

Research Article

Evaluasi Sistem Proteksi Motor Induksi Tiga Fasa Berdasarkan Data Teknis dan Kondisi Operasi Aktual

Muhammad Arul Arsyad^{1,*}, Eko Triansyah²

ABSTRAK: Penelitian ini dilatarbelakangi oleh pentingnya keandalan sistem proteksi pada motor induksi tiga fasa yang berperan sebagai penggerak utama di industri pengolahan minyak. Ketidaksesuaian sistem proteksi dapat menyebabkan gangguan operasi, kerusakan peralatan, serta menurunkan kontinuitas produksi. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kesesuaian sistem proteksi motor induksi tiga fasa dengan *tag number* 301-ON-P3 berdasarkan data teknis dan kondisi operasi aktual di lapangan. Metode yang digunakan meliputi analisis arus nominal motor, evaluasi kemampuan hantar arus kabel (*ampacity*), serta penilaian kesesuaian peralatan proteksi yang terdiri dari *molded case circuit breaker* (MCCB), *thermal overload relay* (TOR), dan *contactor* dengan mengacu pada standar instalasi listrik yang berlaku. Hasil analisis menunjukkan bahwa sistem proteksi yang terpasang secara umum telah sesuai dengan standar dan mampu memberikan perlindungan terhadap gangguan. Namun demikian, terdapat margin operasi tertentu yang berpotensi memicu *trip* pada kondisi beban dinamis. Oleh karena itu, evaluasi berkala diperlukan untuk meningkatkan keandalan, keselamatan, serta kontinuitas operasi motor induksi dalam sistem industri.

Kata kunci: *ampacity*, *contactor*, *MCCB*, *motor induksi tiga fasa*, *thermal overload relay*

1. PENDAHULUAN

Motor induksi tiga fasa merupakan peralatan utama dalam sistem kelistrikan industri yang banyak digunakan sebagai penggerak pompa, blower, dan kompresor karena keandalannya dalam operasi kontinu. Di lingkungan industri pengolahan minyak, kontinuitas operasi motor menjadi sangat krusial karena berpengaruh langsung terhadap stabilitas proses produksi [1], [2], [3]. Namun, kinerja motor sangat dipengaruhi oleh sistem proteksi yang digunakan. Sistem proteksi yang tidak sesuai dapat menyebabkan *trip* yang tidak perlu atau bahkan kegagalan proteksi yang berujung pada kerusakan peralatan [4].

Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa evaluasi sistem proteksi motor umumnya dilakukan berdasarkan data teknis dan standar instalasi listrik, seperti analisis arus nominal, kemampuan hantar arus kabel (*ampacity*), serta kesesuaian perangkat proteksi seperti MCCB dan thermal overload relay [5]. Selain itu, studi lain juga menekankan pentingnya koordinasi antar perangkat proteksi untuk memastikan selektivitas dan keandalan sistem dalam menghadapi gangguan listrik [6]. Evaluasi proteksi tidak hanya bergantung pada parameter nominal, tetapi juga pada karakteristik beban dan kondisi lingkungan operasi yang dapat memengaruhi performa sistem secara keseluruhan [7].

Di sisi lain, beberapa penelitian menunjukkan bahwa kesalahan dalam penentuan setting proteksi, khususnya pada *thermal overload relay* dan *circuit breaker*, dapat menyebabkan ketidaksesuaian antara respon proteksi dengan kondisi gangguan yang sebenarnya [8]. Hal ini diperparah dengan adanya variasi beban dinamis pada

OPEN ACCESS

Afiliasi:

¹Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Pekanbaru, Indonesia

² PT Pertamina Patra Niaga RU II Dumai, Indonesia

Korespondensi:

Email: penulis@amtsoc.org

Diterima Redaksi:

14-04-2026

Selesai Revisi:

06-05-2026

Diterbitkan Online:

07-05-2026

Cara Mengutip Artikel ini (IEEE):

M. A. Arsyad and E. Triansyah, "Evaluasi Sistem Proteksi Motor Induksi Tiga Fasa Berdasarkan Data Teknis dan Kondisi Operasi Aktual", *J. Electro*, pp. 28–41, May 2026.

This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.



motor industri yang menyebabkan perubahan arus operasi secara fluktuatif. Selain itu, pemilihan kabel yang tidak sesuai dengan kemampuan hantar arusnya juga dapat meningkatkan risiko pemanasan berlebih dan menurunkan umur isolasi sistem [9]. Oleh karena itu, analisis yang hanya berbasis data teknis tanpa mempertimbangkan kondisi aktual sering kali menghasilkan kesimpulan yang kurang akurat.

Berdasarkan kondisi tersebut, terdapat kesenjangan antara perhitungan teoritis dengan kondisi operasi nyata yang dapat memengaruhi keandalan sistem proteksi. Pendekatan yang lebih komprehensif diperlukan dengan mengintegrasikan data teknis, standar instalasi, serta kondisi operasi aktual di lapangan. Beberapa penelitian terbaru juga mulai mengarah pada pendekatan evaluasi berbasis kondisi nyata (*condition-based evaluation*) untuk meningkatkan akurasi analisis sistem proteksi motor [10].

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kesesuaian sistem proteksi motor induksi tiga fasa dengan *tag number* 301-ON-P3 berdasarkan data teknis dan kondisi operasi aktual, sehingga dapat diketahui tingkat keandalan serta potensi perbaikan yang diperlukan dalam sistem proteksi tersebut.

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam studi ini adalah metode analisis teknis berbasis data aktual dan parameter sistem proteksi motor induksi tiga fasa. Pendekatan yang digunakan mengacu pada prinsip evaluasi sistem proteksi terhadap berbagai kondisi gangguan seperti arus lebih (*overcurrent*), tegangan lebih (*overvoltage*), ketidakseimbangan tegangan (*unbalance voltage*), serta beban lebih (*overload*) yang umum terjadi pada sistem motor industri [11].

Proses analisis dilakukan dengan membandingkan data teknis motor, kabel, serta peralatan proteksi terhadap kondisi operasi aktual di lapangan. Parameter yang dianalisis meliputi arus nominal motor, kemampuan hantar arus kabel (*ampacity*), serta kesesuaian rating dan setting perangkat proteksi seperti *molded case circuit breaker* (MCCB), *thermal overload relay* (TOR), dan *contactor*.

