

STUDI PENGARUH *SETTING THERMAL OVERLOAD RELAY* PADA MOTOR INDUKSI 3 FASA JENIS *DAHLANDER*

Abdul Muis Prasertia¹, Linda Sartika², Hendra³, Suparto⁴, Mohammad Azrul⁵

^{1,2,3,5}Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Borneo Tarakan, Tarakan

⁴PDAM Tarakan, Tarakan

¹prasertia.electric@gmail.com

²lindasartika75@gmail.com

Abstract—The research method used was an experimental quantitative approach by testing the motor under low-speed and high-speed configurations with various current setting values. The protection system consisted of a current sensor, Arduino Uno, relay module, contactor, and TOR. The current sensor was utilized to monitor motor current in real time, while TOR functioned as overload protection by disconnecting the power supply when the current exceeded the predetermined setting value.

The results showed that the TOR current setting significantly affected the trip time characteristics of the protection system. Higher current settings resulted in longer trip times, whereas increased motor load current caused the system to trip faster. The nominal current obtained in the low-speed configuration was 1.90 A, while in the high-speed configuration it was 1.81 A. In addition, the current sensor demonstrated good performance with an average measurement error of approximately $\pm 1\%$ compared to the reference measuring instrument.

The integration of current sensors and TOR was proven to improve the effectiveness of the protection system in monitoring and protecting the Dahlander motor from overload conditions. Therefore, the proposed system can be implemented as an alternative protection and monitoring system for three-phase induction motors in industrial applications.

Keywords— Three-phase induction motor, Dahlander motor, Thermal Overload Relay, current sensor, Arduino Uno, motor protection, trip time, overcurrent protection.

Abstrak—Penelitian ini menganalisis pengaruh setting Thermal Overload Relay (TOR) terhadap kinerja sistem proteksi motor induksi tiga fasa jenis Dahlander menggunakan sensor arus berbasis Arduino Uno. Motor Dahlander memiliki dua tingkat kecepatan operasi yang diperoleh melalui perubahan konfigurasi lilitan stator sehingga menghasilkan karakteristik arus yang berbeda pada setiap kondisi operasi. Oleh karena itu, diperlukan sistem proteksi yang mampu mendeteksi gangguan arus lebih (overcurrent) secara cepat dan akurat untuk mencegah kerusakan motor.

Metode penelitian yang digunakan adalah metode kuantitatif eksperimental dengan melakukan pengujian pada konfigurasi kecepatan rendah dan kecepatan tinggi menggunakan variasi nilai setting arus. Sistem proteksi yang dirancang terdiri atas sensor arus, Arduino Uno, relay, kontaktor, dan Thermal Overload Relay (TOR). Sensor arus digunakan untuk memonitor arus motor secara real-time, sedangkan TOR berfungsi sebagai proteksi beban lebih dengan memutus suplai daya ketika arus melebihi nilai setting yang telah ditentukan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai setting TOR berpengaruh terhadap karakteristik waktu trip sistem proteksi. Semakin besar nilai setting arus, maka waktu trip yang dihasilkan semakin lama, sedangkan peningkatan arus beban menyebabkan waktu trip menjadi lebih cepat. Berdasarkan hasil pengujian diperoleh arus nominal sebesar 1,90 A pada konfigurasi kecepatan rendah dan 1,81 A pada konfigurasi kecepatan tinggi. Selain itu, sensor arus menunjukkan tingkat akurasi yang baik dengan nilai kesalahan pengukuran rata-rata sebesar $\pm 1\%$ dibandingkan alat ukur referensi.

Integrasi sensor arus dan Thermal Overload Relay terbukti mampu meningkatkan efektivitas sistem proteksi dalam memonitor dan melindungi motor Dahlander dari gangguan arus lebih. Dengan demikian, sistem yang dirancang dapat diterapkan sebagai alternatif sistem monitoring dan proteksi motor induksi tiga fasa pada aplikasi industri.

Kata Kunci—Motor induksi tiga fasa, motor Dahlander, Thermal Overload Relay, sensor arus, Arduino Uno, proteksi motor, waktu trip, proteksi arus lebih

I. PENDAHULUAN

Motor induksi tiga fasa merupakan salah satu jenis motor listrik yang paling banyak digunakan dalam sektor industri karena memiliki konstruksi yang sederhana, efisiensi tinggi, biaya perawatan yang relatif rendah, serta kemampuan bekerja secara kontinu pada berbagai kondisi operasi [1]. Penggunaan motor induksi tiga fasa banyak dijumpai pada sistem conveyor, pompa, blower, kompresor, hingga mesin produksi di sektor manufaktur dan pertambangan. Keandalan motor induksi menjadi faktor penting karena gangguan pada motor dapat menyebabkan penurunan produktivitas, kerusakan peralatan, bahkan penghentian proses produksi.

Salah satu jenis motor induksi tiga fasa yang masih banyak digunakan pada aplikasi industri adalah motor Dahlander [2]. Motor Dahlander merupakan motor induksi rotor sangkar yang memiliki dua tingkat kecepatan dengan prinsip perubahan jumlah kutub stator melalui konfigurasi lilitan. Sistem ini memungkinkan motor bekerja pada kecepatan rendah dan tinggi tanpa memerlukan inverter tambahan sehingga lebih ekonomis dan sederhana dalam pengoperasiannya. Namun demikian, perubahan konfigurasi lilitan pada motor Dahlander menyebabkan karakteristik arus dan beban kerja motor menjadi lebih kompleks dibandingkan motor induksi konvensional satu

kecepatan. Kondisi tersebut menjadikan motor Dahlander lebih rentan terhadap gangguan arus lebih (*overcurrent*) dan kenaikan temperatur akibat pembebanan yang tidak sesuai [3].

