experemental set up for heater simulated with water as dummy load was carried out by using DIC with setting limit 66,5°C. The result showed a good respond againt the fault at 66,8°C.

Keywords: protection system, OCR, DIC, PLC

1. Pendahuluan

Energi alternatif salah satunya adalah minyak nabati dari pengolah biji kapuk. Pengambilan minyak dari biji kapuk bisa dilakukan dengan cara ekstraksi. Untuk mencapai proses pengekstrasian, biji kapuk perlu digerus sampai halus dan diangkut menggunakan konveyor untuk

dipanaskan kedalam oven. Akan tetapi diperlukan motor induksi 3 fasa dalam proses penggerusan dan pengangkutan menggunakan konveyor serta pemanas dalam proses pengekstraksi biji kapuk. Agar menjamin keandalan dan keamanan pada tiap proses di mesin

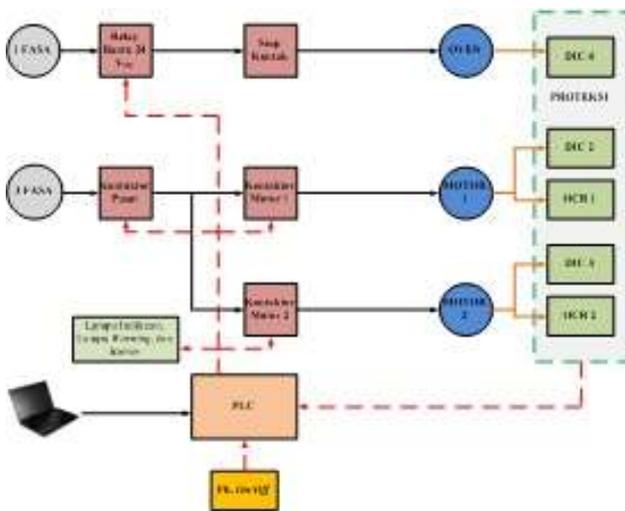
pengekstraksi biji kapuk, maka diperlukan suatu sistem proteksi dalam melindungi peralatan utama.

Sistem proteksi pada kedua motor induksi 3 fasa tersebut, diantaranya menggunakan OCR (*Over Current relay*) untuk melindungi motor dari arus lebih, serta DIC (*Digital Indicating Controllers*) untuk temperatur lebih pada motor. Dan sistem proteksi juga dibutuhkan dalam proses pemanasan pada oven dikarenakan sumber energi untuk memanaskan oven menggunakan energi listrik. Sistem proteksi yang digunakan adalah DIC. Ini dimaksudkan agar dapat melindungi alat penghasil energi panas pada oven, dari panas berlebih yang menyebabkan proses pengekstrasian biji kapuk terganggu. Mesin pengekstrasian biji kapuk ini dijalankan secara semi-otomat maka dibutuhkan kontrol dalam setiap prosesnya, begitu juga pada sistem proteksinya. Ini dimaksudkan agar sistem proteksi terkoordinasi dengan baik pada setiap proses yang terjadi pada mesin pengekstraksi biji kapuk. Pengontrolan ini menggunakan PLC (*Programmable Logic Control*).

2. Metode

Perancangan sistem proteksi arus dan temperatur lebih pada mesin ekstraksi biji kapuk dengan PLC dibagi atas dua bagian yaitu perancangan perangkat keras sistem (*hardware*) dan perancangan perangkat lunak (*software*).

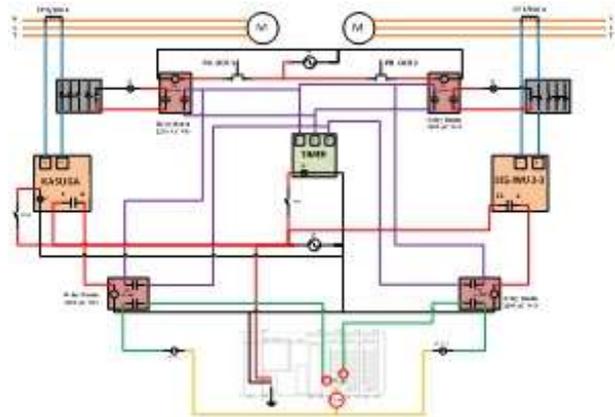
Perancangan perangkat keras (*hardware*) terdiri atas perancangan setiap blok yang menyusun sistem kontrol secara keseluruhan. Perancangan perangkat lunak (*software*) yaitu pembuatan diagram *ladder* sebagai program untuk mengatur *plant process protection* mesin pengekstrasi biji kapuk dimana kedua motor induksi tiga fasa dan pemanas sebagai beban yang harus diproteksi.