Tahapan evaluasi dilakukan melalui identifikasi kondisi operasi motor, analisis karakteristik beban, serta simulasi kondisi gangguan berdasarkan data aktual. Setiap parameter dibandingkan terhadap standar instalasi listrik dan batas operasi yang diizinkan untuk menentukan apakah sistem proteksi telah bekerja sesuai dengan fungsi pengamanannya. Dengan pendekatan ini, hasil analisis diharapkan mampu memberikan gambaran tingkat keandalan sistem proteksi serta mengidentifikasi potensi ketidaksesuaian yang dapat memengaruhi kontinuitas dan keselamatan operasi motor induksi dalam sistem industri.

2.1 Jenis dan Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode analisis kuantitatif dengan pendekatan studi kasus pada sistem proteksi motor induksi tiga fasa yang beroperasi di lingkungan industri. Pendekatan ini dilakukan dengan memanfaatkan data teknis peralatan serta data operasi aktual di lapangan untuk mengevaluasi kesesuaian sistem proteksi terhadap standar instalasi listrik yang berlaku. Metode kuantitatif digunakan karena analisis didasarkan pada perhitungan parameter listrik seperti arus, tegangan, dan karakteristik proteksi yang dapat diukur secara numerik [12].

Analisis difokuskan pada parameter utama sistem, yaitu arus nominal motor, kemampuan hantar arus kabel (*ampacity*), serta karakteristik dan setting peralatan proteksi seperti MCCB, *thermal overload relay*, dan *contactor*. Data tersebut dianalisis secara komparatif antara kondisi desain dan kondisi operasi aktual untuk mengidentifikasi tingkat kesesuaian serta potensi ketidaksesuaian sistem proteksi. Pendekatan ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang melakukan evaluasi sistem proteksi motor dengan membandingkan hasil perhitungan dan kondisi aktual untuk mengetahui kinerja sistem secara menyeluruh [13].

Metode penelitian ini tidak melibatkan perancangan ulang sistem, melainkan evaluasi terhadap sistem yang sudah beroperasi (*existing system evaluation*), sehingga hasil analisis dapat mencerminkan kondisi nyata di lapangan. Pendekatan ini umum digunakan dalam studi sistem proteksi motor induksi untuk mengidentifikasi gangguan seperti arus lebih, tegangan tidak seimbang, dan beban lebih yang berpotensi menyebabkan kerusakan peralatan. Selain itu, penggunaan metode evaluasi berbasis data aktual juga memungkinkan diperolehnya rekomendasi teknis yang lebih aplikatif dalam meningkatkan keandalan dan keselamatan sistem proteksi motor [14], [15].

2.2. Lokasi dan Objek Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di PT Kilang Pertamina Internasional RU II, dengan fokus pada sistem proteksi motor induksi tiga fasa yang digunakan dalam proses operasional. Kajian difokuskan pada analisis kinerja dan keandalan sistem proteksi dalam menghadapi gangguan seperti arus lebih (*overcurrent*), beban lebih (*overload*), dan hubung singkat (*short circuit*). Komponen proteksi yang ditinjau meliputi MCCB, thermal overload relay, dan contactor sebagai elemen utama pengamanan motor. Selain itu, penelitian ini juga mengevaluasi kesesuaian spesifikasi teknis peralatan dengan kondisi operasi aktual di lapangan berdasarkan data dokumen teknis dan hasil pengamatan, sehingga dapat diketahui tingkat efektivitas sistem proteksi serta potensi perbaikan untuk meningkatkan keandalan dan keselamatan sistem.

Objek penelitian adalah motor induksi tiga fasa dengan *tag number* 301-ON-P3 yang digunakan sebagai penggerak pompa seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Sistem proteksi yang dianalisis meliputi peralatan utama seperti *molded case circuit breaker* (MCCB), *thermal overload relay* (TOR), *contactor*, serta kabel daya yang terhubung pada motor tersebut. Pemilihan objek penelitian didasarkan pada peran penting motor dalam mendukung kontinuitas proses industri serta kebutuhan evaluasi kesesuaian sistem proteksi terhadap kondisi operasi aktual di lapangan.



Gambar 1. Motor Induksi Tiga Fasa *Tag Number* 301-ON-P3

2.3. Parameter dan Data Teknis

Data yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari dokumen teknis serta hasil pengamatan di PT Kilang Pertamina Internasional RU II Dumai. Data yang dikumpulkan meliputi spesifikasi motor induksi tiga fasa, data kabel, serta data peralatan proteksi yang terdiri dari MCCB, thermal overload relay, dan contactor seperti ditunjukkan pada Tabel 1. Setiap komponen memiliki peran penting dalam menjaga keandalan dan keselamatan sistem, sehingga diperlukan analisis terhadap kesesuaian spesifikasi teknis dan kondisi operasi aktual. Data tersebut kemudian disusun dalam bentuk parameter teknis untuk mempermudah proses evaluasi sistem proteksi.

Tabel 1. Data Teknis Motor Induksi Tiga Fasa

No	Parameter	Keterangan
1	<i>Tag Number</i>	301-ON-P3
2	Jenis Motor	Motor Induksi Tiga Fasa
3	Merek Motor	MEIDENSHA
4	Fungsi	<i>Cooling Water Circulation Pump</i>
5	Daya Motor	22 kW
6	Tegangan Nominal	380 V
7	Arus Nominal (FLA)	39 A
8	Kecepatan Putar	2970 rpm
9	Frekuensi	50 Hz
10	Faktor Daya ($\cos\phi$)	0,80

Data pada Tabel 1 menunjukkan spesifikasi teknis motor induksi tiga fasa yang digunakan sebagai objek penelitian. Parameter tersebut meliputi daya motor, tegangan kerja, arus nominal, faktor daya, serta kecepatan putar yang secara keseluruhan menggambarkan karakteristik operasi motor. Data ini digunakan sebagai dasar dalam perhitungan arus motor, analisis beban, serta evaluasi kesesuaian sistem kabel dan

peralatan proteksi. Dengan adanya data teknis tersebut, proses analisis dapat dilakukan secara lebih akurat dan sesuai dengan kondisi operasi aktual di lapangan.