Gangguan arus lebih pada motor induksi dapat menyebabkan kenaikan temperatur lilitan stator secara signifikan. Jika kondisi ini berlangsung terus-menerus, maka isolasi lilitan motor akan mengalami degradasi sehingga memperpendek umur motor dan meningkatkan risiko kerusakan permanen. Penelitian yang dilakukan oleh Xia *et al.* menunjukkan bahwa kenaikan temperatur pada motor induksi sangat dipengaruhi oleh kondisi pembebanan dan arus operasi motor [4]. Oleh karena itu, diperlukan sistem proteksi yang mampu mendeteksi kondisi beban lebih secara cepat dan akurat agar motor tetap bekerja dalam batas aman.

Salah satu perangkat proteksi yang umum digunakan pada motor induksi adalah *Thermal Overload Relay* (TOR). TOR bekerja berdasarkan prinsip pemanasan bimetal akibat arus lebih yang mengalir pada motor. Ketika arus melebihi nilai *setting* dalam periode tertentu, TOR akan memutuskan rangkaian kontrol sehingga suplai daya ke motor terhenti [5]. Pengaturan nilai *setting* TOR menjadi faktor penting dalam menentukan efektivitas proteksi motor. *Setting* yang terlalu rendah dapat menyebabkan *false trip*, sedangkan *setting* yang terlalu tinggi dapat mengakibatkan motor terlambat terlindungi saat terjadi beban lebih.

Perkembangan teknologi monitoring berbasis mikrokontroler juga mendorong penggunaan sensor arus sebagai perangkat tambahan dalam sistem proteksi motor listrik. Sensor arus mampu melakukan pemantauan arus secara *real-time* sehingga kondisi operasi motor dapat dianalisis secara lebih akurat. Integrasi sensor arus dengan mikrokontroler Arduino memberikan kemudahan dalam proses monitoring, pengukuran arus, serta pengendalian relay proteksi secara otomatis. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa kombinasi sensor arus dan TOR mampu meningkatkan efektivitas sistem proteksi motor induksi, khususnya pada aplikasi industri yang memerlukan keandalan operasi tinggi [6].

Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Mispan *et al.* menunjukkan bahwa waktu *trip Thermal Overload Relay* dipengaruhi oleh besarnya arus beban dan nilai *setting* yang digunakan [7]. Penelitian lain yang dilakukan oleh Krismawati *et al.* menunjukkan adanya perbedaan antara *setting* relay di lapangan dengan hasil perhitungan teoritis sehingga diperlukan analisis yang lebih mendalam untuk memperoleh *setting* proteksi yang optimal pada motor induksi [8]. Selain itu, penelitian mengenai proteksi motor Dahlander masih relatif terbatas dibandingkan motor induksi konvensional, khususnya pada analisis pengaruh *setting Thermal Overload Relay* terhadap karakteristik waktu *trip* dan performa proteksi motor.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh *setting Thermal Overload Relay* terhadap kinerja proteksi motor induksi tiga fasa jenis Dahlander menggunakan sensor arus berbasis Arduino. Penelitian dilakukan dengan membandingkan karakteristik arus dan waktu *trip* pada konfigurasi kecepatan lambat dan cepat motor Dahlander. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan

kontribusi dalam menentukan *setting* proteksi yang lebih optimal sehingga mampu meningkatkan keamanan, keandalan, dan umur operasi motor induksi tiga fasa jenis Dahlander.

II. METODE PENELITIAN

A. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Konversi Energi Listrik, Fakultas Teknik, Universitas Borneo Tarakan. Kegiatan penelitian dilakukan selama empat bulan, dimulai dari tahap studi literatur, observasi lapangan, perancangan sistem, pengujian alat, pengambilan data, hingga analisis hasil penelitian. Tahapan penelitian dilakukan secara sistematis untuk memperoleh data eksperimen yang valid dan sesuai dengan tujuan penelitian.

B. Metode Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode kuantitatif eksperimental. Metode ini digunakan untuk menganalisis pengaruh *setting Thermal Overload Relay* (TOR) terhadap karakteristik proteksi motor induksi tiga fasa jenis Dahlander berdasarkan parameter arus dan waktu *trip*. Pendekatan eksperimental dilakukan melalui pengujian langsung pada sistem motor dengan variasi nilai *setting* arus pada kondisi operasi kecepatan rendah dan kecepatan tinggi.

Penelitian difokuskan pada analisis hubungan antara perubahan nilai arus beban, nilai *setting* TOR, dan waktu respon sistem proteksi terhadap kondisi *overload*. Data hasil pengujian kemudian dianalisis secara deskriptif dan komparatif untuk mengevaluasi performa sistem proteksi yang dirancang.