Gambar 1. Diagram blok sistem proteksi

2.1. Perancangan Proteksi Arus Lebih

Perancangan proteksi arus lebih digunakan untuk melindungi 2 motor induksi 3 fasa dari gangguan hubung singkat yang menyebabkan naiknya arus melebihi batas tahan isolasi pada stator motor. Gangguan pada arus lebih dirancang tanpa merusak alat, sehingga dibuat wiring perancangan injeksi arus lebih yang dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Wiring perancangan injeksi arus lebih

2.1.1. Setting OCR Kasuga RAS70-3B dan SEG IWU 2-3

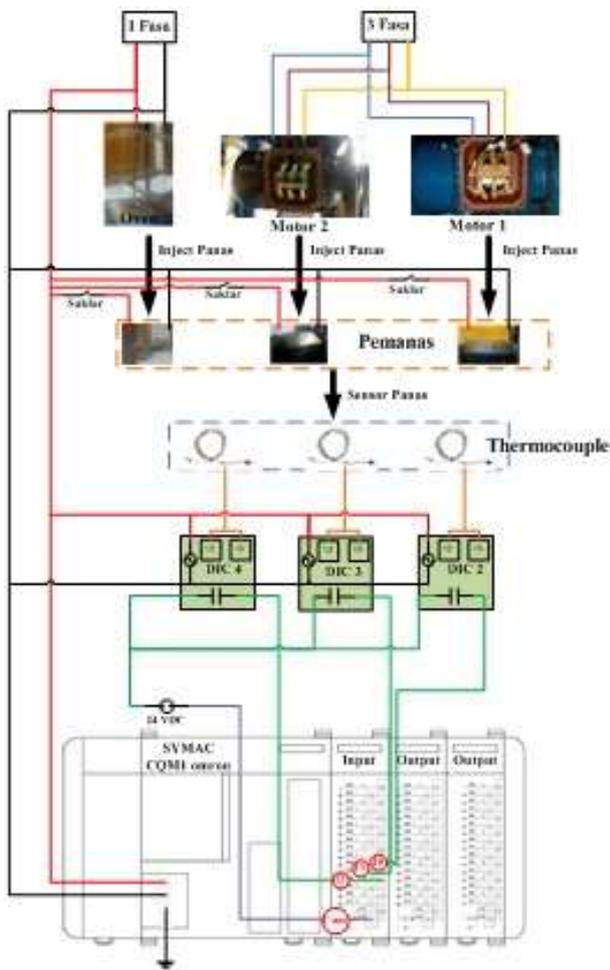
Adapun untuk penentuan *setting* dari OCR yang digunakan, dengan mempertimbangkan arus beban penuh motor pada kondisi segitiga (Y) yaitu sebesar 1,8 A pada motor 1 dan 2,6 A pada motor 2. Arus OCR diset sebesar $110\% \times I_{fl} = 1.10 \times 2,6 = 2,86$ motor 1 (tipe *definite*) dan pada $125\% \times I_{fl} = 1.25 \times 1,8 = 2,25$ A motor 2 (tipe *inverse*). *Setting* waktu *Over Current Relay* Kasuga RAS70 – 3B (motor 1) sebesar 150 ms dan 5 detik pada SEG IWU 2-3 (motor 2) karena mempertimbangkan transien dari CT yang terdapat pada *Over Current Relay*.