Tabel 2. Data Teknis Kabel

No	Parameter	Keterangan
1	Jenis Kabel	NYFGbY
2	Jumlah Inti	4 inti
3	Luas Penampang Kabel	50 mm ²
4	Bahan Konduktor	Tembaga (Cu)
5	Jenis Isolasi	PVC
6	Metode Pemasangan	Di dalam tanah
7	Tegangan Kerja Kabel	380 V
8	Panjang Kabel	500 m
9	Standar Acuan Kabel	SPLN 43-2

Data pada Tabel 2 menunjukkan spesifikasi teknis kabel yang digunakan pada sistem motor induksi tiga fasa. Parameter yang ditampilkan meliputi jenis kabel, jumlah inti, luas penampang, bahan konduktor, jenis isolasi, metode pemasangan, tegangan kerja, serta panjang kabel yang digunakan pada instalasi. Data tersebut digunakan sebagai dasar dalam menentukan kemampuan hantar arus (*ampacity*) kabel serta mengevaluasi kesesuaiannya terhadap arus kerja motor. Selain itu, parameter seperti metode pemasangan dan standar acuan juga berpengaruh terhadap nilai kemampuan hantar arus, sehingga analisis dapat dilakukan secara lebih akurat sesuai kondisi operasi aktual di lapangan.

Tabel 3. Data Teknis MCCB

No	Parameter	Keterangan
1	Jenis Peralatan	<i>Molded Case Circuit Breaker (MCCB)</i>
2	Mekanisme Operasi	<i>Rotary Handle</i>
3	<i>Auxiliary Contact</i>	1 NO (<i>Normally Open</i>)
4	Jumlah Pole	3 Pole (3P)
5	Arus Nominal	50 A
6	Tegangan Kerja	415 VAC
7	Frekuensi	50 Hz
8	Kapasitas Pemutusan	≥ 36 kA

Data pada Tabel 3 menunjukkan spesifikasi teknis MCCB yang digunakan sebagai perangkat proteksi utama pada motor induksi tiga fasa. Parameter yang ditampilkan meliputi jenis peralatan, arus nominal, tegangan kerja, jumlah pole, serta kapasitas pemutusan yang berperan dalam melindungi sistem dari gangguan arus lebih dan hubung singkat. Data tersebut digunakan sebagai dasar dalam mengevaluasi kesesuaian rating MCCB terhadap arus kerja motor serta memastikan kemampuan proteksi dalam kondisi operasi normal maupun saat terjadi gangguan.

Tabel 4. Data Teknis TOR

No	Parameter	Keterangan
1	Metode Proteksi	Termal (pemanasan bimetal)
2	Metode Pemasangan	<i>Mounting ke contactor</i>
3	Metode <i>Starting</i>	<i>Direct On Line (DOL)</i>
4	Standar Acuan	IEC 60947-4-1
5	Rentang Arus Setting	37 – 50 A
6	Kelas Trip	Class 10

Data pada Tabel 4 menunjukkan spesifikasi teknis *thermal overload relay* (TOR) yang digunakan sebagai proteksi beban lebih pada motor induksi tiga fasa. Parameter yang ditampilkan meliputi metode proteksi, rentang arus setting, kelas trip, serta standar acuan yang menjadi dasar dalam pengoperasian TOR.

Data tersebut digunakan untuk mengevaluasi kesesuaian setting arus terhadap arus nominal motor agar proteksi dapat bekerja secara tepat saat terjadi kondisi beban lebih (*overload*). Selain itu, pengaturan TOR yang sesuai juga berperan penting dalam mencegah terjadinya trip yang tidak diperlukan pada kondisi operasi normal, sekaligus memastikan perlindungan terhadap pemanasan berlebih pada motor. Dengan demikian, analisis parameter TOR menjadi bagian penting dalam menjaga keandalan dan keselamatan sistem motor induksi tiga fasa.

Tabel 5. Data Teknis *Contact*or

No	Parameter	Keterangan
1	Jenis Peralatan	Magnetic <i>Contact</i> or
2	Jumlah Kutub	3 Pole (3P)
3	Kategori Pemakaian	AC-3
4	Arus Nominal	≥ 50 A
5	Tegangan Kerja	400 VAC
6	Daya Motor	22 kW
7	Tegangan Coil	220–240 VAC
8	Standar Acuan	IEC 60947-4-1

Data pada Tabel 5 menunjukkan spesifikasi teknis *contact*or yang digunakan sebagai penghubung dan pemutus rangkaian daya pada motor induksi tiga fasa. Parameter yang ditampilkan meliputi arus nominal, tegangan kerja, kategori pemakaian, serta spesifikasi coil dan standar acuan yang menentukan kemampuan *contact*or dalam mengoperasikan motor. Data tersebut digunakan untuk mengevaluasi kesesuaian kapasitas *contact*or terhadap arus kerja motor serta memastikan bahwa *contact*or mampu bekerja secara aman sesuai dengan karakteristik beban dan metode starting yang digunakan.

2.4. Parameter dan Persamaan Analisis Sistem

Analisis dalam penelitian ini dilakukan menggunakan beberapa parameter utama yang berkaitan dengan sistem kabel dan sistem proteksi motor induksi tiga fasa. Parameter yang dianalisis meliputi arus motor, kemampuan hantar arus kabel (*ampacity*), margin termal kabel, arus starting motor, serta kesesuaian peralatan proteksi seperti MCCB, *thermal overload relay* (TOR), dan *contact*or. Parameter analisis dalam penelitian ini meliputi arus motor, kemampuan hantar arus kabel (*ampacity*), margin termal kabel, arus starting motor, serta kesesuaian peralatan proteksi seperti MCCB, *thermal overload relay* (TOR), dan *contact*or. Perhitungan parameter dilakukan berdasarkan data teknis serta mengacu pada standar instalasi listrik dan referensi teknis yang relevan.

Arus motor induksi tiga fasa digunakan sebagai dasar dalam analisis sistem dan dihitung berdasarkan daya dan tegangan kerja motor. Secara matematis, arus motor dinyatakan pada Persamaan (1).

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos \phi}$$

dengan I adalah arus motor (A), P adalah daya motor (W), V adalah tegangan (V), dan $\cos \phi$ adalah faktor daya.

Kemampuan hantar arus kabel (*ampacity*) ditentukan berdasarkan arus beban penuh motor (*Full Load Ampere* / FLA) dengan mempertimbangkan faktor keamanan instalasi. Hubungan tersebut dinyatakan pada Persamaan (2).

$$I_{KHA} = 1,25 \cdot I_{FLA}$$

di mana I_{KHA} adalah arus desain kabel (A) dan I_{FLA} adalah arus nominal motor (A).