C. Peralatan dan Bahan Penelitian

Tabel I
Peralatan dan Bahan Penelitian

No	Peralatan/Bahan	Fungsi
1	Motor induksi 3 fasa jenis Dahlander	Objek penelitian
2	Thermal Overload Relay (TOR)	Proteksi beban lebih
3	Arduino Uno	Pengendali sistem monitoring
4	Sensor arus	Monitoring arus motor
5	Relay Arduino	Pengendali pemutusan rangkaian
6	Programmable Logic Controller (PLC)	Sistem kontrol motor
7	Kontaktor magnet	Penghubung dan pemutus beban
8	Multimeter	Pengukuran parameter listrik
9	Kabel jumper dan kabel penghubung	Koneksi sistem
10	Laptop	Pemrograman dan pengolahan data
11	Tang dan obeng	Peralatan instalasi

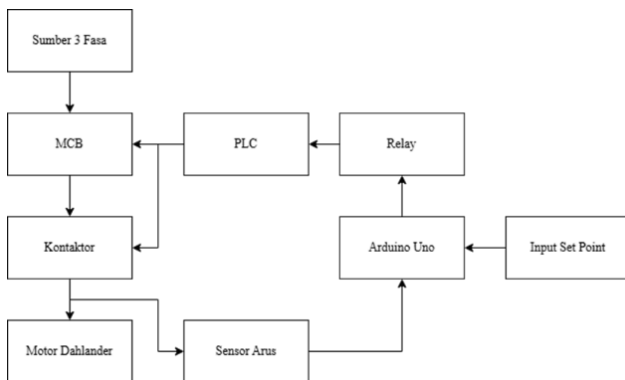
Peralatan dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas perangkat utama sistem proteksi, perangkat pengukuran, serta perangkat pendukung pengendalian sistem. Spesifikasi utama peralatan yang digunakan ditunjukkan pada Tabel I.

D. Perancangan Sistem Penelitian

Sistem penelitian dirancang menggunakan kombinasi sensor arus, Arduino Uno, relay, kontaktor, dan Thermal Overload Relay (TOR) sebagai sistem proteksi motor induksi tiga fasa jenis Dahlander. Diagram blok sistem penelitian ditunjukkan pada Gambar 2.

Pada sistem yang dirancang, sumber tegangan tiga fasa dialirkan melalui Miniature Circuit Breaker (MCB) menuju kontaktor dan motor Dahlander. Sensor arus dipasang pada jalur suplai motor untuk melakukan pembacaan arus secara *real-time*. Data hasil pembacaan sensor dikirim ke Arduino Uno untuk diproses sesuai nilai *set point* yang telah ditentukan.

Apabila arus motor melebihi batas *setting*, maka Arduino akan mengaktifkan relay untuk memutus kontaktor sehingga suplai daya ke motor terhenti. Selain proteksi berbasis sensor arus, sistem juga menggunakan TOR sebagai proteksi tambahan terhadap gangguan beban lebih dan kenaikan temperatur motor.



Gambar 1. Diagram Blok Sistem

Adapun fungsi masing-masing komponen pada sistem penelitian seperti yang terlihat pada Gambar 1. adalah sebagai berikut:

1. MCB berfungsi sebagai pengaman utama sistem terhadap hubung singkat dan arus lebih.
2. Arduino Uno digunakan sebagai pusat pengendalian dan pemrosesan data sensor arus.
3. Sensor arus berfungsi untuk mendeteksi besarnya arus yang mengalir pada motor secara *real-time*.
4. Relay Arduino digunakan sebagai aktuator pemutus kontaktor berdasarkan sinyal dari Arduino.
5. Kontaktor magnet berfungsi sebagai penghubung dan pemutus suplai daya motor.
6. Thermal Overload Relay (TOR) digunakan sebagai proteksi termal terhadap kondisi beban lebih pada motor Dahlander.

E. Prosedur Penelitian

Tahapan penelitian dilakukan secara berurutan sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Tahap awal dilakukan dengan mempelajari teori terkait motor induksi tiga fasa, motor Dahlander, sensor arus, Arduino, dan Thermal Overload Relay dari jurnal, buku, serta penelitian terdahulu.

2. Perancangan Sistem Proteksi

Pada tahap ini dilakukan perancangan diagram blok, instalasi perangkat keras, serta pemrograman Arduino untuk sistem monitoring dan proteksi arus lebih.

3. Kalibrasi Sensor Arus

Sensor arus dikalibrasi menggunakan amperemeter sebagai alat referensi untuk memperoleh hasil pengukuran yang akurat.

4. Pengujian Sistem

Pengujian dilakukan pada motor Dahlander dengan konfigurasi kecepatan rendah dan kecepatan tinggi menggunakan variasi nilai *setting* arus pada TOR dan sensor arus.

5. Pengambilan Data

Data yang diambil meliputi nilai arus, tegangan, frekuensi, putaran motor (*rpm*), serta waktu *trip* sistem proteksi.

6. Analisis Data

Data hasil pengujian dianalisis untuk mengetahui pengaruh nilai *setting* arus terhadap waktu *trip* dan performa sistem proteksi motor Dahlander.

7. Penarikan Kesimpulan

Tahap akhir dilakukan dengan menyusun kesimpulan berdasarkan hasil analisis dan pengujian sistem.

F. Teknik Pengumpulan dan Analisis Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data primer yang diperoleh secara langsung melalui pengujian eksperimental pada motor Dahlander. Parameter yang diamati meliputi arus motor, tegangan, frekuensi, putaran motor (*rpm*), nilai *setting* TOR, serta waktu *trip* sistem proteksi.

