

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Penelitian sebelumnya .....	5
<b>Tabel 2.2</b> Efek Kenaikan Temperatur .....	6
<b>Tabel 2.3</b> Spesifikasi Motor Induksi 3 Fasa .....	9
<b>Tabel 2.4</b> Spesifikasi RTD PT100.....	11
<b>Tabel 2.5</b> Spesifikasi Variable Frequency Drive Schneider Altivar 12 .....	12
<b>Tabel 2.6</b> Spesifikasi Omron CP1L-L20DR-A .....	12
<b>Tabel 2.7.</b> Spesifikasi Temperature Transmitter .....	13
<b>Tabel 3.1</b> Pengaturan VFD .....	27
<b>Tabel 4.1</b> Pengujian Sensor RTD PT-100 .....	26
<b>Tabel 4.2</b> Perbandingan Suhu Thermogun Dengan Pembacaan RTD PT-100 .....	28
<b>Tabel 4.3</b> Pengujian Suhu Motor Induksi.....	29
<b>Tabel 4.4</b> Pengujian Tegangan dan Arus Motor Induksi.....	30
<b>Tabel 4.5</b> Pengujian Cold Start Interlock .....	30
<b>Tabel 4.6</b> Pengujian Cold Start Interlock 2 .....	31
<b>Tabel 4.7</b> Pengujian Hot Start Interlock.....	34
<b>Tabel 4.8</b> Pengujian Hot Temperature Interlock .....	35

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang Masalah**

Motor Induksi merupakan salah satu komponen penting dalam berbagai macam industri. Salah satu permasalahan pada motor induksi berkapasitas besar yaitu pada saat start. Pada proses start motor induksi, beberapa karakteristik utama yang perlu diperhatikan diantaranya starting current dan rotating speed dari motor. Berdasarkan hasil penelitian kenaikan temperature pada winding motor pada saat proses start [1] dikarenakan starting current dari belitan stator dan rotor telah mencapai 6-7 kali dari rated current motor namun kecepatan rotasi motor pada tahap ini lambat, sehingga temperatur belitan mengalami kenaikan. Sebaliknya, setelah tahap start motor induksi, arus dari belitan berkurang dan kecepatan rotasi berada pada kecepatan sinkron. Oleh karena itu, kenaikan temperatur perlahan berkurang [1, 2]. Tingginya temperature belitan mengakibatkan motor tidak dapat dihidupkan secara berulang kali sehingga perlu waktu pendinginan agar temperature motor kembali stabil. Padahal, berdasarkan IEC Std. 60034-12-2007, 8.3, motor induksi 3 fasa squirrel cage dapat bertahan dari start berulang, yaitu pada keadaan cold start tidak lebih dari 2 kali dan dapat bertahan dari hot start tidak lebih dari 1 kali.

Kerusakan pada motor induksi dapat disebabkan oleh berbagai macam permasalahan, salah satu nya berupa Stator Fault [3]. Adanya berbagai macam jenis tekanan seperti tekanan mekanik, elektrik, thermal, dan lingkungan pada stator motor induksi mengakibatkan stator fault [4, 5]. Selain itu, berdasarkan hasil studi IEEE dan EPRI, 28-36% kerusakan yang terjadi pada motor induksi dikarenakan adanya thermal stress yang mengakibatkan terjadinya stator winding fault [6]. Thermal stress pada winding terjadi dikarenakan rentang waktu yang dekat antara kondisi start dan stop pada motor. Beberapa studi juga menyatakan bahwa kerusakan pada motor induksi juga dapat dikarenakan kerusakan pada rotor bar. Ada banyak alasan yang menyebabkan kerusakan rotor dapat terjadi pada motor induksi [7]. Penyebab dari kerusakan rotor pada motor induksi diantaranya tidak hanya dikarenakan waktu start-up yang lama tetapi juga dikarenakan adanya