2.2. Perancangan Proteksi Temperatur Lebih

Pada tugas akhir ini proteksi temperatur lebih digunakan untuk melindungi 3 peralatan terpenting pada mesin pengekstraksi biji kapuk, yaitu :

- Motor 1 (Penggerus biji kapuk)
- Motor 2 (Pengangkut biji kapuk)
- Pemanas oven (ekstraksi biji kapuk)

Gangguan pada temperatur lebih dirancang tanpa merusak alat, sehingga dibuat wiring perancangan injeksi temperatur lebih yang dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Wiring perancangan injeksi temperatur lebih

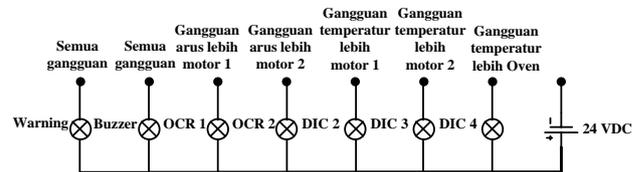
2.2.1. Setting DIC Yokogawa UT-320

Digital Indicating Controller pada tugas akhir ini adalah Yokogawa UT350 tipe standar yang digunakan sistem proteksi temperatur lebih pada mesin pengekstraksi biji kapuk (motor 1, motor 2, dan pemanas oven). Adapun penentuan setting temperatur lebih untuk kedua motor induksi 3 fasa yaitu dua kali lipat dari suhu ruangan mesin pengekstraksi biji kapuk ($56\text{ }^{\circ}\text{C}$ yang sudah melewati batas *ambient* temperatur atau batas maksimum temperatur ruangan yang diperbolehkan dari klasifikasi motor, yaitu sebesar $40\text{ }^{\circ}\text{C}$).^[7] Untuk penentuan settingan temperatur lebih pemanas oven, temperatur melebihi batas proses ekstraksi biji kapuk terbaik yaitu sebesar $65\text{ }^{\circ}\text{C}$.^[15] Penentuan settingan temperatur lebih pemanas oven yaitu sebesar $66,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, yang dalam hal ini mengacu pada titik didih solven n-heksan.

2.3. Perancangan Monitoring Proteksi

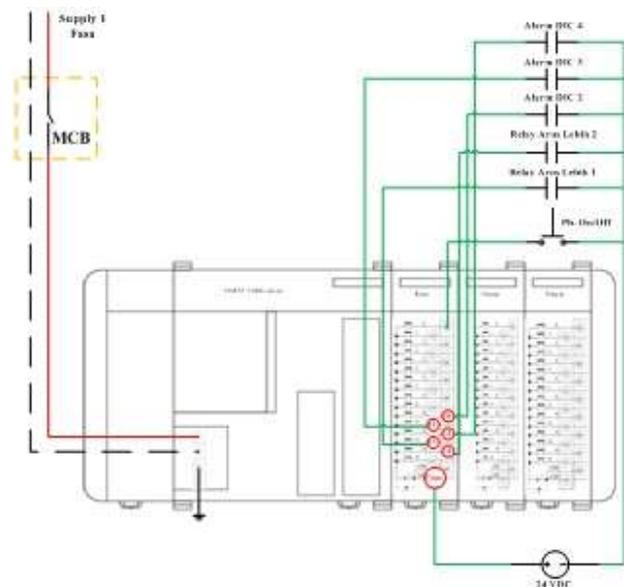
Panel monitoring bertujuan untuk memudahkan pengamatan ketika proses gangguan terjadi. Lampu *warning*, *pilot lamp*, dan *buzzer* digunakan sebagai

indikator bila terjadi gangguan pada kedua motor induksi 3 fasa atau pemanas oven. Gangguan ini bisa berupa arus lebih atau temperatur lebih. Rangkaian kontrol pada lampu *warning*, *pilot lamp* dan *buzzer* dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Rangkaian kontrol monitoring proteksi

2.4. Perancangan Penghubung antara PLC Dengan Sistem Proteksi dan Rangkaian Tenaga



Gambar 5. Wiring rangkaian pengendali

2.5. Perancangan Perangkat Lunak (Software)

2.5.1. Pengalamatan Input dan Output PLC Omron Symac CQM1

Tabel 1. Pengalamatan *input* rangkaian pengendali sistem proteksi

Input	Alamat
Pusbaton On/off	0.00
Relay alarm DIC 2	0.10
Relay alarm DIC 3	0.11
Relay alarm DIC 4	0.12
Relay alarm DIC 4	0.13
Relay OCR 1	0.14
Relay OCR 2	0.15