Analisis data dilakukan menggunakan metode deskriptif kuantitatif dengan membandingkan hasil pengukuran sensor arus terhadap alat ukur referensi serta menganalisis hubungan antara arus beban dan waktu *trip* sistem proteksi. Hasil pengujian kemudian disajikan dalam bentuk tabel dan grafik karakteristik untuk mempermudah interpretasi performa sistem proteksi motor induksi tiga fasa jenis Dahlander.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini akan dijelaskan proses pengerjaan sistem proteksi pada motor Dahlander dimulai dari menyusun kebutuhan perangkat keras sistem proteksi, perancangan, perakitan, pengkodean, hingga pengujian sistem proteksi guna memastikan kesesuaiannya dengan tujuan penelitian.

A. Motor Induksi 3 Fasa Dahlander

Motor Dahlander adalah motor listrik yang memiliki dua kecepatan utama dengan mengubah konfigurasi rangkaian pada gulungan statornya. Motor ini tersedia dengan kecepatan rendah dan tinggi. Kecepatan rendah umumnya cocok untuk beban yang memerlukan torsi lebih besar, sementara kecepatan tinggi lebih sesuai untuk

aplikasi yang mengharuskan kecepatan operasi yang tinggi, spesifikasi dari motor Dahlander dapat dilihat pada

Berdasarkan tabel spesifikasi, motor yang digunakan merupakan motor induksi tiga fasa tipe GRKCitous dengan nomor seri 354-0310Y165 dan tegangan kerja sebesar 380 V. Tegangan tersebut menunjukkan bahwa motor dirancang untuk bekerja pada sistem distribusi tiga fasa tegangan rendah yang umum digunakan pada aplikasi industri. Motor memiliki daya sebesar 1,3 kW, yang menunjukkan kemampuan motor dalam mengubah energi listrik menjadi energi mekanik pada kondisi operasi nominal.

Tabel II
Spesifikasi Motor Dahlander

Parameter	Nilai
Pabrikan	Indonesia
Type	ORK Frame 90L
Nomor seri	5854-03105Y165
Tegangan	380 V
Daya	1,3 kW
Arus	2/1,9 A
Jumlah Slot (G)	36
Diameter Inti Stator (D)	9,7 cm
Panjang Inti Stator	8 cm
Kecepatan	1515/2949 rpm
$\cos \varphi$	0,90/0,99
Diameter Konduktor	0,50 mm
Frequency	50 Hz
Efisiensi	77,36%/83,69%

Nilai arus nominal motor tercatat sebesar 2,1/1,4 A. Perbedaan nilai arus tersebut menunjukkan karakteristik dua tingkat kecepatan pada motor Dahlander, yaitu konfigurasi kecepatan rendah dan kecepatan tinggi. Pada konfigurasi tertentu, perubahan jumlah kutub stator menyebabkan perubahan arus kerja motor sesuai dengan karakteristik beban dan putaran yang dihasilkan. Nilai arus nominal ini menjadi parameter utama dalam menentukan *setting* TOR agar sistem proteksi dapat bekerja sesuai karakteristik motor.

Motor memiliki jumlah fasa sebanyak tiga (3 *phase*) dengan faktor lilitan stator sebesar 9/4 kutub. Konfigurasi jumlah kutub tersebut merupakan ciri khas motor Dahlander yang memungkinkan perubahan kecepatan motor melalui rekonfigurasi hubungan lilitan stator tanpa menggunakan inverter atau *Variable Frequency Drive* (VFD). Semakin banyak jumlah kutub yang digunakan, maka kecepatan putar motor akan semakin rendah.

Kecepatan putar rotor pada motor tercatat sebesar 840 rpm dan 1515/2940 rpm. Perbedaan nilai putaran ini menunjukkan bahwa motor dapat dioperasikan pada mode kecepatan rendah maupun kecepatan tinggi. Pada konfigurasi kecepatan rendah, motor menghasilkan torsi yang lebih besar dengan putaran lebih kecil sehingga sesuai untuk kondisi pembebanan awal. Sebaliknya, pada konfigurasi kecepatan tinggi motor menghasilkan putaran yang lebih besar dengan torsi relatif lebih kecil.

Nilai faktor daya ($\cos \varphi$) sebesar 0,90/0,90 menunjukkan bahwa motor memiliki efisiensi penggunaan daya yang cukup baik. Faktor daya yang mendekati satu menunjukkan bahwa daya aktif yang digunakan motor

lebih dominan dibandingkan daya reaktif sehingga rugi-rugi daya pada sistem dapat diminimalkan.

B. Konfigurasi Tabel

Pada penelitian ini digunakan motor induksi tiga fasa jenis Dahlander yang memiliki dua tingkat kecepatan operasi. Perubahan kecepatan motor diperoleh melalui perubahan konfigurasi lilitan stator sehingga jumlah kutub magnet pada motor dapat berubah sesuai mode operasi yang digunakan. Konfigurasi tersebut memungkinkan motor bekerja pada kecepatan rendah dan kecepatan tinggi tanpa memerlukan perangkat pengatur kecepatan tambahan seperti *Variable Frequency Drive* (VFD). Untuk mengoperasikan motor Dahlander diperlukan sistem pengendalian yang mampu mengatur perpindahan konfigurasi lilitan secara aman dan terkontrol.

Sistem pengujian pada penelitian ini menggunakan beberapa komponen utama, yaitu Thermal Overload Relay (TOR), Programmable Logic Controller (PLC), kontaktor magnet, sensor arus, Arduino Uno, dan relay. PLC dan kontaktor digunakan sebagai sistem pengendalian perpindahan operasi motor, sedangkan sensor arus dan Arduino digunakan untuk melakukan monitoring arus secara real-time. Selain itu, TOR digunakan sebagai sistem proteksi terhadap gangguan beban lebih (*overload*) yang dapat menyebabkan kenaikan temperatur pada lilitan motor.

