

Sistem Proteksi *Thermal Overload Relay* (TOR) pada Motor Induksi 3 Phasa sebagai Penghancur Batu Bara di PT. Mitrabara Adiperdana Tbk

Linda Sartika¹, Abdul Muis Prasetya², Mega Krisnawati³

[Submission: 28-11-2024, Accepted: 31-12-2024]

Abstract— During operation, the induction motor used as a coal crusher may experience excessive workload, leading to potential overheating and system trips that disrupt the production process. To mitigate such issues, a reliable system is required to limit or prevent operational disturbances. This research collected data on the induction motor protection system at PT Mitrabara Adiperdana Tbk, followed by calculations of relay settings, specifically Over Current (OC) settings, which were then compared with observed field data. The findings indicate a significant discrepancy between the Time Overcurrent Relay (TOR) settings observed in the field and the calculated TOR settings based on motor current performance data from January and February 2023. This discrepancy arises from the operational shift of the crusher motor, which initially functioned as the primary crusher and later served as a backup. As a primary crusher, the motor operated at higher power and current levels, reaching 35 A. However, after transitioning to a backup role, the motor's performance declined, with the current reducing to 9.9 A. Similarly, power output varied monthly, with the highest recorded in January at 9.91 kW, decreasing to 9.05 kW in February. These changes in motor performance, particularly reduced current and power, significantly influenced the calculated TOR settings.

Intisari— Motor induksi yang digunakan sebagai penggerak sistem penghancur batu bara sering kali bekerja secara berlebihan yang berpotensi menyebabkan kerusakan akibat panas berlebih. Kondisi ini dapat memicu trip pada sistem, sehingga mengganggu proses produksi. Oleh karena itu, diperlukan sistem proteksi yang andal untuk membatasi atau mencegah gangguan tersebut. Penelitian ini menggunakan metode pengumpulan data dari sistem proteksi motor induksi di PT Mitrabara Adiperdana Tbk, diikuti dengan perhitungan setelan relay proteksi, termasuk pengaturan *Over Current Relay* (OCR). Hasil perhitungan ini kemudian dibandingkan dengan pengaturan relay yang diterapkan di lapangan. Berdasarkan hasil penelitian, ditemukan bahwa pengaturan *Thermal Overload Relay* (TOR) di lapangan cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan hasil perhitungan matematis berdasarkan data arus kerja motor. Perbedaan ini dipengaruhi oleh perubahan peran mesin penghancur dari penghancur utama menjadi penghancur cadangan. Ketika mesin berfungsi sebagai penghancur utama, arus kerja motor mencapai 35 A. Namun, setelah beralih menjadi

penghancur cadangan, arus kerja turun secara signifikan menjadi 9,9 A. Selain itu, terlihat adanya variasi terhadap daya yang dihasilkan tiap bulannya. Pada Januari 2023, daya motor primer mencapai 9,91 kW, sementara pada Februari 2023 daya menurun menjadi 9,05 kW. Penurunan daya ini diikuti oleh penurunan arus motor, yang secara langsung memengaruhi perhitungan setelan TOR secara matematis.

Kata Kunci— Motor 3 Phasa; Proteksi; *Thermal Overload Relay*; 3 phase Motor; Protection; *Thermal Overload Relay*.

I. PENDAHULUAN

Motor induksi memiliki peran yang sangat penting dalam dunia perindustrian, terutama sebagai penunjang utama dalam proses produksi [1-3]. Salah satu aplikasi utama motor induksi terdapat pada industri pertambangan, misalnya dalam proses penghancuran batu bara dari ukuran sedang menjadi lebih kecil agar sesuai dengan kebutuhan produksi. Pada industri ini, pengoperasian motor induksi yang berkelanjutan sering kali menyebabkan risiko kerusakan, terutama akibat beban berlebih. Setiap motor induksi memiliki batas kapasitas tertentu, dan pelampauan beban ini dapat menimbulkan berbagai permasalahan teknis, seperti panas berlebih atau kerusakan mekanis, yang berpotensi menghambat proses produksi [4-7].