Tabel 6. Unjuk Kerja PLC

I/O KERJA PLC	TOMBOL INPUT START									TOMBOL STOP
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1
KONTAKTOR PUSAT	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0
KONTAKTOR MOTOR 1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
KONTAKTOR MOTOR 2	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
STOP KONTAK OVEN	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
RELE PUSAT	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0
RELE PROTEKSI 1	0	0	0	1	1	1	1	0	1	0
RELE PROTEKSI 2	0	0	0	1	1	1	1	0	1	0
RELE OVEN	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0

Logika "1" menunjukkan keadaan "ON"
 Logika "0" menunjukkan keadaan "OFF"

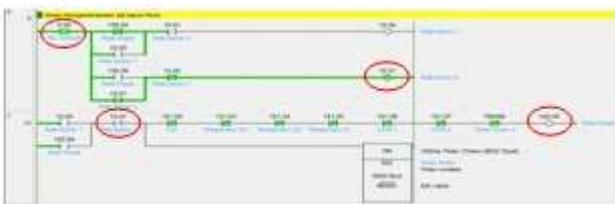
3.2. Pengujian Perangkat Lunak (Software)

3.2.1. Tombol On (Start)



Gambar 8. Kondisi ladder diagram saat (a) ditekan 1kali (b)keadaan latch

3.2.2. Tombol Off (Stop)



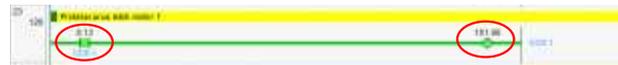
Gambar 9. Kondisi ladder diagram saat ditekan kedua kalinya

3.2.3. Timer pada PLC



Gambar 10. Kondisi setiap ladder diagram timer kerja

3.2.4. Rele Pada OCR 1 Bekerja



Gambar 11. Kondisi ladder diagram saat OCR 1 aktif

3.2.5. Rele Pada OCR 2 Bekerja



Gambar 12. Kondisi ladder diagram saat OCR 2 aktif

3.2.6. Alarm Pada DIC 2 Bekerja



Gambar 13. Kondisi ladder diagram saat DIC 2 aktif

3.2.7. Alarm Pada DIC 3 Bekerja



Gambar 14. Kondisi ladder diagram saat DIC 3 aktif

3.2.8. Alarm Pada DIC 4 Bekerja



Gambar 15. Kondisi ladder diagram saat DIC 4 aktif

3.3. Pengujian Kerja Proteksi

Tabel 7. Kerja proteksi

Simulasi	INDIKATOR PROTEKSI						BUZZER
	OCR 1	OCR 2	DI C 2	DI C 3	DI C 4	LAMPU WARNING	
Gangguan arus lebih motor 1	1	0	0	0	0	1	1
Gangguan arus lebih motor 2	0	1	0	0	0	1	1
Gangguan temperatur lebih motor 1	0	0	1	0	0	1	1
Gangguan temperatur lebih motor 2	0	0	0	1	0	1	1
Gangguan temperatur lebih pemanas oven	0	0	0	0	1	1	1

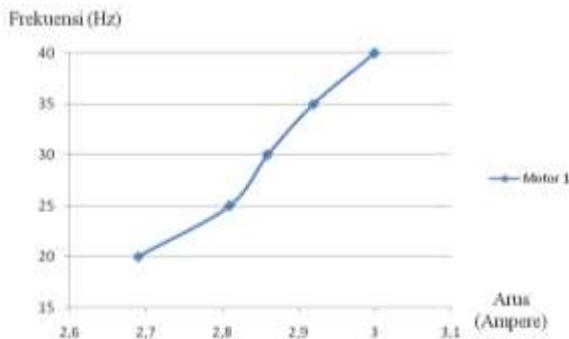
Logika "1" menunjukkan keadaan "ON"
 Logika "0" menunjukkan keadaan "OFF"

Pengujian kerja proteksi dilakukan tanpa merusakkan alat (*non-destructif*). Pengujian ini dilakukan pada peralatan yang dilindungi dalam mesin pengekstraksi biji kapuk. Peralatan yang diproteksi adalah motor 1, motor 2, dan pemanas oven. Pada motor 1, proteksi yang dilakukan adalah pada arus lebih dan temperatur lebih yang terjadi pada motor. Pada motor 2 dilakukan hal yang sama pada proses proteksi, yang membedakannya adalah pada *rating* motor. Pada pemanas oven proteksi yang dilakukan yaitu pada temperatur lebih yang terjadi didalam oven.