Nilai ampacity kabel selanjutnya ditentukan berdasarkan standar SPLN 43-2 sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Ampacity Kabel NYFGbY Berdasarkan SPLN 43-2

Conductor			Insulation	Inductance	Current-Carrying Capacity at 30°C		Short Circuit Current at 1 Sec
Nom. Cross Sect.	DC Resistance at 20°C	AC Resistance at 70°C	Insulation Resistance at 20°C		In air	In ground	
(mm ²)	Max. (Ω/km)	Max. (Ω/km)	Min. (Ω/km)		Max (A)	Max (A)	Max (kA)
16	1.15	1.376	40	0.255	80	89	1.84
25	0.727	0.870	40	0.255	105	116	2.88
35	0.524	0.627	40	0.246	130	138	4.03
50	0.387	0.464	30	0.247	160	165	5.75
70	0.268	0.321	30	0.238	200	205	8.05
95	0.193	0.232	30	0.238	245	245	10.93
120	0.153	0.184	30	0.233	285	280	13.80
150	0.124	0.150	20	0.233	325	315	17.25
185	0.0991	0.121	20	0.233	370	355	21.28
240	0.0754	0.093	20	0.232	435	415	27.60
300	0.0601	0.075	20	0.231	500	465	34.50
400	0.0470	0.060	20	0.229	600	535	41.20

Nilai pada tabel tersebut digunakan sebagai acuan dalam menentukan kesesuaian kapasitas kabel terhadap arus kerja motor.

Selanjutnya, margin termal dan tingkat pemanfaatan kabel digunakan untuk mengevaluasi tingkat keamanan operasi kabel. Hubungan tersebut dinyatakan pada Persamaan (3), Persamaan (4), dan Persamaan (5).

$$MT = \frac{I_{ampacity}}{I_{KHA}}$$

$$U = \frac{I_{KHA}}{I_{ampacity}} \times 100\%$$

$$MT(\%) = 100\% - U$$

dengan $I_{ampacity}$ adalah kemampuan hantar arus kabel berdasarkan tabel (A), I_{KHA} adalah arus desain kabel (A), dan U adalah tingkat pemanfaatan kabel (%).

Motor induksi tiga fasa memiliki arus starting (*inrush current*) yang lebih besar dibandingkan arus nominal. Berdasarkan karakteristik motor induksi dan standar praktik industri (IEC 60034), arus starting pada metode *Direct On Line* (DOL) umumnya berkisar antara 5 hingga 7 kali arus nominal motor. Hubungan tersebut dinyatakan pada Persamaan (6).

$$I_{start} = k \cdot I_{FLA}$$

dengan I_{start} adalah arus starting (A), I_{FLA} adalah arus nominal motor (A), dan k adalah faktor pengali (5–7).

Penentuan rating MCCB dilakukan dengan mempertimbangkan arus nominal motor agar proteksi tidak mudah trip pada kondisi normal. Hubungan tersebut dinyatakan pada Persamaan (7).

$$I_{CB} = 1,15 \cdot I_{FLA}$$

dengan syarat koordinasi proteksi:

$$I_{CB} \leq I_{ampacity}$$

Selanjutnya, setting *thermal overload relay* (TOR) ditentukan berdasarkan arus beban penuh motor agar proteksi bekerja sesuai karakteristik pemanasan motor. Hubungan tersebut dinyatakan pada Persamaan (9).

$$I_{TOR} = k \cdot I_{FLA} (k = 1,0 - 1,05)$$

Evaluasi *contactor* dilakukan berdasarkan kesesuaian arus nominal terhadap arus motor. Hubungan tersebut dinyatakan pada Persamaan (10), Persamaan (11), dan Persamaan (12).

$$I_{Contactor} \geq I_{FLA}$$

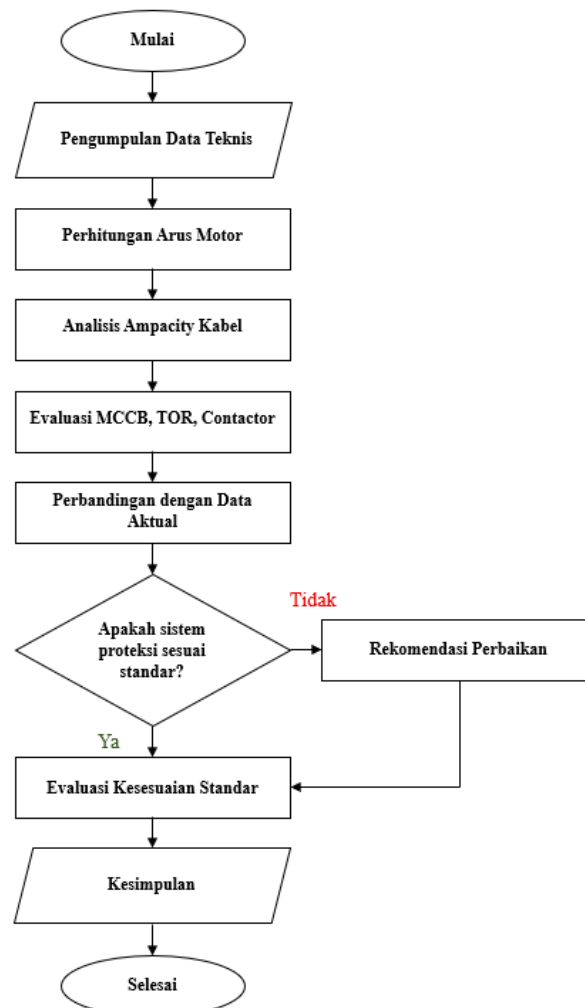
$$U_{Contactor} = \frac{I_{FLA}}{I_{Contactor}}$$

$$Margin = \frac{I_{Contactor} - I_{FLA}}{I_{FLA}} \times 100\%$$

Seluruh parameter dan persamaan tersebut digunakan sebagai dasar dalam melakukan analisis kesesuaian sistem kabel dan sistem proteksi motor induksi tiga fasa terhadap kondisi operasi aktual di lapangan.

2.5. Diagram Alir Penelitian

Untuk memperjelas tahapan penelitian yang dilakukan, alur penelitian disusun dalam bentuk diagram alir (*flowchart*) yang menggambarkan proses analisis secara sistematis mulai dari pengumpulan data hingga penarikan kesimpulan.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian pada Gambar 2 menunjukkan tahapan analisis yang dimulai dari proses pengumpulan data teknis, yang meliputi data motor, kabel, serta peralatan proteksi. Selanjutnya dilakukan perhitungan arus motor sebagai dasar dalam analisis sistem, diikuti dengan evaluasi kemampuan hantar arus kabel (*ampacity*) serta analisis kesesuaian peralatan proteksi seperti MCCB, TOR, dan *contactor*.