Di PT. Mitrabara Adiperdana Tbk, motor induksi digunakan untuk penghancuran batu bara yang berasal dari dumping truk. Beban kerja motor ini bersifat dinamis, tergantung pada jumlah dan karakteristik batu bara yang didumping, sehingga memengaruhi performa dan efisiensi motor secara signifikan. Oleh karena itu, sangat penting untuk memastikan motor induksi bekerja dalam kondisi aman dengan gangguan minimal. Salah satu solusi yang dapat diterapkan adalah sistem proteksi berbasis *Thermal Overload Relay* (TOR). TOR bekerja berdasarkan suhu, dengan mekanisme konversi arus listrik menjadi panas untuk memengaruhi bimetal, sehingga memutuskan aliran arus listrik saat beban melebihi batas aman. Waktu trip relay (TOR) bergantung pada pengaturan nilai arus dan besarnya beban yang diterima [8-10].

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas sistem proteksi *Thermal Overload Relay* (TOR) pada motor induksi tiga fasa yang digunakan sebagai penghancur batu bara di PT. Mitrabara Adiperdana Tbk. Sistem proteksi ini diharapkan dapat mencegah gangguan teknis akibat beban berlebih, sekaligus meningkatkan efisiensi dan kontinuitas operasional di perusahaan tersebut.

II. STUDI PUSTAKA

^{1,2}Dosen, Jurusan Teknik Elektro Universitas Borneo Tarakan, Jl. Amal Lama No.1, Tarakan, 77116, Indonesia. (telp: +62 85345357535; fax: 0551-2052558; e-mail: prasetya,electric@gmail.com)

³Mahasiswa, Jurusan Teknik Elektro Universitas Borneo Tarakan, Jl. Amal Lama No.1, Tarakan, 77116, Indonesia. (telp: +62 82255895846; e-mail: megakrisnawati2001@gmail.com)



Penelitian ini berawal dari perubahan fungsi unit penghancur CP03 di PT. Mitrabara Adiperdana Tbk. Sejak awal operasinya pada tahun 2011, CP03 berperan sebagai penghancur utama batu bara. Namun, mulai tahun 2016, peran tersebut bergeser menjadi penghancur cadangan (*backup*) setelah dioperasikannya fasilitas Coal Handling Facility (CHF). CP03 kini hanya digunakan saat CHF mengalami kondisi *shutdown* atau menjalani perawatan (*maintenance*).

Perubahan peran ini berdampak pada performa motor penghancur yang digunakan di CP03. Hal ini dapat dilihat dari data operasional, seperti arus dan daya yang menunjukkan penurunan signifikan selama operasional sebagai unit cadangan. Penyesuaian ini juga memengaruhi pengaturan Thermal Overload Relay (TOR) pada CP03, di mana nilai pengaturan arus (*current setting*) harus diubah agar sesuai dengan kondisi operasi baru sebagai penghancur cadangan. Penyesuaian pengaturan TOR bertujuan untuk melindungi motor dari risiko kerusakan akibat arus lebih (*overcurrent*) atau hubungan singkat (*short circuit*), sehingga memastikan motor tetap berfungsi optimal dalam perannya yang baru. Unit penghancur CP03 di PT. Mitrabara Adiperdana Tbk ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1: Unit Penghancur CP03 di PT. Mitrabara Adiperdana Tbk

A. Motor Induksi

Motor induksi merupakan salah satu jenis motor arus bolak-balik (AC) yang paling banyak digunakan dalam berbagai aplikasi industri karena memiliki konstruksi yang kokoh, biaya relatif rendah, dan kemudahan dalam pengaturan kecepatan putaran. Motor ini bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik, di mana arus pada rotor tidak diperoleh langsung dari sumber listrik eksternal, melainkan dihasilkan melalui induksi akibat perubahan relatif antara putaran rotor dan medan putar yang dihasilkan oleh arus pada stator [11-14].

Perbedaan kecepatan putaran antara medan putar stator dan rotor dikenal sebagai slip. Ketika beban motor bertambah, torsi (kopel) motor meningkat, yang menyebabkan arus induksi pada rotor juga bertambah. Peningkatan arus ini secara langsung berkontribusi pada kenaikan nilai slip. Dengan demikian, slip memainkan peran penting dalam menentukan performa motor induksi, terutama dalam kondisi perubahan beban [15-18].