3.3.1. Pengujian Proteksi Pada Motor 1

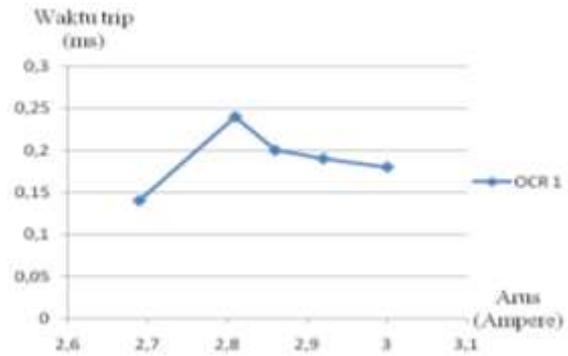
Tabel 8. Pengujian Proteksi Motor 1 Terhadap Arus Lebih

Motor	Frekuensi (Hz)	Kecepatan (rpm)	A1 (Amper)			A0 (Amper)			Waktu trip (s)		
			Ir	Is	It	Ir Primer	Is Sekunder	It	t set	t trip	
	20	1136	0,02	0,41	0,36	0,9	2,69	0,91	0,92	0	0,14
	25	1434	0,02	0,44	0,47	0,92	2,81	0,94	0,95	0,15	0,24
Motor 1	30	1748	0,13	0,51	0,45	0,96	2,86	0,97	0,98	0,15	0,2
	35	2044	0,06	0,67	0,62	0,96	2,92	0,98	0,99	0,15	0,19
	40	2338	0,19	0,6	0,6	1,01	3	0,99	1,02	0,15	0,18



Gambar 16. Hubungan antara Frekuensi dengan Arus pada OCR (sisi sekunder CT)

Dari Gambar 16 terlihat bahwa semakin besar frekuensi maka arus pada sisi sekunder CT atau arus yang terbaca pada OCR akan semakin besar, ini sudah sesuai karena setiap kenaikan pada frekuensi menyebabkan putaran motor akan meningkat dan dengan meningkatnya putaran motor menyebabkan kenaikan pada torsi. Untuk setiap kenaikan pada torsi menyebabkan arus akan meningkat.



Gambar 17. Hubungan antara arus pada OCR terhadap waktu trip OCR

Pada Gambar 17 terlihat bahwa waktu trip berbeda terhadap waktu setting padahal OCR ini merupakan OCR tipe *definite*. Perbedaan waktu trip ini terjadi dikarenakan untuk OCR melakukan pemutusan dibutuhkan waktu, mulai dari terbacanya arus lebih sampai kontaktor bekerja. Untuk waktu kerja pada frekuensi 20 Hz dan 25 Hz lebih tidak sesuai dikarenakan OCR kasuga RAS70 – 3B mempunyai karakteristik pada 50/60 Hz, sehingga kerja OCR kasuga RAS70 – 3B akan berkerja maksimum pada frekuensi 50/60 Hz. Untuk waktu kerja pada frekuensi 20 Hz (2,69 amper) digunakan waktu 0 detik dikarenakan OCR tidak berjalan dengan semestinya dengan waktu *setting* 0,15 detik walaupun arus gangguan sudah melebihi batas *setting* (2,25 amper). Sebagai pertimbangan maka dilakukan pengujian OCR kasuga RAS70 – 3B menggunakan sumber yang lain (generator sinkron) dengan frekuensi 20 Hz dan 25 Hz. Pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Pengujian OCR menggunakan generator sinkron dengan frekuensi 20 Hz dan 25Hz.