Hasil perhitungan kemudian dibandingkan dengan kondisi operasi aktual di lapangan untuk mengidentifikasi adanya deviasi antara kondisi teoritis dan kondisi nyata. Berdasarkan hasil perbandingan tersebut, dilakukan evaluasi kesesuaian sistem proteksi terhadap standar instalasi listrik yang berlaku. Apabila sistem proteksi belum memenuhi standar, maka dilakukan rekomendasi perbaikan. Sebaliknya, apabila sistem telah sesuai, maka dilanjutkan ke tahap evaluasi akhir dan penarikan kesimpulan mengenai tingkat keandalan sistem proteksi motor induksi tiga fasa.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini disajikan hasil perhitungan dan analisis terhadap sistem kabel dan sistem proteksi motor induksi tiga fasa berdasarkan data teknis dan kondisi operasi aktual di lapangan. Analisis dilakukan menggunakan parameter dan persamaan yang telah dijelaskan pada Bab II, meliputi arus motor, kemampuan hantar arus kabel (*ampacity*), serta kesesuaian peralatan proteksi seperti MCCB, *thermal overload relay* (TOR), dan *contactor*.

Hasil perhitungan selanjutnya dibandingkan dengan spesifikasi peralatan yang digunakan untuk mengevaluasi tingkat kesesuaian sistem terhadap standar instalasi listrik. Evaluasi ini bertujuan untuk mengetahui apakah sistem yang digunakan telah memenuhi aspek keandalan dan keselamatan operasi, serta mengidentifikasi potensi ketidaksesuaian yang dapat memengaruhi kinerja sistem.

3.1. Analisis Kemampuan Hantar Arus Kabel (*Ampacity*)

Analisis dilakukan untuk mengevaluasi kesesuaian kabel terhadap arus kerja motor berdasarkan parameter arus teoritis, arus desain, serta kemampuan hantar arus kabel (*ampacity*).

Arus motor secara teoritis dihitung menggunakan Persamaan (1) berdasarkan daya, tegangan, dan faktor daya motor, sehingga diperoleh:

$$I_{teori} = \frac{22000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,80} = 41,78 \text{ A}$$

Selanjutnya, selisih antara arus teoritis dan arus nominal nameplate dihitung untuk mengetahui tingkat deviasi:

$$\Delta I = \left| \frac{41,78 - 39}{39} \right| \times 100\% = 7,13\%$$

Deviasi arus yang diperoleh dari hasil analisis adalah sebesar:

$$\Delta I = 7,13\%$$

Berdasarkan standar IEC 60034-1, motor induksi tiga fasa masih dapat beroperasi secara normal pada variasi tegangan hingga

$$\Delta V = \pm 10\%$$

Secara teoritis, arus motor induksi dipengaruhi oleh tegangan suplai, daya, dan faktor daya, yang dapat dinyatakan sebagai:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos \phi}$$

Dari persamaan tersebut, terlihat bahwa arus berbanding terbalik terhadap tegangan, dengan asumsi daya dan faktor daya relatif konstan. Oleh karena itu, perubahan relatif arus dapat didekati berada dalam orde yang sebanding dengan perubahan tegangan, yaitu:

$$\frac{\Delta I}{I} \sim \frac{\Delta V}{V}$$

Jika variasi tegangan maksimum adalah:

$$\left| \frac{\Delta V}{V} \right| = 10\%$$

maka perubahan arus berada pada orde yang sama, yaitu:

$$\left| \frac{\Delta I}{I} \right| \approx 10\%$$

Hasil analisis menunjukkan bahwa:

$$\left| \frac{\Delta I}{I} \right| = 7,13\% < 10\%$$

Dengan demikian, deviasi arus yang terjadi masih berada dalam rentang yang diizinkan dan tidak melebihi batas variasi tegangan yang diperbolehkan berdasarkan standar IEC 60034-1. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi operasi motor masih dalam batas aman, meskipun terdapat variasi antara kondisi teoritis dan kondisi aktual di lapangan. Selanjutnya penentuan arus desain kabel didasarkan pada arus nominal motor (FLA), yaitu sebesar:

$$I_{desain} = I_{FLA} = 39 \text{ A}$$

Kemudian, kemampuan hantar arus kabel (*ampacity*) ditentukan dengan faktor keamanan sebesar 125% dari arus nominal motor:

$$I_{KHA} = 1,25 \times 39 = 48,75 \text{ A}$$

Dengan demikian, kabel yang digunakan harus memiliki kemampuan hantar arus minimal sebesar 48,75 A agar aman dalam operasi kontinu. Kriteria pemilihan kabel dinyatakan sebagai:

$$I_{ampacity} \geq I_{KHA}$$

Untuk mengevaluasi tingkat keamanan kabel, dilakukan perhitungan margin termal dan tingkat pemanfaatan kabel berdasarkan Persamaan (3), (4), dan (5). Sebagai contoh, untuk kabel NYFGbY dengan luas penampang 16 mm² diperoleh:

$$MT = \frac{89}{48,75} = 1,83$$

$$U = \frac{48,75}{89} \times 100\% = 54,78\%$$

$$MT(\%) = 100\% - 54,78\% = 45,22\%$$

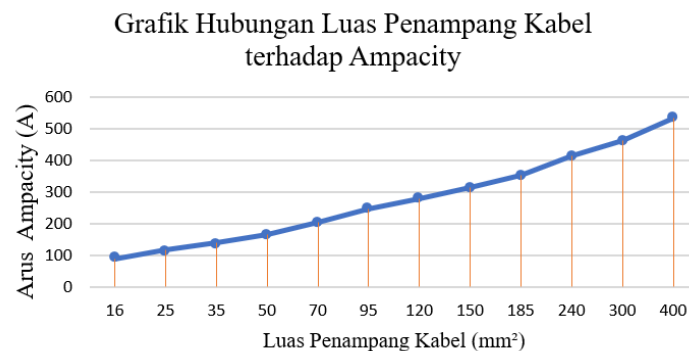
Perhitungan yang sama dilakukan untuk berbagai variasi luas penampang kabel NYFGbY lainnya berdasarkan tabel ampacity SPLN 43-2 pada kondisi pemasangan di dalam tanah. Hasil lengkap perhitungan margin termal dan tingkat pemanfaatan kabel disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Perhitungan Margin Termal dan Tingkat Pemanfaatan Kabel NYFGbY pada Kondisi Pemasangan di Dalam Tanah