rentang waktu yang dekat keadaan *start* dan *stop* pada motor [8]. Lebih jauhnya, hal ini menyebabkan meningkatnya temperatur pada *rotor bar* sehingga terjadi pemuaian pada rotor bar. Retak atau kerusakan pada *rotor bar* menghasilkan serangkaian frekuensi sideband [9]. Frekuensi sideband ini menghasilkan *ripples* pada torsi dan kecepatan dan efek ini akan terus berlanjut dan menghasilkan berbagai frekuensi sideband lainnya [9, 10]. Berdasarkan permasalahan tersebut, pada penelitian ini bertujuan merancang suatu sistem proteksi interlocking untuk repeated start pada motor induksi sesuai dengan standard IEC Std. 60034-12-2007, 8.3 dan NEMA std. MG 1-2011, 12.54.1. Operasi interlock pada motor induksi terdiri dari operasi Cold Start dan Hot Start. Cold start berfungsi untuk membatasi motor induksi supaya start tidak lebih dari dua kali apabila kondisi temperatur motor pada suhu ruangan. Sedangkan, Hot Start membatasi motor induksi untuk tidak start lebih dari satu kali dengan kondisi motor pada suhu operasinya.

### 1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang, maka dapat dirumuskan masalah dalam penulisan ini yaitu :

1. Bagaimana desain dan rancangan sistem *Repeated Start Protection* pada motor induksi?
2. Bagaimana implementasi *interlocking* pada sistem *Repeated Start Protection* pada motor induksi?

### 1.3. Tujuan dan Manfaat

Penelitian yang baik adalah penelitian yang mempunyai tujuan dan dapat memberikan manfaat dari hasil penelitian tersebut. Tujuan penelitian ini adalah Merancang *interlocking* proteksi *start* berulang pada motor induksi. Adapun manfaat dari perancangan Interlocking Start Berulang Pada Motor Induksi yaitu untuk mencegah terjadinya kerusakan pada motor induksi yang terjadi dikarenakan *repeated start*.

#### 1.4. Batasan Masalah

Batasan masalah penelitian ini dibutuhkan agar tidak terdapat penyimpangan bahasan yang terlalu jauh dari judul. Berikut merupakan batasan masalah dari penelitian ini :

1. Safety interlocking yang diterapkan pada penelitian ini ditujukan untuk proteksi start berulang motor induksi 3 fasa.
2. Sistem Interlocking dirancang dan diimplementasikan menggunakan *Programmable Logic Controller (PLC)* dengan memanfaatkan *Ladder Logic*.

#### 1.5. Metode Penelitian

Untuk melaksanakan penelitian ini penulis menggunakan metode penelitian sebagai berikut:

##### 1. Studi Literatur

Mencari informasi yang valid terkait dengan penelitian. Sumber informasi dapat berasal dari jurnal yang ada, pendataan fisik dan data yang diperoleh langsung dari PLTU.

##### 2. Perancangan

Pada tahap ini dilakukan perancangan desain model mekanik, elektronik, dan algoritma serta penyusunan sistem kendali *start* motor dengan *repeated start protection*.

##### 3. Implementasi

Rancangan yang sudah dibuat direalisasikan kedalam bentuk perangkat keras. Hasil dari rancangan ini diharapkan dapat bekerja sesuai dengan tujuan yang telah dijelaskan.

##### 4. Pengujian Alat

Alat yang sudah berbentuk perangkat keras diuji untuk mendapatkan performa dari sistem yang telah dirancang.

##### 5. Analisis dan Evaluasi

Setelah dilakukan pengujian alat, kinerja sistem dianalisa dan dievaluasi. Perangkat akan dianalisis berdasarkan permasalahan yang timbul saat tahap pengujian alat, kemudian dievaluasi untuk mendapatkan hasil yang maksimal.