Pada penghancur PT. Mitrabara Adiperdana Tbk *site* Muara Bengalun CP03 memiliki spesifikasi motor yang sama yang digunakan pada penghancur sekunder dan penghancur primer. Pada *Name plate* motor induksi 3 fasa menunjukkan spesifikasi dari motor tersebut yang ditampilkan pada Tabel I.

TABEL I
SPESIFIKASI MOTOR PENGHANCUR CP03

Parameter	Tegangan (V)	Arus (I)	Daya (kW)	Frekuensi (Hz)	Kecepatan (rpm)
Motor 3 Sekunder A	380-400	41	22	50	50
Motor 4 Sekunder B	380-400	41	22	50	50
Motor 7 Primer A	380-400	41	22	50	50
Motor 8 Primer B	380-400	41	22	50	50

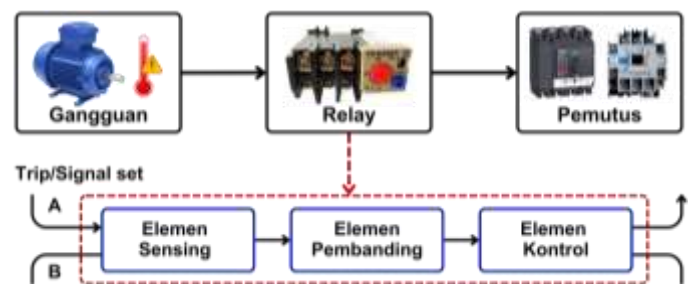
Spesifikasi motor 3 fase yang digunakan berdasarkan Tabel I dapat diketahui bahwa motor beroperasi pada frekuensi 50 Hz pada tegangan 380 V dan arus maksimal motor 41 A hubung delta. Dengan spesifikasi tersebut motor dapat menghasilkan daya maksimum 22 kW dengan torsi sebesar 1465 Nm.

B. Sistem Proteksi

Sistem proteksi dirancang untuk melindungi peralatan listrik yang terpasang pada sistem tenaga, termasuk motor induksi, dari berbagai kondisi abnormal yang dapat merusak peralatan atau mengganggu operasional sistem secara keseluruhan. Kondisi abnormal tersebut mencakup beberapa jenis gangguan, seperti hubungan singkat (*short circuit*), arus lebih (*overcurrent*), tegangan lebih (*overvoltage*), beban lebih (*overload*), dan frekuensi sistem yang rendah (*underfrequency*) [19-22].

Setiap kondisi abnormal memerlukan pendekatan proteksi yang sesuai untuk memastikan keandalan sistem tenaga. Misalnya, hubungan singkat dapat menyebabkan lonjakan arus yang signifikan, sehingga memerlukan perangkat proteksi seperti pemutus sirkuit (*circuit breaker*) atau relai arus lebih (*overcurrent relay*). Sementara itu, beban lebih pada motor induksi dapat mengakibatkan peningkatan suhu yang berlebihan, sehingga diperlukan proteksi berbasis suhu seperti Thermal Overload Relay (TOR). Tujuan pemasangan sistem proteksi pada motor induksi adalah sebagai berikut:

1. Untuk menghindari ataupun untuk mengurangi kerusakan peralatan-peralatan akibat gangguan (kondisi abnormal operasi sistem).
2. Untuk melokalisir luas daerah terganggu menjadi seminimal mungkin dan cepat.
3. Mengamankan manusia dari bahaya yang ditimbulkan dari sengatan listrik.



Gambar 2: Diagram Sistem Proteksi terhadap Gangguan

Diagram sistem proteksi motor induksi 3 phasa ditampilkan pada Gambar 2. Berdasarkan ilustrasi tersebut, ketika terjadi gangguan berupa peningkatan suhu berlebih relay akan mendeteksi kondisi tersebut sebagai suatu gangguan. Proses pada relay diawali dengan elemen sensor yang mendeteksi parameter listrik pada motor yang selanjutnya diteruskan ke elemen pembanding. Elemen pembanding bertugas membandingkan nilai parameter yang terdeteksi dengan nilai ambang batas yang telah ditetapkan. Apabila nilai tersebut melebihi ambang batas, maka elemen pembanding akan mengirimkan sinyal ke elemen kontrol. Elemen kontrol kemudian memproses sinyal tersebut dan memutuskan apakah sinyal trip perlu dikirim ke perangkat pemutus. Jika sinyal trip dikirimkan, maka perangkat pemutus akan secara otomatis menghentikan aliran listrik ke motor guna melindungi sistem dari potensi kerusakan lebih lanjut akibat gangguan.