No	Frekuensi (Hz)	Kecepatan (rpm)	Arus (A)	Waktu (s)	
				TMS	Trip
1	20,6	618,5	2,67	0	0,15
2	25,1	746,2	2,86	0,15	0,24

Pada Tabel 9, dapat dilihat bahwa untuk waktu trip pada OCR kasuga RAS70 – 3B menggunakan generator sinkron mendekati hasil pada pengujian proteksi arus lebih pada motor 1. Ini menjelaskan bahwa OCR kasuga RAS70 – 3B tidak bekerja maksimum apabila frekuensi 20 Hz dan 25 Hz.

Pada pengujian motor 1 (kelas isolasi B) terhadap temperatur lebih didapat data pada Tabel 10.

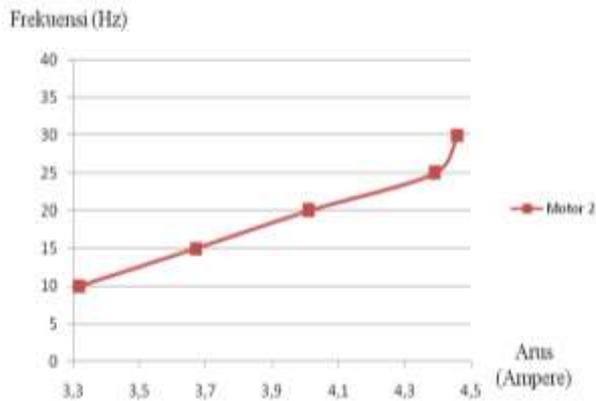
Tabel 10. Pengujian Proteksi Motor 1 Terhadap Temperatur Lebih Setting Parameter Alarm 56°C

No	Temperatur (°C)	Kondisi	DIC 2	
			Alarm 1	Alarm 3
1	28	Normal	Off	Off
2	35	Normal	Off	Off
3	45	Normal	Off	Off
4	55	Normal	Off	Off
5	56	Gangguan	On	On

3.3.2. Pengujian Proteksi Pada Motor 2

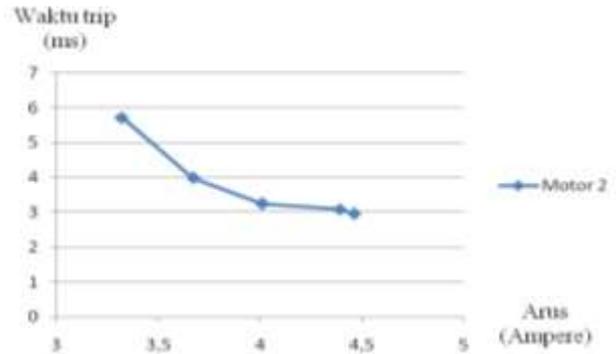
Tabel 11. Pengujian Proteksi Motor 2 Terhadap Arus Lebih

Motor	Frekuensi (Hz)	Kecepatan (rpm)	A1 (Amper)			A0 (Amper)			Waktu trip (s)		
			Ir	Is	It	Ir	Is	It	t set	t trip	
Motor 2	15	403,2	0,16	0,53	0,51	1,02	3,32	1,07	1,18	5	5,72
	20	556,7	0,15	0,64	0,61	1,05	3,67	1,18	1,23	5	3,98
	25	701,3	0,15	0,72	0,72	1,11	4,01	1,12	1,26	5	3,24
	30	854,5	0,17	0,78	0,79	1,11	4,39	1,11	1,26	5	3,09
	35	1007	0,15	0,88	0,85	1,11	4,46	1,15	1,28	5	2,96



Gambar 18. Hubungan Frekuensi dengan Arus pada OCR (sisi sekunder CT)

Dari Gambar 18 terlihat bahwa semakin besar frekuensi maka arus pada sisi sekunder CT atau arus yang terbaca pada OCR akan semakin besar, ini sudah sesuai karena setiap kenaikan pada frekuensi menyebabkan putaran motor akan meningkat dan dengan meningkatnya putaran motor menyebabkan kenaikan pada torsi. Untuk setiap kenaikan pada torsi menyebabkan arus akan meningkat.