Berdasarkan diagram alir penelitian dan diagram blok sistem pada Gambar 1, tahapan penelitian diawali dengan studi literatur untuk memahami karakteristik motor Dahlander, prinsip kerja TOR, serta sistem monitoring arus berbasis mikrokontroler. Tahap berikutnya adalah perumusan masalah dan perancangan instalasi sistem proteksi yang meliputi perancangan perangkat keras dan perangkat lunak (*software*) pada Arduino.

Pada sistem yang dirancang, sensor arus berfungsi untuk mendeteksi besarnya arus yang mengalir pada motor selama proses operasi. Data hasil pembacaan sensor kemudian diproses oleh Arduino untuk dibandingkan dengan nilai set point yang telah ditentukan. Apabila arus motor melebihi batas pengaturan, maka relay akan memberikan sinyal pemutusan terhadap kontaktor sehingga suplai daya ke motor berhenti. Selain itu, TOR juga bekerja sebagai proteksi tambahan berdasarkan karakteristik termal motor untuk mencegah kerusakan akibat arus lebih yang berlangsung secara kontinu.

Integrasi antara sensor arus, Arduino, relay, dan TOR menghasilkan sistem pengukuran dan pengendalian yang mampu bekerja secara otomatis dan responsif terhadap perubahan kondisi beban motor. Sistem ini memungkinkan proses monitoring arus dilakukan secara lebih akurat serta meningkatkan efektivitas proteksi motor Dahlander terhadap gangguan *overcurrent*. Dengan demikian, sistem proteksi yang dirancang mampu menjaga keamanan operasi motor dan meningkatkan keandalan sistem kelistrikan pada proses pengujian.

C. Sensor Arus

Sensor arus merupakan perangkat elektronik yang digunakan untuk mendeteksi dan mengukur besarnya arus listrik yang mengalir pada suatu rangkaian. Sensor ini bekerja dengan mengubah besaran arus menjadi sinyal

analog atau digital yang dapat diproses oleh sistem monitoring maupun sistem pengendalian. Penggunaan sensor arus sangat penting dalam sistem tenaga listrik, khususnya pada aplikasi monitoring beban, proteksi peralatan listrik, dan sistem otomasi industri.

Pada penelitian ini, sensor arus digunakan sebagai perangkat monitoring pada motor induksi tiga fasa jenis Dahlander untuk mendeteksi kondisi arus kerja motor secara *real-time*. Sensor dipasang pada jalur suplai motor sehingga mampu membaca perubahan arus yang terjadi selama motor beroperasi pada konfigurasi kecepatan rendah maupun kecepatan tinggi. Data hasil pembacaan sensor kemudian dikirim ke mikrokontroler Arduino Uno untuk diproses dan dibandingkan dengan nilai *setting* arus yang telah ditentukan.

Penggunaan sensor arus pada penelitian ini bertujuan untuk mendeteksi terjadinya arus lebih (*overcurrent*) yang dapat menyebabkan kenaikan temperatur pada lilitan motor. Kondisi arus lebih yang terjadi secara terus-menerus dapat menurunkan kualitas isolasi lilitan dan mempercepat kerusakan motor. Oleh karena itu, sistem monitoring arus diperlukan agar gangguan dapat dideteksi lebih cepat sebelum menyebabkan kerusakan permanen pada motor.

Selain digunakan untuk monitoring, sensor arus juga berfungsi sebagai bagian dari sistem proteksi motor. Ketika nilai arus yang terukur melebihi batas *set point*, Arduino akan memberikan sinyal kepada relay untuk memutus kontaktor sehingga suplai daya ke motor terhenti. Dengan demikian, integrasi sensor arus dengan sistem pengendalian berbasis Arduino dan *Thermal Overload Relay* (TOR) mampu meningkatkan efektivitas proteksi motor Dahlander terhadap gangguan beban lebih.

D. Kalibrasi Sensor

Kalibrasi penting untuk mengubah data mentah dari sensor arus menjadi nilai arus yang akurat dan sesuai dengan pengukuran sebenarnya. Proses ini melibatkan pengambilan sampel data dari sensor arus dan membandingkannya dengan hasil pengukuran arus dari amperemeter. Amperemeter ini digunakan sebagai referensi untuk menyesuaikan pembacaan sensor, sehingga mendapat hasil arus yang efektif mengalir dengan tepat seperti yang terukur oleh amperemeter.

Uji sensor arus dengan arus yang telah diatur pada sumber daya. Catat nilai arus yang ditunjukkan oleh amperemeter dan nilai sinyal keluaran dari sensor arus yang diukur dengan multimeter seperti yang terlihat pada Gambar 2, lalu bandingkan pembacaan sinyal keluaran sensor dengan nilai arus yang sebenarnya seperti yang ditunjukkan oleh amperemeter. Misalnya, jika amperemeter menunjukkan 5A, catat nilai keluaran sensor yang sesuai.

Beberapa sensor arus mungkin dilengkapi dengan potensiometer atau pengaturan kalibrasi internal. Jika sensor tersebut memiliki pengaturan ini, sesuaikan potensiometer untuk mendapat nilai keluaran yang ada pada sensor sesuai dengan nilai arus yang diukur oleh amperemeter.