1. Thermal Overload Relay (TOR)

Pengamanan pada instalasi motor listrik merupakan elemen krusial yang bertujuan untuk menjaga dan melindungi motor dari berbagai gangguan, sehingga mencegah terjadinya kerusakan yang bersifat fatal. Salah satu perangkat proteksi yang umum digunakan adalah TOR, yaitu komponen *switching* yang sensitif terhadap suhu. TOR bekerja dengan membuka atau menutup kontaktor ketika suhu melebihi ambang batas yang telah ditentukan [5-6]. TOR ditampilkan pada Gambar 3.



Gambar 3: TOR Mitsubishi TH-N20KP

Prinsip kerja TOR didasarkan pada panas yang dihasilkan oleh arus listrik yang mengalir melalui elemen pemanas bimetalik. Elemen bimetalik ini memiliki sifat lentur, di mana ketika terpapar panas, bimetal akan melengkung akibat perbedaan koefisien muai termal dari materialnya. Kelengkungan tersebut kemudian menggerakkan mekanisme kontak yang secara otomatis memutus aliran listrik ke motor untuk mencegah kerusakan akibat arus lebih atau beban berlebih. Adapun faktor yang mempengaruhi terjadinya suhu berlebih pada motor induksi 3 phasa adalah sebagai berikut:

- Tegangan input motor listrik kurang dari tegangan nominalnya.
- Faktor daya motor listrik yang buruk.
- Beban yang diangkat oleh motor listrik berat.

Setting Trip Overload adalah pengaturan pada sistem proteksi motor listrik untuk membatasi arus yang mengalir melalui motor dalam kondisi beban yang berlebih atau terlalu lama [1]. Untuk mencegah terjadinya kerusakan pada motor dapat dilakukan dengan membatasi arus dengan menggunakan persamaan (1).

$$Setting\ Overload\ Relay = I \times 110\% \quad (1)$$

Linda Sartika: Sistem Proteksi Thermal Overload Relay ...

Kuat arus listrik, dilambangkan dengan I , diukur dalam satuan ampere (A) dan dapat dinyatakan pula dalam satuan coulomb (C). Satu ampere setara dengan satu coulomb per detik, di mana satu coulomb sama dengan $6,2 \times 10^{18}$ elektron yang mengalir setiap detik. Untuk arus dengan nilai yang lebih kecil, digunakan satuan miliampere (mA), di mana satu miliampere setara dengan 0,001 ampere.

Dalam sistem proteksi motor listrik, pengaturan nilai arus pada relay beban lebih TOR mengacu pada arus nominal motor dengan faktor koreksi tertentu. Pada umumnya, nilai arus proteksi disetel pada kisaran 110%-120% dari arus nominal motor tergantung pada spesifikasi dan kebutuhan operasional. Faktor 110% merupakan konstanta umum yang digunakan untuk menyetel arus pada TOR yang dirancang untuk melindungi motor dari kerusakan akibat arus lebih.

Di PT. Mitrabara Adiperdana Tbk, jenis TOR yang digunakan adalah Mitsubishi TH-N20KP. Pemilihan jenis ini didasarkan pada hasil pengamatan langsung di lokasi, dengan mempertimbangkan spesifikasi teknis dan kompatibilitasnya dengan sistem motor yang digunakan. Spesifikasi dan pengaturan TOR ditampilkan pada Tabel II. Berdasarkan tabel tersebut untuk motor induksi pada penghancur sekunder menggunakan TOR dengan batasan maksimal arus yaitu 29 A, lalu untuk membatasi arus pada motor induksi penghancur sekunder di atur pada nilai 24 A. Pada penghancur primer menggunakan TOR dengan batasan maksimal arus yaitu 42 A, dan di atur pada nilai 35 A untuk membatasi arus pada motor induksinya.