Luas Penampang mm ²	Ampacity (A)	Margin Termal (rasio)	Pemanfaatan (%)	Margin Termal (%)
16	89	1,83	54,78	45,22
25	116	2,38	42,03	57,97
35	138	2,83	35,33	64,67
50	165	3,38	29,55	70,45
70	205	4,21	23,78	76,22
95	245	5,03	19,90	80,10
120	280	5,74	17,41	82,59
150	315	6,46	15,48	84,52
185	355	7,28	13,73	86,27
240	415	8,51	11,75	88,25
300	465	9,54	10,48	89,52
400	535	10,97	9,11	90,89

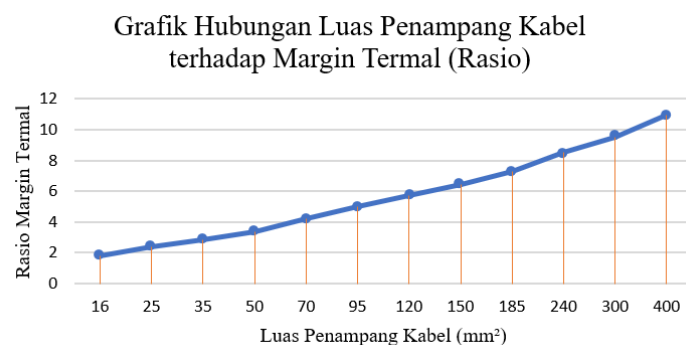
Berdasarkan data lapangan, kabel yang digunakan adalah NYFGbY dengan luas penampang 50 mm². Nilai ampacity kabel tersebut sebesar 165 A, sehingga jauh lebih besar dibandingkan kebutuhan arus desain sebesar 48,75 A. Hal ini menunjukkan bahwa kabel yang digunakan memiliki margin termal yang besar dan bekerja dalam kondisi aman.

Untuk memperjelas hubungan antara luas penampang kabel terhadap parameter analisis, hasil perhitungan juga disajikan dalam bentuk grafik. Hubungan antara luas penampang kabel terhadap nilai ampacity ditunjukkan pada Gambar 3. Grafik tersebut menunjukkan bahwa semakin besar luas penampang kabel, maka kemampuan hantar arus (*ampacity*) juga meningkat secara signifikan. Hal ini sesuai dengan karakteristik konduktor, di mana luas penampang yang lebih besar mampu menghantarkan arus lebih besar dengan rugi-rugi yang lebih kecil.



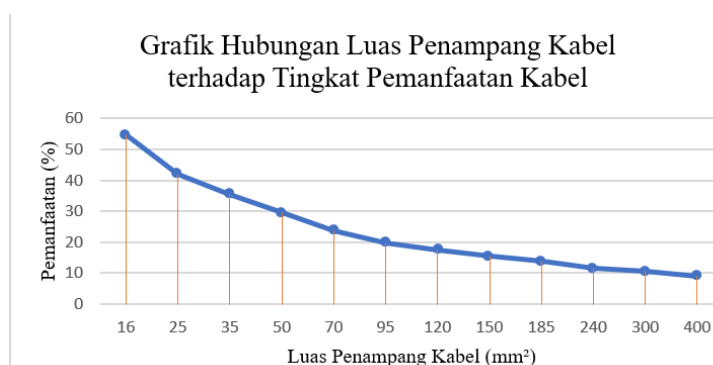
Gambar 3. Hubungan Luas Penampang Kabel terhadap Arus *Ampacity*

Selanjutnya, hubungan antara luas penampang kabel terhadap rasio margin termal ditunjukkan pada Gambar 4. Grafik menunjukkan bahwa nilai margin termal meningkat seiring bertambahnya luas penampang kabel. Hal ini menunjukkan bahwa kabel dengan ukuran lebih besar memiliki cadangan kemampuan arus yang lebih tinggi dibandingkan kebutuhan arus desain.



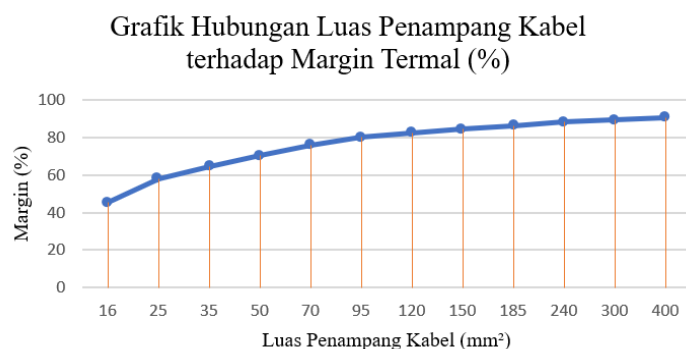
Gambar 4. Hubungan Luas Penampang Kabel terhadap Rasio Margin Termal

Hubungan antara luas penampang kabel terhadap tingkat pemanfaatan ditunjukkan pada Gambar 5. Grafik menunjukkan bahwa semakin besar luas penampang kabel, maka tingkat pemanfaatan kabel semakin kecil. Hal ini berarti kabel bekerja semakin ringan dibandingkan kapasitas maksimumnya.



Gambar 5. Hubungan Luas Penampang Kabel terhadap Tingkat Pemanfaatan Kabel

Sementara itu, hubungan antara luas penampang kabel terhadap persentase margin termal ditunjukkan pada Gambar 6. Grafik menunjukkan bahwa nilai margin termal dalam persen meningkat seiring bertambahnya luas penampang kabel. Hal ini menandakan bahwa tingkat keamanan operasi kabel semakin tinggi pada ukuran penampang yang lebih besar.



Gambar 6. Hubungan Luas Penampang Kabel terhadap Persentase Margin Termal

3.2. Analisis Kesesuaian Luas Penampang Kabel

Berdasarkan hasil perhitungan sebelumnya, diperoleh arus desain kabel sebesar 48,75 A. Mengacu pada tabel ampacity kabel NYFGbY berdasarkan SPLN 43-2, secara teoritis kabel dengan luas penampang 16 mm² telah memenuhi kemampuan hantar arus minimum yang dibutuhkan. Namun, pada kondisi operasi industri seperti kilang yang menuntut tingkat keandalan dan kontinuitas operasi yang tinggi, penggunaan kabel dengan luas penampang minimum tersebut memiliki margin termal yang relatif terbatas. Hal ini menyebabkan cadangan kapasitas arus menjadi kecil apabila terjadi fluktuasi beban atau kenaikan temperatur lingkungan.