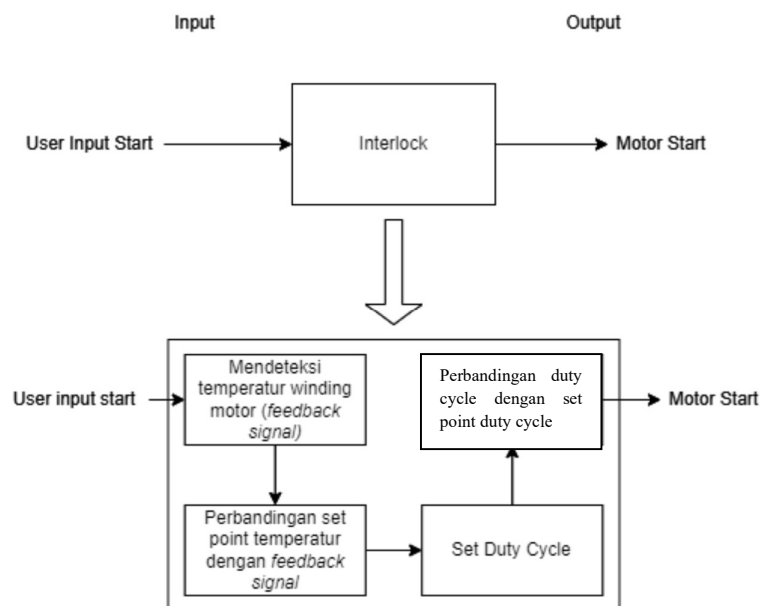
#### 6. Pembuatan Laporan

Pada tahap ini disusun Tugas Akhir yang berisi hasil dari Tugas Akhir yang telah dibuat.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Konsep Desain Solusi

Konsep solusi pada tugas akhir ini adalah dengan membuat sistem *interlocking* yang mencegah *user* untuk menghidupkan motor secara berulang. Menghidupkan motor secara berulang dapat mengurangi *lifetime* motor dikarenakan kenaikan temperatur saat motor start pada *winding* dan *rotor bar*. Berdasarkan pada IEC Std. 60034-12-2007, 8.3, [11]. Motor mampu bertahan dari proses *start* secara berulang dua kali pada kondisi dingin dan satu kali *start* pada kondisi panas setelah bekerja pada kondisi nilainya.



**Gambar 2.1** Diagram konsep desain solusi.

Gambar 2.1 merupakan konsep desain solusi Tugas Akhir yang akan dibuat. Tugas akhir ini terpusat pada proteksi *start* berulang pada motor. Prinsip kerja dari sistem yang akan dibuat adalah sebagai berikut :

- Memastikan kondisi temperatur *winding* motor berada dalam kondisi dingin atau berada dalam kondisi panas. Kemudian logic *interlock* akan menghitung berapa kali motor *start*.

- b. Ketika kondisi temperatur *winding* motor berada dalam kondisi dingin, maka motor dapat *start* 2 kali secara berulang. Sedangkan ketika temperatur *winding* motor berada dalam kondisi panas, maka motor dapat *start* 1 kali secara berulang berdasarkan standard IEC Std. 60034-12-2007, 8.3 dan NEMA std. MG 1-2011, 12.54.1.
- c. Ketika motor telah melampaui batas kondisi *start*, maka logic *interlock* akan mencegah motor untuk *start* hingga temperatur *winding* motor berada pada kondisi dingin atau temperatur ruangan.

Penelitian ini dilakukan berdasarkan penelitian-penelitian sebelumnya yang telah dilakukan dan memiliki karakteristik yang berbeda dalam pencapaian. Berikut beberapa penelitian sebelumnya yaitu:

**Tabel 2.1** Penelitian sebelumnya.

No	Judul	Penulis	Metode	Keterangan
1	Analyzing Temperature Rise and Fluid Flow of High-Power-Density and High-Voltage Induction Motor in the Starting Process	Y.Xia, Y.Han, Y. Xu and M.Ai	Model kopling medan-sirkuit diusulkan untuk menganalisis aliran fluida transien dan kenaikan suhu motor induksi HPDHV YJKK 500-4 2500 kW di proses awal.	Ketika beban jauh lebih berat, waktu mulai menjadi lebih lama dan suhu belitan dalam proses awal akan naik dengan cepat. Hasil percobaan menunjukkan bahwa model yang diusulkan divalidasi.
2	Interlock protection system of bucket wheel machine	Li Li, Guo Zhinian	menggunakan Programmable Logic Controller untuk sistem proteksi Bucket Wheel Machine.	Penemuan ini berkaitan dengan sistem proteksi interlock dari mesin roda ember. Sistem proteksi interlock pada mesin bucket wheel terdiri dari travel switch I 1, tombol start 2,