TABEL II
 SPESIFIKASI DAN PENGATURAN THERMAL OVERLOAD RELAY (TOR)

Unit	TOR	
	Batas maksimal TOR (A)	Setting TOR (A) dilapangan
Motor 3 sekunder A	29	24
Motor 4 sekunder B	29	24
Motor 7 primer A	42	35
Motor 8 primer B	42	35

2. Moulded Case Circuit Breaker (MCCB)

Circuit Breaker (CB) adalah perangkat proteksi yang berfungsi sebagai pemutus arus dalam kondisi abnormal, seperti beban lebih (*overload*) atau hubungan singkat (*short circuit*). Salah satu jenis CB yang umum digunakan adalah MCCB yang dirancang untuk memberikan perlindungan otomatis terhadap arus lebih dan hubung singkat, dengan kemampuan pemutusan yang dapat diatur sesuai kebutuhan sistem. MCCB ditampilkan pada Gambar 4.



Gambar 4: Moulded Case Circuit Breaker (MCCB)

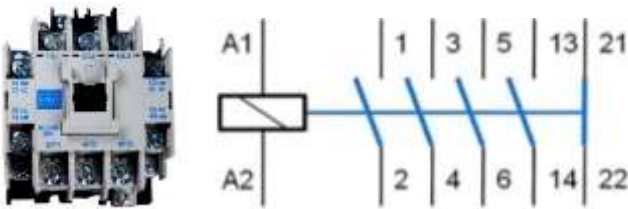
p-ISSN:1693 – 2951; e-ISSN: 2503-2372



Keunggulan MCCB terletak pada fleksibilitas pengaturan arus nominal, yang memungkinkannya disesuaikan dengan kebutuhan operasional peralatan. Arus nominal MCCB harus lebih besar daripada arus maksimum yang dibutuhkan oleh peralatan yang dilindungi, sehingga dapat mencegah gangguan pada sistem selama operasi normal. MCCB biasanya digunakan pada aplikasi skala komersial dan industri, karena mampu menangani arus yang lebih besar dibandingkan dengan jenis CB lainnya, seperti Miniature Circuit Breaker (MCB).

3. *Kontaktor*

Kontaktor adalah perangkat listrik yang digunakan untuk menghubungkan atau memutuskan rangkaian listrik, terutama dalam aplikasi motor listrik. Kontakor bekerja berdasarkan prinsip elektromagnetik, di mana belitan (*coil*) di dalam kontakor menghasilkan gaya magnet ketika dialiri arus listrik. Gaya magnet ini menyebabkan kontak-kontak pada kontakor bergerak, sehingga memungkinkan pengoperasian rangkaian. Berdasarkan Gambar 5 ditampilkan bahwa kontakor terdiri dari dua jenis kontak utama, yaitu kontak utama yang berfungsi untuk menghubungkan dan memutuskan rangkaian daya utama, seperti suplai daya ke motor atau peralatan listrik lainnya dan kontak bantu yang digunakan untuk mengatur pengoperasian kontakor atau perangkat lain dalam sistem. Kontak utama ditandai dengan nomor (1-6), kontak bantu yakni pada nomor (13-22), dan terminal belitan (*coil*) ditandai dengan (A1-A2).



Gambar 5: Simbol dan Tampilan Fisik Kontakor

C. *Daya Motor Induksi 3 Fasa*

Daya listrik dapat dibagi menjadi 3 yaitu daya nyata (P), daya reaktif (Q), dan daya semu (S). Daya semu (S) merupakan resultan dari dua komponen, yaitu daya nyata (P) dan komponen daya reaktif (Q) [5-6]. Daya nyata dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (2). Dimana P adalah daya yang sesungguhnya terpakai untuk mengubah suatu energi listrik menjadi bentuk energi lain, dengan satuan Watt. Dimana $\sqrt{3}$ menunjukkan tegangan tiga fasa (R, S, T) yang sering digambarkan dengan tiga buah garis dengan satu ujung saling bertemu (N) dan membentuk sudut 120 derajat. Dimana V adalah satuan untuk tegangan listrik merupakan potensi listrik untuk mengalirkan sejumlah muatan atau arus listrik. Dimana $\cos\phi$ faktor daya adalah suatu nilai yang disebabkan kerugian daya.