Hasil pengujian kalibrasi sensor yang dilakukan maka di dapat hasil perbandingan nilai error yaitu sebesar 1%. Rata-rata nilai error yang ditemukan sekitar 1% adalah

hasil dari perbedaan rata-rata antara hasil sensor dan amperemeter, yang bisa dihasilkan oleh beberapa faktor. Misalnya, jika perbedaan antara sensor dan amperemeter dihitung secara rata-rata, perbedaan tersebut mungkin berkisar sekitar 0,01 hingga 0,02 A untuk setiap pengukuran, yang jika dibandingkan dengan nilai referensi (sekitar 1,22 A), memberikan error sekitar 1%.



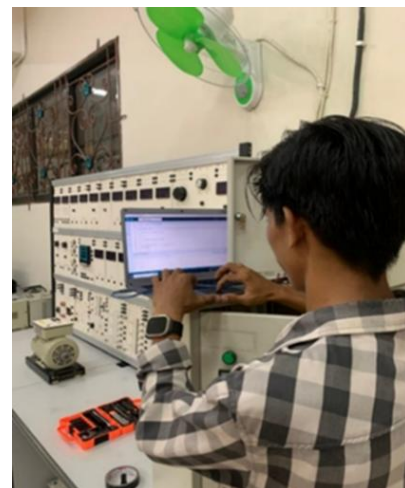
Gambar 2. Proses Uji Kalibrasi Sensor Arus

Tabel III
Hasil Pengujian Kalibrasi Sensor

Sensor	Amperemeter	Error
1,20	1,22	1%
1,21	1,23	1%
1,23	1,25	1%

E. Pengoperasian Sensor Arus

Untuk mengembangkan pembacaan arus pada motor Dahlander maka digunakan mikrokontroler Arduino Uno, sensor arus, relay dan juga diperlukan program yang mencakup keseluruhan komponen dan ditulis di dalam Arduino software seperti yang dilakukan peneliti pada Gambar 3.



Gambar 3. Pembuatan Program Arduino

Pengoperasian sensor arus dilakukan dengan merangkai komponen seperti sensor dan relay ke modul Arduino kemudian menghubungkan modul Arduino Uno ke PC menggunakan kabel USB atau adapter DC-DC modul ini sudah siap untuk digunakan, setelah komponen selesai di rangkai maka tahap selanjutnya menjalankan program software Arduino dengan setting pembacaan arus yang berbeda-beda. Pengoperasian sensor dilakukan

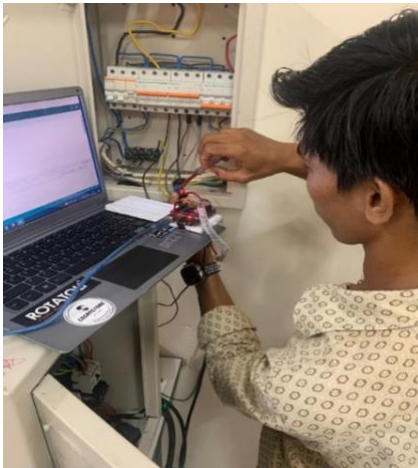
seperti Gambar 4.5 yang dimana pembacaan arus dilakukan dengan menggunakan ampermeter dan sensor arus.

F. Uji Coba Sensor Arus

Uji coba sensor arus adalah proses yang dilakukan untuk mengukur kinerja dan akurasi sensor arus dalam mendeteksi atau mengukur arus listrik yang mengalir melalui suatu rangkaian pada motor Dahlander dan menggunakan sumber tegangan 3 fasa, Sensor tersebut merupakan trafo dengan bentuk ring-core rasio 1000:1 serta keluaran arus maksimal sebesar 5 mA.

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengevaluasi waktu trip motor pada berbagai pengaturan nilai dan arus beban yang berbeda. Pengujian ini melibatkan pengukuran arus pada berbagai level dan membandingkan hasilnya dengan alat ukur yang lebih akurat, serta mengidentifikasi kemungkinan kesalahan atau cacat dalam pengukuran. Hal ini penting untuk memastikan bahwa sensor arus yang digunakan dapat memenuhi standar kualitas dan performa yang diinginkan dalam aplikasi tertentu.

Hasil dari serangkaian ini disajikan dalam Tabel IV dan Tabel V. Uji coba yang dilakukan dengan sensor arus dilampirkan pada Gambar 4 yang dimana sensor ini akan membaca arus pada motor dengan menggunakan relay arduino 1 fasa sebagai pemutus arus jika terjadi kelebihan arus pada motor Dahlander.



Gambar 4. Pengujian Sensor Arus

Untuk meminimalisir terjadinya kerusakan pada motor induksi yang terdapat pada motor Dahlander, maka digunakan sistem proteksi yang akan berperan sebagai pengaman untuk mencegah sistem atau perlengkapan pada mesin dari kerusakan akibat gangguan arus lebih (over current).

G. Pengoperasian Thermal Overload Relay (TOR)

Untuk mengoperasikan TOR pada motor Dahlander hal yang dilakukan yaitu pasang TOR pada panel kontrol atau di dekat kontaktor motor kemudian hubungkan output dari kontaktor motor ke input terminal TOR. Sesuaikan setting arus TOR dengan arus nominal motor, setting arus dilakukan dengan memutar skrup yang ada pada bagian TOR. TOR ini akan memonitor arus yang mengalir ke motor, kemudian output dari TOR terhubung ke terminal motor Dahlander.