				transformator arus 3, anemoscope cerdas 4, travel switch II 5, modul PLC mesin bucket wheel 6, perangkat pembatas 7, travel switch III 8, PLC 9 dan laser range finder 10.
3	Interlocking device of smelting furnaces and electromagnetic stirrer	Cui Xiaoheng, Xu Lihua, Gao Fu, Yang Li, Kun Si Xupeng	Karakter interlocking pada paten ini diterapkan dengan menggunakan pendekatan switch yang dihubungkan dengan PLC.	menggunakan PLC untuk interlocking tungku peleburan dan pengaduk elektromagnetik
4	Induction motor long start protection	Benjamin W. EDWARD SKevin M. JefferiesRichard K. WEILER	aten tersebut mengungkapkan sebuah sistem proteksi untuk long start motor induksi yang mencakup stalled start detector. Dengan menggunakan current sensor, stalled start dapat dideteksi dengan cara memperoleh nilai dari arus fasa motor pada saat interval startup dari motor induksi.	Sistem proteksi yang diterapkan pada paten tersebut ditujukan untuk long start motor induksi multiphase dengan memanfaatkan sensor arus untuk mendapatkan nilai arus fasa pada saat proses startup motor.

## 2.2. Motor Induksi 3 fasa

Kerusakan pada motor induksi dapat disebabkan oleh berbagai macam permasalahan. Salah satunya adalah Stator Fault. Stator pada motor induksi mengalami berbagai macam jenis tekanan seperti tekanan mekanik, elektrik, thermal, dan lingkungan [3]. Salah satu penyebab kerusakan yang sering terjadi pada motor induksi adalah karena stator fault. Berdasarkan hasil studi yang



dilakukan oleh IEEE dan EPRI, 28-36% kerusakan yang terjadi pada motor induksi adalah karena stator winding fault [4, 5].

Thermal stress adalah salah satu penyebab dari stator winding faults. Penyebab utama dari thermal stress adalah karena thermal overloading yang dapat disebabkan oleh memburuknya kondisi insulasi dari stator winding. Thermal stress dapat terjadi karena over-current yang mengalir karena overload atau fault, kondisi temperatur lingkungan yang tinggi, ventilasi motor yang terhalang, ketidak seimbangan power supply. Temperatur belitan juga akan meningkat jika dalam rentang waktu yang dekat terjadi start dan stop pada motor. Alasannya adalah, jika temperatur belitan meningkat dan motor dioperasikan diatas batas temperaturnya, akan menyebabkan kerusakan pada belitan. Pada hal ini, dinyatakan bahwa setiap kenaikan  $10^{\circ}$  C dari batas temperatur stator winding, hidup dari insulasi berkurang sebesar 50% [6].

**Tabel 2.2.** Efek Kenaikan Temperatur [6]

Temperatur Lingkungan pada $^{\circ}$ C	<i>Lifetime</i> pada jam
30	250.000
40	125.000
50	60.000
60	30.000

Selain itu, kerusakan pada motor induksi juga dapat terjadi karena kerusakan *rotor bar*. Ada banyak alasan yang menyebabkan kerusakan rotor dapat terjadi pada motor induksi [7]. Salah satu penyebab dari kerusakan rotor pada motor induksi adalah karena waktu start-up yang lama dan juga karena motor dalam rentang waktu yang dekat terjadi *start* dan *stop* pada motor [8]. Hal ini menyebabkan meningkatnya temperatur pada *rotor bar* sehingga terjadi pemuaihan pada rotor bar. Retak atau kerusakan pada *rotor bar* menghasilkan serangkaian frekuensi sideband [12]. Frekuensi sideband ini menghasilkan *ripples* pada torsi dan kecepatan dan efek ini akan terus berlanjut dan menghasilkan berbagai frekuensi sideband lainnya [13].