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos\phi \tag{2}$$

III. *HASIL DAN PEMBAHASAN*

A. *Data Penelitian*

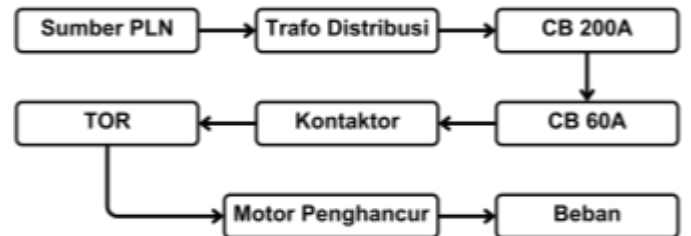
Diagram Blok sistem proteksi untuk motor pada konveyor di CP03 dapat dilihat pada Gambar 6. Tahap pertama dari sistem ini adalah sumber daya utama yang diperoleh dari jaringan PLN dengan tegangan tinggi 150 kV. Tegangan ini kemudian

diturunkan menggunakan trafo *step-down* menjadi tegangan menengah 20 kV dan terakhir akan diturunkan ke tegangan rendah 380/220 V untuk memenuhi kebutuhan motor dan peralatan listrik lainnya.

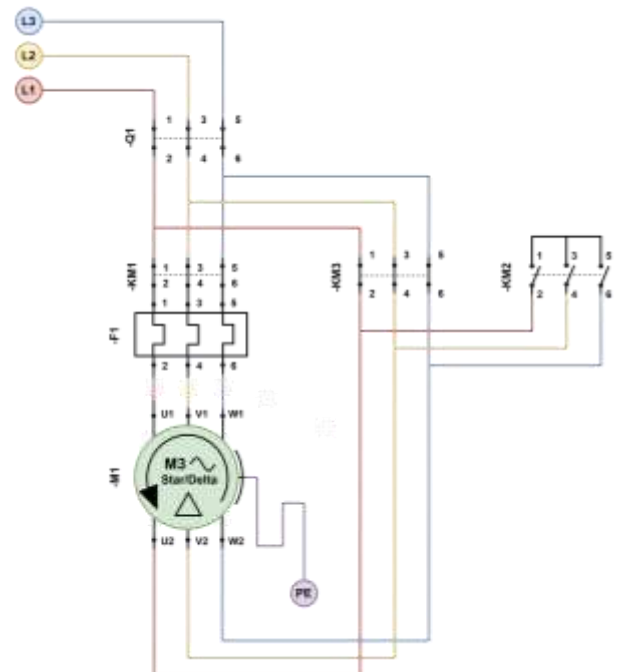
Proteksi awal terhadap arus lebih disediakan oleh CB berkapasitas 200 A. CB ini menggunakan tipe NF 250-CP, yang dirancang untuk menangani arus hingga 200 A dengan frekuensi operasi 50-60 Hz. Selanjutnya, sistem ini dilengkapi dengan CB kedua berkapasitas 60 A, tipe EZC100N, yang berfungsi sebagai proteksi tambahan untuk melindungi komponen listrik di hilir, seperti kontakor dan motor.

Setelah melewati proteksi CB, daya diteruskan ke kontakor yang berfungsi untuk menghubungkan atau memutuskan aliran daya secara otomatis berdasarkan sinyal kontrol. Sebelum mencapai motor penghancur, sistem ini dilengkapi dengan TOR, yang bertugas mencegah kerusakan motor akibat beban lebih dengan mendeteksi peningkatan suhu yang dihasilkan oleh arus listrik berlebih.

Akhirnya, daya dialirkan ke motor penghancur, yang digunakan untuk menghancurkan batu bara sebagai beban akhir dalam sistem ini. Dengan sistem proteksi yang terintegrasi ini, risiko kerusakan pada motor dan perangkat lainnya dapat diminimalkan, sehingga kontinuitas operasional dapat terjaga. Gambar 7 merupakan *single line diagram starting* hubung *star* (Y) dan hubung *delta* (Δ) terhadap proteksi motor.