Untuk mengoperasikan TOR pada motor Dahlander hal yang dilakukan yaitu pasang TOR pada panel kontrol atau di dekat kontaktor motor kemudian hubungkan output dari kontaktor motor ke input terminal TOR. Sesuaikan setting arus TOR dengan arus nominal motor, pada Gambar 5 setting arus dilakukan dengan memutar skrup yang ada pada bagian TOR. TOR ini akan memonitor arus yang mengalir ke motor, kemudian output dari TOR terhubung ke terminal motor Dahlander.



Gambar 5. Setting Trip Arus Lebih Pada TOR

Tabel IV
Hasil Pengujian TOR

Setting Trip	Waktu Trip (s)	Arus Beban
2,5 A	167,9	1,5 x I Set
3 A	57,51	2 x I Set
3,5 A	30,26	2,5 x I Set
4 A	17,11	3 x I Set

Tabel V
Hasil Uji Coba Motor Konfigurasi Lambat

Setting Arus	Arus		Waktu Trip	Beban
	Alat ukur	Sensor		
1,62	1,66	1,62	21,61	0,44
1,82	1,82	1,82	26,24	0,48
2,03	2,10	2,03	33,67	0,52
2,23	2,24	2,24	32,54	0,58

Tabel VI
Hasil Uji Coba Motor Konfigurasi Cepat

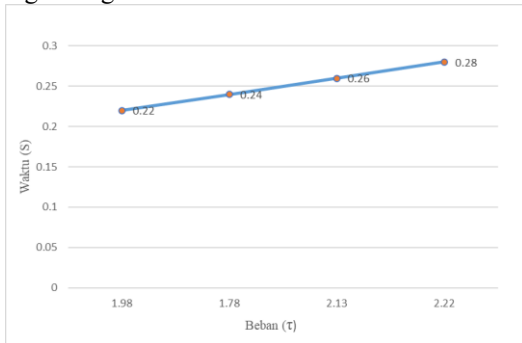
Setting Arus	Arus		Waktu Trip	Beban
	Alat ukur	Sensor		
1,59	1,98	1,58	21,96	0,20
1,79	1,78	1,78	22,91	0,24
1,99	2,13	1,98	34,25	0,26
2,18	2,22	2,18	32,13	0,28

Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai arus beban dan pengaturan (I set) secara signifikan memengaruhi waktu trip pada Sensor. Semakin tinggi nilai arus beban pada motor maka waktu trip juga semakin cepat. Berdasarkan data dari tabel di atas, terlihat bahwa peningkatan kapasitas motor induksi menyebabkan peningkatan nilai setting trip. Jika ada ketidaksesuaian antara kapasitas motor dan nilai setting trip pada sensor,

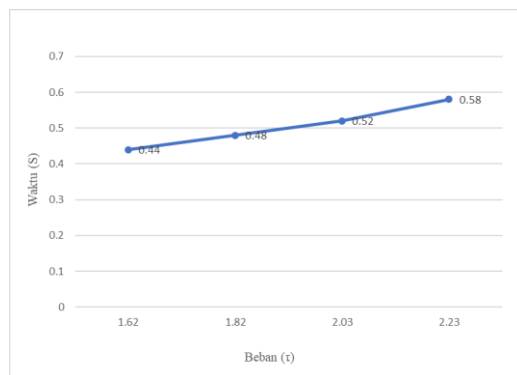
motor berisiko mengalami kerusakan akibat arus berlebih (*over current*).

H. Perbandingan Karakteristik Waktu

Dari hasil pengujian yang didapat, dilakukan perbandingan karakteristik waktu trip, pengujian yang dilakukan oleh peneliti pada sensor lebih kompleks dibandingkan dengan grafik karakteristik waktu yang terdapat dalam lembar data. Hasil dari perbandingan ini yang akan menentukan TOR pada motor Dahlander masih berfungsi dengan baik atau tidak.



Gambar 6. Perbandingan Arus dan Beban Konfigurasi Cepat



Gambar 7. Perbandingan Arus dan Beban Konfigurasi Lambat

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa pengaturan (*setting*) *Thermal Overload Relay* (TOR) memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kinerja sistem proteksi motor induksi tiga fasa jenis Dahlander. Nilai *setting* arus yang sesuai dengan karakteristik motor mampu memberikan proteksi yang optimal terhadap gangguan arus lebih (*overcurrent*) sehingga motor dapat beroperasi dengan aman pada konfigurasi kecepatan rendah maupun kecepatan tinggi. Berdasarkan hasil perhitungan dan pengujian, diperoleh arus nominal motor pada konfigurasi kecepatan rendah sebesar 1,90 A, sedangkan pada konfigurasi kecepatan tinggi sebesar 1,81 A. Perbedaan nilai arus nominal tersebut dipengaruhi oleh perubahan konfigurasi lilitan stator dan karakteristik beban pada masing-masing mode operasi motor Dahlander.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai *setting* arus memengaruhi karakteristik waktu *trip* sistem proteksi. Semakin besar nilai *setting* arus yang digunakan, maka waktu yang dibutuhkan sistem untuk melakukan *trip*

menjadi lebih lama. Sebaliknya, peningkatan arus beban motor menyebabkan waktu *trip* menjadi lebih cepat karena sistem proteksi merespons kondisi beban lebih secara lebih cepat. Selain itu, sensor arus yang digunakan pada penelitian ini mampu melakukan pembacaan arus secara *real-time* dengan tingkat kesalahan pengukuran rata-rata sebesar $\pm 1\%$ dibandingkan alat ukur referensi, sehingga sensor dinilai memiliki tingkat akurasi yang baik untuk aplikasi monitoring dan proteksi motor induksi tiga fasa.