Berdasarkan permasalahan-permasalahan yang sudah dideskripsikan sebelumnya. Melakukan start motor secara berulang dapat menyebabkan berbagai masalah. Sistem ini dirancang untuk meningkatkan realibilitas dari motor induksi dan mengurangi kemungkinan terjadinya kerusakan khususnya karena start motor secara berulang. Kenaikan temperatur pada belitan motor saat start juga dijelaskan oleh Yunyan Xia dkk. Pada penelitian yang berjudul “Analyzing Temperature Rise and Fluid Flow of High-Power-Density and High-Voltage Induction Motor in the Starting Process”. Hasil dari simulasi yang dilakukan menunjukkan bahwa aliran fluida yang rendah saat motor start dan nilai arus yang tinggi menyebabkan kenaikan temperatur belitan secara cepat. Kenaikan temperatur mencapai titik stabil saat kecepatan rotasi motor mencapai nilainya.

**Tabel 2.3.** Spesifikasi Motor Induksi 3 Fasa

SPESIFIKASI	DESKRIPSI
Tipe	ADK FL-80B-4
Power	1hp/0.75kW
RPM	1390
Volt	220/380 V
Ampere	3.54/2.08 A

Motor induksi yang digunakan pada Tugas Akhir ini adalah motor induksi 3 fasa 4 pole. Pemilihan motor ini bertujuan untuk mensimulasikan *interlock* yang telah dirancang sebagai pemodelan motor yang berada di industri.

### 2.2.1 Starting Motor Induksi 3 Fasa

Waktu yang paling *stressful* bagi motor listrik adalah pada saat start, Ketika kecepatan shaft adalah 0 dan arus motor berada pada maksimum. Kondisi ini dinamakan *termed starting* atau *locked rotor current* [14]. Pada saat start, arus start berbanding lurus dengan tegangan dan berbanding terbalik dengan kecepatan. Maka dari itu salah satu hal yang perlu diperhatikan saat start motor adalah tingginya arus start motor.

Ketika motor berhasil start dan mencapai beban pada level arusnya, rangkaian pendingin akan mendisipasi panas tambahan yang dihasilkan oleh arus start. Bergantung pada desainnya, *thermal “weak link”* untuk motor induksi dengan jenis *squirrel cage* bisa berada pada *winding*, *rotor bar*, atau sisi *end ring*. Maka dari itu, National Electrical Manufacturer’s Association (NEMA) dan International Electrotechnical Commission (IEC) membatasi jumlah start yang dapat dilakukan pada motor dalam rentang waktu tertentu. Berdasarkan NEMA Std. MG 1-2011, 12.54.1, kondisi normal untuk starting motor adalah :

- a. Tekanan dan frekuensi yang diaplikasikan sesuai dengan batasan yang ditetapkan pada NEMA Stds. MG 1-2011, 12.44, yang menjelaskan bahwa nilai kombinasi 10% dari rated voltage dan frekuensi.
- b. Pada tahap akselerasi, beban torsi yang terhubung adalah sama dengan atau kurang dari torsi variasi yang didefinisikan sebagai kuadrat dari kecepatan dan sama dengan 100% dari nilai beban torsi pada kecepatan nilai motor.
- c. Dua start secara berulang dengan motor berada pada temperatur lingkungan dan satu kali start dengan motor pada temperatur tidak melebihi temperatur saat beban penuh.

IEC Std. 60034-12-2007, 8.3, juga menjelaskan bahwa motor dapat bertahan dari dua kali start secara berurutan dari kondisi dingin, dan satu kali start dari kondisi panas setelah bekerja pada kondisi nilai motornya. Torsi perlambatan yang terjadi karena beban awal diasumsikan konstan dan sama dengan nilai torsi dari motor, independent terhadap kecepatan, dengan inertia luar 50% Pada setiap kasus, start setelah melampaui batas yang sudah dijelaskan sebelumnya, hanya bisa dilakukan jika temperatur motor sebelum start tidak melebihi temperatur stabil saat motor berbeban penuh. Sesuai dengan standard, banyaknya start yang dapat dilakukan pada motor sebaiknya diminimalisir karena dapat berdampak pada waktu hidup motor.