Gambar 19. Hubungan Arus pada OCR terhadap waktu trip OCR

Pada Gambar 19 terlihat bahwa semakin besar arus gangguan maka semakin cepat waktu trip OCR. Grafik ini sudah sesuai dengan karakteristik OCR tipe *inverse* (SEG IWU 2-3), karena semakin besar arus gangguan yang terjadi maka semakin cepat pula waktu tripnya.

Pada pengujian motor 2 (kelas isolasi F) terhadap temperatur lebih didapat data pada Tabel 12.

Tabel 12. Pengujian Proteksi Motor 2 Terhadap Temperatur Lebih Setting Parameter Alarm 56°C

No	Temperatur (°C)	Kondisi	DIC 3	
			Alarm 1	Alarm 3
1	28	Normal	Off	Off
2	35	Normal	Off	Off
3	45	Normal	Off	Off
4	55	Normal	Off	Off
5	56	Gangguan	On	On

3.3.3. Pengujian Proteksi Pada Pemanas di Oven

Pengujian proteksi pemanas oven dilakukan dengan menginjeksi temperatur lebih pada pemanas oven menggunakan pemanas yang dipasang pada oven. Pada pengujian ini terhadap dilakukan dengan *setting* parameter temperatur pada DIC yaitu sebesar 66,5 °C.

Tabel 13. Pengujian Proteksi Pemanas Oven Terhadap Temperatur Lebih Setting Parameter Alarm 66,5°C

No	Temperatur (°C)	Kondisi	DIC 4	
			Alarm 1	Alarm 3
1	62,5	Normal	Off	Off
2	63,5	Normal	Off	Off
3	64,5	Normal	Off	Off
4	65,5	Normal	Off	Off
5	66,5	Gangguan	On	On
6	67,5	Gangguan	On	On
7	68,5	Gangguan	On	On
8	69,5	Gangguan	On	On
9	70,5	Gangguan	On	On
10	71,5	Gangguan	On	On

Tabel 14. Pengujian Proteksi Pemanas Oven Dari Kondisi Gangguan Kekondisi Normal Dengan Setting Parameter Alarm 66,5°C dan Histerisis 1°C

No	Temperatur (°C)	Kondisi	DIC 4	
			Alarm 1	Alarm 3
1	71,5	Gangguan	On	On
2	70,5	Gangguan	On	On
3	69,5	Gangguan	On	On
4	68,5	Gangguan	On	On
5	67,5	Gangguan	On	On
6	66,5	Gangguan	On	On
7	65,5	Gangguan	On	On
8	64,5	Normal	Off	Off
9	63,5	Normal	Off	Off
10	62,5	Normal	Off	Off

3.3.4. Pengujian Monitoring Proteksi

Tabel 15. Pengujian Monitoring Proteksi

Simulasi	INDIKATOR PROTEKSI						BUZZER
	OCR 1	OCR 2	DI C 2	DI C 3	DI C 4	LAMPU WARNING	
Gangguan arus lebih motor 1	1	0	0	0	0	1	1
Gangguan arus lebih motor 2	0	1	0	0	0	1	1
Gangguan temperatur lebih motor 1	0	0	1	0	0	1	1
Gangguan temperatur lebih motor 2	0	0	0	1	0	1	1
Gangguan temperatur lebih pemanas oven	0	0	0	0	1	1	1

Logika "1" menunjukkan keadaan "ON"

Logika "0" menunjukkan keadaan "OFF"

4. Kesimpulan

Sistem proteksi terhadap arus telah berhasil diimplementasikan sebagai pengaman kedua motor induksi 3 fasa baik pada proses penggerusan (motor 1) maupun pada proses pengangkutan biji kapuk (motor 2). Hal ini dibuktikan ketika adanya injeksi gangguan arus lebih sebesar 2,26 A pada frekuensi 20 Hz (saat kecepatan putar motor 1 minimal), 3 A pada frekuensi 40 Hz (saat kecepatan putar motor 1 maksimal), dan sebesar 3,32 A pada frekuensi 15 Hz (saat kecepatan putar motor 2 minimal), 3,67 A pada frekuensi 20 Hz (saat kecepatan putar motor 2 maksimal), maka kontak *rele* pada OCR akan berubah kondisi dari *normally open (NO)* ke kondisi *normally close (NC)* sehingga semua proses pada mesin pengekstraksi biji kapuk akan berhenti bekerja. Pada sistem proteksi terhadap temeperatur lebih, dibuktikan ketika adanya injeksi gangguan temeperatur lebih yang melebihi *setting* pada DIC yaitu sebesar 57,0 °C pada motor 1 (penggerus) dan 56,2 °C pada motor 2 (pengangkutan),