Integrasi sensor arus, Arduino Uno, relay, dan *Thermal Overload Relay* (TOR) pada sistem yang dirancang mampu menghasilkan sistem proteksi yang bekerja secara otomatis dan responsif terhadap perubahan arus beban motor. Sistem ini dapat meningkatkan keamanan operasi motor Dahlander serta meminimalkan risiko kerusakan akibat gangguan arus lebih dan pembebanan berlebih secara kontinu. Dengan demikian, sistem proteksi berbasis sensor arus dan TOR dapat diterapkan sebagai alternatif sistem monitoring dan proteksi pada motor induksi tiga fasa, khususnya motor Dahlander, karena mampu meningkatkan keandalan operasi dan efektivitas proteksi sistem kelistrikan motor.

REFERENSI

- [1] P. Y. Darmadi, I. W. A. Wijaya, and I. W. Rinas, "Pengaruh Filter Pasif Untuk Menekan Harmonisa (THD) Terhadap Unjuk Kerja Motor Induksi 3 Phase Menggunakan Matlab," *Jurnal SPEKTRUM*, vol. 8, no. 2, pp. 216–221, 2021.
- [2] S. R. Wardani, W. T. Pamungkas, and W. Puspitasari, "Starter Dua Speed untuk Motor Dahlander," Politeknik Negeri Malang, 2012.
- [3] Adouni and A. J. M. Cardoso, "Thermal Analysis of Low-Power Three-Phase Induction Motors Operating under Voltage Unbalance and Inter-Turn Short Circuit Faults," *Machines*, vol. 9, no. 1, p. 2, 2021, doi: 10.3390/machines9010002.
- [4] Y. Xia, H. Du, and Y. Shao, "Calculation of Transient Temperature and Rated Capacity of Three-Phase Induction Motor under Different Working Systems," *International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics*, vol. 67, no. 3, pp. 295–310, 2021, doi: 10.3233/JAE-210004.
- [5] Hartono, Y. B. Praharto, and Fitriawati, "Analisa Thermal Overload Relay (TOR) Type LRD08C Pada Sistem Proteksi Motor 3 Fasa Belt Conveyor 37 kW," *Jurnal ITEKS*, vol. 12, no. 2, pp. 79–90, 2020.
- [6] T. Puspita and I. A. Darmawan, "Thermal Overload Relay (TOR) Sebagai Sistem Proteksi Motor Induksi 3 Fasa Pada Mesin Molding Biofuel Pelletizer di PT. Sejin Lestari Furniture," *Jurnal Teknik Mesin, Industri, Elektro dan Informatika*, vol. 2, no. 2, pp. 168–181, 2023, doi: 10.55606/jtmei.v2i2.1773.
- [7] Mispan, A. A. Adam, N. Amin, and Y. S. Pirade, "Rancang Bangun Sistem Monitoring Thermal Overload Relay pada Motor Induksi 3 Fasa," *Foristek*, vol. 13, no. 2, 2024.
- [8] M. Krismawati, L. Sartika, and A. M. Prasetya, "Sistem Proteksi Thermal Overload Relay (TOR) pada Motor Induksi 3 Fasa sebagai Penghancur Batu Bara di PT. Mitrabara Adiperdana Tbk," *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, vol. 23, no. 2, pp. 297–306, 2024, doi: 10.24843/MITE.2024.v23i02.P14.
- [9] Pradika and Moediyono, "Thermal Overload Relay Sebagai Pengaman Overload pada Miniatur Gardu Induk Berbasis Programmable Logic Controller (PLC) CP1E-E40DR-A," *Gema Teknologi*, vol. 17, no. 2, pp. 68–73, 2013, doi: 10.14710/gt.v17i2.8922.

- [10] Rachmatillah, "Rancang Bangun Sistem Pengendalian dan Proteksi Motor Induksi Jenis Dahlander Berbasis Smart Relay," Skripsi, Universitas Negeri Malang, 2017.
- [11] S. A. Saputro, Asmar, and W. Sunanda, "Kebutuhan Energi pada Pengereman Dinamis pada Motor Dahlander," *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1569, p. 032021, 2020.
- [12] Syukur and S. Adrianto, "Studi Sistem Proteksi Motor Induksi pada Motor di Pabrik PT. Semen Bosowa Maros," Skripsi, Universitas Muhammadiyah Makassar, 2022.
- [13] Tukananto, Junaidi, and Hardiansyah, "Rancang Bangun Sistem Proteksi Arus Lebih Motor 3 Fasa dengan Timer Start dan Trip," *Jurnal Teknik Elektro*, 2015.
- [14] S. Y. Gaja, "Rancang Bangun Proteksi Motor Induksi 3 Fasa Menggunakan Thermal Overload Relay dan Phase Failure Relay," Institut Teknologi Nasional Malang, 2018.
- [15] R. S. Lubis, M. Putri, and N. A. K. Harahap, "Perancangan Sistem Proteksi Beban Lebih Menggunakan TOR pada Motor Induksi 1 Fasa untuk Mesin Pengepres Limbah Kaleng," *Prosiding Konferensi Nasional Social & Engineering Polmed (KONSEP)*, vol. 5, no. 1, 2024.