### **2.3. Resistance Temperature Detectors (RTD)**

Resistance Temperature Detectors (RTD) adalah sensor temperatur yang bekerja berdasarkan resistor yang nilai resistansinya berubah sebagaimana nilai temperaturnya berubah. Perubahan pada nilai resistansi terhadap temperatur dapat

diukur dengan cara metode pengukuran resistansi yang biasa digunakan. Biasanya elemen *sensing* RTD terdiri dari platinum, copper atau nickel yang mempunyairesistansi berulang dengan hubungan resistansi terhadap temperatur pada operasi temperatur kerjanya. Hubungan antara resistansi dan temperatur didefinisikan sebagai banyaknya perubahan nilai resistansi dari sensor per derajat dari perubahan temperatur saat proses [15]. Sensor RTD dapat berupa *wire wound type*, atau *metal film type*, yang memiliki *cost* lebih rendah tapi karakteristinya memburuk seiring berjalannya waktu [16]. Pada Tugas Akhir ini tipe yang digunakan adalah *wire wound type* untuk mengukur nilai temperatur motor induksi. Spesifikasi sensor RTD PT-100 yang digunakan pada tugas akhir ini dapat terlihat pada table 3.4.

**Tabel 2.4.** Spesifikasi RTD PT100

SPEKIFIKASI	DESKRIPSI
Thermal Class	Class A
Temperature Range	-50 – 400 C
Probe Length	100mm
Probe Diameter	5mm

#### 2.4. Variable Frequency Drive (VFD)

Variable-Frequency Drive (VFD) adalah perangkat yang mengontrol tegangan dan frekuensi yang disuplai ke motor untuk mengontrol kecepatan motor dan sistemnya. Dengan memenuhi tuntutan proses yang dibutuhkan, system efisiensi ditingkatkan [17]. Dengan mengatur frekuensi dan tegangan daya yang masuk ke motor, kecepatan dan torsi motor induksi dapat dikendalikan.

$$N = \frac{120f}{P} \times (1 - s)$$

Dimana: N = Kecepatan motor; f = Frekuensi (Hz); P = Jumlah Tiang; dan S = Slip.

Pada penelitian ini *Variable Frequency Drive* (VFD) digunakan adalah Variable Speed Drives Schneider Altivar 12 yang berfungsi sebagai inverter dan motor drive. Penggunaan VFD umum digunakan pada berbagai macam industri.

**Tabel 2.5.** Spesifikasi Variable Speed Drives Schneider Altivar 12

SPESIFIKASI	DESKRIPSI
Input Voltage	1 Phase, 200 – 240 Vac
Input Frequency	50/60 Hz
Output Voltage	3 Phase, 200 – 240 Vac
Output Frequency	0,5 – 400 Hz
Motor Output	1,5 Kw/ 2hp

## 2.5. Programmable Logic Controller (PLC)

Programmable Logic Controller (PLC) pada dasarnya adalah sebuah komputer yang khusus dirancang untuk mengontrol suatu proses atau mesin. Proses yang dikontrol ini dapat berupa regulasi variabel secara kontinyu seperti pada sistem-sistem servo atau hanya melibatkan kontrol dua keadaan (On/Off) saja tapi dilakukan secara berulang-ulang seperti umum kita jumpai pada mesin pengeboran, sistem konveyor, dan lain sebagainya [18].

PLC digunakan sebagai pengendali pada penelitian ini. PLC akan menerima masukan berupa *analog input* dari sensor RTD-PT100 yang dihubungkan dengan transmitter 0-10 Volt. Hasil pembacaan dari sensor akan bergungsi sebagai syarat interlocking motor induksi. Output dari PLC akan memicu VFD untuk menghidupkan motor induksi. PLC yang digunakan pada penelitian ini adalah Omron CP1L-L20DR-A.

**Tabel 2.6.** Spesifikasi Omron CP1L-L20DR-A

SPESIFIKASI	DESKRIPSI
Supply Voltage	AC
Digital Input Port	12
Input Type	PNP/NPN
Digital Output Port	8
Output Type	Relay