serta 66,8 °C maka alarm pada DIC akan berubah kondisi dari *normally open (NO)* ke kondisi *normally close (NC)* sehingga semua proses pada mesin pengekstraksi biji kapuk akan berhenti bekerja. *Programmable Logic Controller (PLC)* telah berhasil diimplementasikan sebagai pengatur koordinasi kerja sistem proteksi baik pada arus lebih maupun pada temperatur lebih menggunakan *Over Current Relay (OCR)* Kasuga RAS70-3B dan *SEG IWU 2-3* serta temperatur lebih menggunakan *Digital Indicating Controllers (DIC)* Yokogawa UT-320 dan pengatur monitoring gangguan terhadap setiap proses pada mesin pengekstraksi biji kapuk. Hal ini dibuktikan ketika gangguan, maka *input PLC* bekerja dan memberikan sinyal masukan 1 (logika *high* dengan tegangan referensi 14,4 Vdc), serta ketika tidak terdeteksi gangguan, maka *input PLC* tidak bekerja dan memberikan sinyal masukan 0 (logika *low* dengan tegangan referensi 5 Vdc). Pengembangan lebih lanjut dari tugas akhir ini, maka pengujian sistem proteksi dapat diganti dengan pengujian *distruckif* (merusak), sehingga hasil pendeteksian gangguan tampak lebih nyata (*real*), sistem monitoring yang ada pada tugas akhir ini dapat dibuat dengan bahasa pemrograman, agar kerja dari sistem ini mencerminkan suatu hubungan *Human-Machine Interface (HMI)*, dan sensor gangguan yang digunakan dapat ditambah agar sistem semakin akurat dan handal dalam mendeteksi adanya gangguan yang lain.

Referensi

- [1]. Ir. Komari. (2003), "Proteksi Sistem Tenaga Listrik". Jakarta. PT. PLN (Persero).
- [2]. Sarimun, Wahyudi, (2012), "Proteksi Sistem Distribusi Tenaga Listrik". Depok. Garamond.
- [3]. Davies, T. (1996). "Protection of Industrial Power Systems". Newnes.
- [4]. Saadat, Hadi. (1999). "Power System Analysis". McGraw Hill.
- [5]. Wildi, Theodore. (2002). "Electrical Machines, Drives, and Power Systems". Prentice-Hall International.
- [6]. Rao, T.S. Madhvana. (1979), "Power System Protection Static Relays". Tata McGraw-Hill. New Delhi
- [7]. Siswoyo. (2008), "Teknik Listrik Industri". Depdiknas. Jakarta.
- [8]. Setiawan, Iwan, (2006) "Programmable Logic Controller (PLC) dan Teknik Perancangan Sistem Kontrol", Yogyakarta: Penerbit Andi
- [9]. OMRON, 2000, Sysmac CQM1 Programmable Controller Operation Manual.
- [10]. KASUGA ELECTRIC WORKS LTD, (2009). "Overcurrent Relay RAS70-3B" manual book.
- [11]. Woodward SEG GmbH & Co. KG, "SEG tipe IWU 2-3", manual book.
- [12]. Yokogawa Electric Corporation, (2006). "Models UT350/320 Digital Indicating Controllers User's Manual". Manual book.
- [13]. Fakhrihal, Reza, "Aplikasi Programmable Logic Controller (PLC) Pada Pengasutan Dan Proteksi Bintang (Y)-Segitiga (Δ) Motor Induksi Tiga Fasa", Tugas Akhir, Universitas Diponegoro, Semarang, 2007
- [14]. Melwita, Elda., Fatmawati & Oktaviani, Santy, (2014). "Ekstraksi Minyak Biji Kapuk dengan Metode Estraksi Soxhlet". Universitas Sriwijaya, Palembang, 2014.