Berdasarkan data aktual di lapangan, kabel daya yang digunakan pada motor induksi tiga fasa dengan *tag number* 301-ON-P3 adalah kabel NYFGbY dengan luas penampang 50 mm². Ukuran kabel tersebut memiliki kemampuan hantar arus yang jauh lebih besar dibandingkan arus beban motor, sehingga memberikan margin termal yang tinggi dan mampu mengakomodasi kondisi operasi yang dinamis, seperti perubahan beban dan pengaruh temperatur lingkungan.

Selain aspek teknis, dilakukan juga analisis dari sisi ekonomi untuk membandingkan biaya penggunaan kabel dengan luas penampang minimum dan kabel yang digunakan di lapangan. Berdasarkan data harga pasar kabel NYFGbY yang diperoleh dari platform perdagangan daring, harga kabel 4×16 mm² berkisar Rp252.400 per meter, sedangkan kabel 4×50 mm² sekitar Rp543.000 per meter. Dengan panjang instalasi 500 meter, maka perbandingan total biaya ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 8. Perbandingan Biaya Penggunaan Kabel NYFGbY

Luas Penampang Kabel	Harga (Rp/m)	Panjang Kabel (m)	Total Biaya (Rp)
16 mm ²	252.400	500	126.200.000
50 mm ²	543.000	500	271.500.000

Berdasarkan Tabel 7., penggunaan kabel 50 mm² menghasilkan total biaya sebesar Rp271.500.000, sedangkan penggunaan kabel 16 mm² hanya sebesar Rp126.200.000. Dengan demikian, terdapat selisih biaya sebesar Rp145.300.000 untuk panjang instalasi 500 meter.

Meskipun secara ekonomis penggunaan kabel dengan luas penampang 50 mm² memerlukan biaya yang lebih besar, kondisi ini masih dapat dianggap wajar dalam praktik instalasi listrik industri. Hal ini disebabkan oleh kebutuhan akan keandalan sistem, keselamatan operasi, serta kontinuitas proses produksi yang tinggi.

Dengan demikian, penggunaan kabel NYFGbY dengan luas penampang 50 mm² pada motor induksi tiga fasa *tag number* 301-ON-P3 dapat dinyatakan sesuai, karena tidak hanya memenuhi kebutuhan arus secara teknis, tetapi juga memberikan margin keamanan yang memadai terhadap kondisi operasi aktual di lapangan

3.2. Analisis Evaluasi Kesesuaian Peralatan Proteksi Motor

Evaluasi kesesuaian peralatan proteksi dilakukan terhadap *molded case circuit breaker* (MCCB), *thermal overload relay* (TOR), dan *contactor* untuk memastikan bahwa seluruh perangkat memiliki rating yang sesuai dengan arus kerja motor. Berdasarkan data nameplate, arus nominal motor (*Full Load Ampere* / FLA) sebesar 39 A digunakan sebagai dasar analisis.

Penentuan arus nominal MCCB dilakukan berdasarkan Persamaan (7), yaitu sebesar 115% dari arus nominal motor, sehingga diperoleh:

$$I_{CB} = 1,15 \times 39 = 44,85 \text{ A}$$

MCCB yang digunakan di lapangan memiliki rating sebesar 50 A. Jika dibandingkan dengan hasil perhitungan, maka diperoleh bahwa 50 A lebih besar dari 44,85 A, sehingga MCCB tidak akan mudah mengalami trip pada kondisi operasi normal. Selain itu, berdasarkan hasil analisis sebelumnya, kemampuan hantar arus kabel sebesar 165 A, sehingga:

$$50 \text{ A} \leq 165 \text{ A}$$

Kondisi ini menunjukkan bahwa MCCB akan bekerja terlebih dahulu sebelum kabel mengalami pemanasan berlebih, sehingga memenuhi prinsip koordinasi proteksi.

Selanjutnya, penentuan setting *thermal overload relay* (TOR) dilakukan berdasarkan Persamaan (9), yaitu sebesar 100% hingga 105% dari arus nominal motor, sehingga diperoleh:

$$I_{TOR} = (1,0 - 1,05) \times 39 = 39 - 40,95 \text{ A}$$

Berdasarkan data teknis, TOR yang digunakan memiliki rentang setting 37–50 A. Nilai ini menunjukkan bahwa setting TOR dapat disesuaikan dengan arus nominal motor, sehingga proteksi terhadap beban lebih dapat bekerja dengan baik tanpa menyebabkan trip yang tidak diperlukan pada kondisi normal.

Evaluasi terhadap *contactor* dilakukan dengan membandingkan arus nominal *contactor* terhadap arus motor berdasarkan Persamaan (10), sehingga diperoleh:

$$I_{Contactor} \geq I_{FLA}$$

Contactor yang digunakan memiliki arus nominal sebesar 50 A, sehingga:

$$50 \text{ A} > 39 \text{ A}$$

Selain itu, dilakukan perhitungan tingkat pemanfaatan *contactor* menggunakan Persamaan (11):

$$U_{Contactor} = \frac{39}{50} = 0,78 \text{ (78\%)}$$

Margin arus *contactor* dihitung menggunakan Persamaan (12):

$$\text{Margin} = \frac{50 - 39}{39} \times 100\% = 28,21\%$$

Hasil tersebut menunjukkan bahwa *contactor* memiliki cadangan kapasitas arus yang cukup untuk mengakomodasi beban motor. Selain itu, penggunaan *contactor* dengan kategori AC-3 juga sesuai untuk pengoperasian motor induksi tiga fasa dengan metode DOL.

Secara keseluruhan, hasil evaluasi menunjukkan bahwa MCCB, TOR, dan *contactor* yang digunakan pada sistem motor induksi tiga fasa *tag number* 301-ON-P3 telah memenuhi kriteria kesesuaian baik dari sisi perhitungan maupun kondisi aktual di lapangan. Dengan demikian, sistem proteksi yang digunakan dapat dinyatakan aman dan andal dalam mendukung operasi motor.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis terhadap sistem kabel dan sistem proteksi motor induksi tiga fasa pada motor dengan *tag number* 301-ON-P3, diperoleh bahwa arus motor hasil perhitungan sebesar 41,78 A memiliki selisih sebesar 7,13% terhadap arus nominal *nameplate* (39 A), yang masih berada dalam batas toleransi standar IEC 60034-1 sehingga dapat dianggap sesuai dengan karakteristik operasi motor.

Hasil analisis kemampuan hantar arus kabel menunjukkan bahwa secara teoritis kabel NYFGbY dengan luas penampang 16 mm² telah memenuhi kebutuhan arus desain sebesar 48,75 A. Namun, berdasarkan kondisi aktual di lapangan digunakan kabel NYFGbY 50 mm² yang memiliki *ampacity* jauh lebih besar, sehingga memberikan margin termal yang tinggi dan meningkatkan keandalan sistem dalam menghadapi fluktuasi beban serta kondisi lingkungan industri.

Evaluasi terhadap sistem proteksi menunjukkan bahwa MCCB dengan rating 50 A telah memenuhi kriteria minimum sebesar 44,85 A serta sesuai dengan prinsip koordinasi proteksi terhadap kabel. Selain itu, setting *thermal overload relay* (TOR) berada dalam rentang yang sesuai dengan arus nominal motor, dan *contactor* dengan kapasitas 50 A juga memenuhi kriteria kelayakan dengan tingkat pemanfaatan sebesar 78% serta margin arus sebesar 28,21%.

Secara keseluruhan, sistem kabel dan sistem proteksi yang digunakan pada motor induksi tiga fasa *tag number* 301-ON-P3 dapat dinyatakan telah sesuai baik dari sisi teknis maupun kondisi operasi aktual di lapangan, serta mampu menjamin keandalan dan keselamatan operasi sistem.

❖ DAFTAR PUSTAKA

- [1] V. Ardianto and Pujiyanto, “Sistem Proteksi Motor Induksi 3 Fasa Untuk Produce Water Disposal Di PT Pertamina Hulu Sanga – Sanga,” vol. 1, no. 2, pp. 7–12, 2023.
- [2] H. M. Yusdartono, F. Priyulida, M. Sukri, and H. Daulay, “Analisis Sistem Proteksi Motor (Overcurrent Relay Menggunakan Easergy P3U30) pada Rotary Dryer (VSD) 81-MM-362-A di PT PIM Lhokseumawe,” *J. Energi Elektr.*, 2024.
- [3] R. Ardiansyah *et al.*, “Jurnal Mekanik Terapan Analisis Sistem Proteksi pada Motor Circulating Water Pump PT . XYZ,” vol. 05, no. 02, pp. 71–76, 2024, doi: 10.32722/jmt.v5i2.6030.
- [4] U. Aditya, S. W. Simbolon, and M. Syahrudin, “Studi Tentang Sistem Proteksi Motor Induksi 3 Fasa di PT PLN Nusantara Power UPDK Belawan,” in *Konferensi Nasional Social dan Engineering Politeknik Negeri Medan*, Medan: Politeknik Negeri Medan, 2023, pp. 416–427.
- [5] A. Dahlan, M. S. Al Amin, P. Perawati, and Y. Irwansi, “Evaluasi Sistem Proteksi Motor Induksi 3 Fasa sebagai Mesin Bubut Program Studi Teknik Elektro Universitas PGRI Palembang , Indonesia proteksi yang handal agar motor tidak terjadi kerusakan atau gangguan pada saat pengoprasian ,” vol. 3, no. 3, 2024.
- [6] P. Widagdo and T. Atmojo, “Combination of Implementation of Antiphase and Overcurrent Relays for Protection of 0 . 75 kW Three- Phase Induction Motor in Industry,” vol. 16, no. 2, pp. 83–92, 2024.
- [7] U. P. Anggraini and D. Aribowo, “Motor Protection Circuit Breaker (MPCB) Sebagai Sistem Proteksi Motor Induksi 3 Phase Pada Mesin Wide Belt Sander SR-RP 1300 PT. Sejin Lestari Furniture,” vol. 1, no. 2, pp. 58–70, 2022.
- [8] S. Ramadhan, Z. Mubarak, R. A. Duyo, and Z. Zainuddin, “Pemilihan Pengaman yang digunakan pada Motor Listrik terhadap Proteksi berdasarkan Kapasitas Arus Normal,” vol. 2, no. 2, 2024.
- [9] M. A. Rahman, J. E. Poetroo, A. Trisna, and Nugraha, “Rancang Bangun Sistem Monitoring dan Proteksi Motor 1 Fasa terhadap Gangguan Over Voltage dan Under Voltage”.
- [10] R. Alfanz, R. A. Zhalifunnas, A. Umyati, L. Herlina, and R. Fahrizal, “Pengenalan dan Implementasi Sistem Proteksi Motor Induksi pada Industri Pembangkit Listrik di Kota Cilegon,” vol. 2, no. 1, pp.

30–41, 2024.

- [11] Darmawansyah, M. K. A. Rosa, and I. N. Anggraini, “Sistem Proteksi Motor Induksi 3 Fasa terhadap Berbagai Gangguan Menggunakan Mikrokontroler,” *J. Amplif.*, vol. 10, no. 1, pp. 9–17, 2020.
- [12] A. V. Yunitasari and S. Pramono, “Sistem Proteksi Over Current Relay Motor Forced Draft Fan pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap,” *J. Teknol.*, vol. 13, no. 1, 2021, doi: <https://dx.doi.org/10.24853/jurtek.13.1.55-62>.
- [13] A. Tukananto, Junaidi, and Hardiansyah, “Rancang Bangun Sistem Proteksi Arus Lebih Motor 3 Fasa dengan Timer Start dan Trip,” *Tek. Elektro Univ. Tanjungpura*, 2015.
- [14] C. P. Juwono, Joko, B. Suprianto, and Endryansyah, “Simulasi Sistem Proteksi Motor Induksi Tiga Fasa terhadap Gangguan Menggunakan Programmable Logic Controller (PLC) Omron CP1H Berbasis CX-Programmer 9.6,” *J. Tek. Elektro*, vol. 11, no. 3, pp. 409–415, 2022.
- [15] S. Trilestari, I. Budiawan, and Andriana, “Perancangan dan Implementasi Sistem Monitoring Kecepatan dan Proteksi Motor Induksi 3 Fasa Berbasis LabVIEW,” *Epsil. J. Electr. Eng. Inf. Technol.*, vol. 21, no. 2, pp. 81–94, 2023.