Gambar 6: Diagram Blok Sistem Proteksi Motor Penghancur CP03



Gambar 7: *Single Line Diagram Starting* Hubung *Star* (Y) dan Hubung *Delta* (Δ) Terhadap Proteksi Motor

B. Penentuan Daya Motor saat CP03 Beban

Berikut merupakan data *history* pada saat penghancur CP03 sekunder dan primer sedang beroperasi. Data CP03 sangat terbatas karena sudah tidak diarsip oleh perusahaan sehingga data yang diperoleh hanya ketika CP03 beroperasi dibulan Januari dan Februari 2023. Data tersebut ditampilkan pada Tabel III. Adapun hasil perhitungan daya motor ketika berbeban ditampilkan pada Tabel IV.

TABEL III
 DATA KINERJA PENGHANCUR CP03 KETIKA BERBEBAN

Unit	Januari		Februari	
	I (A)	V	I (A)	V
Motor 3 sekunder A	12,73	383	11,9	383
Motor 4 sekunder B	10,82	381	11,5	381
Motor 7 primer A	17,55	383	16,5	383
Motor 8 primer B	10,5	380	9,7	380

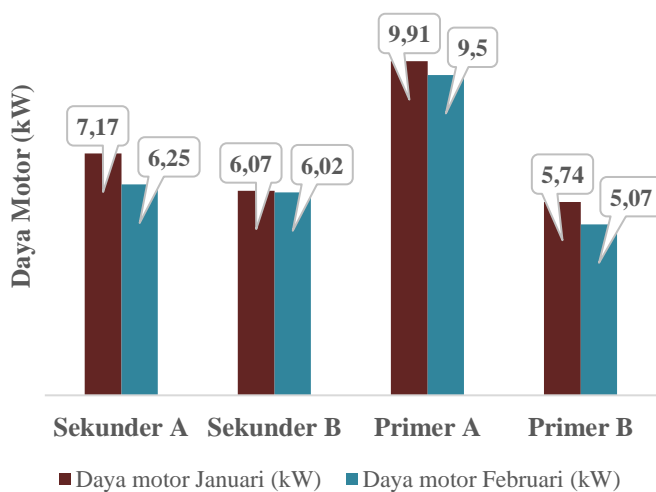
Penentuan daya motor secara matematis dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2), sebagai berikut:

Sekunder A

$$\begin{aligned}
 P &= \sqrt{3} \times V \times I \times \cos\phi \\
 &= \sqrt{3} \times 383 \times 12,73 \times 0,85 \\
 &= 7,178 \text{ Watt} \\
 &= 7,17 \text{ Kw}
 \end{aligned}$$

TABEL IV
 HASIL PERHITUNGAN DAYA MOTOR KETIKA BERBEBAN

Unit	Daya Motor (kW)	
	Januari	Februari
Motor 3 sekunder A	7,17	6,25
Motor 4 sekunder B	6,07	6,02
Motor 7 primer A	9,91	9,50
Motor 8 primer B	5,74	5,07



Gambar 8: Grafik Perbandingan Daya Motor Ketika Berbeban

Berdasarkan besar daya motor tersebut didapatkan bahwa Selisih daya motor Sekunder A mencapai 12,8% dari daya pada bulan Januari, sedangkan motor Sekunder B memiliki selisih sebesar 0,8%. Untuk motor Primer A, selisih daya tercatat sebesar 4,1%, sementara motor Primer B menunjukkan selisih daya sebesar 11,7% dari daya pada bulan Januari. Perbedaan-perbedaan yang tidak cukup jauh tersebut dikarenakan beban untuk tiap motor yang berbeda.

C. Penentuan Setting Trip Overload

Penentuan *setting* TOR secara matematis dilakukan dengan menggunakan persamaan (1), sebagai berikut:

Sekunder A

$$\begin{aligned}
 \text{Setting Overload Relay} &= I \times 110\% \\
 &= 12,73 \times 110\% \\
 &= 14 \text{ Ampere}
 \end{aligned}$$

Nilai *setting* TOR dari hasil perhitungan menggunakan rumus *setting trip overload*, arus yang membatasi motor sekunder A adalah 14 A. Adapun hasil perhitungan *setting* TOR secara keseluruhan ditampilkan pada Tabel V .

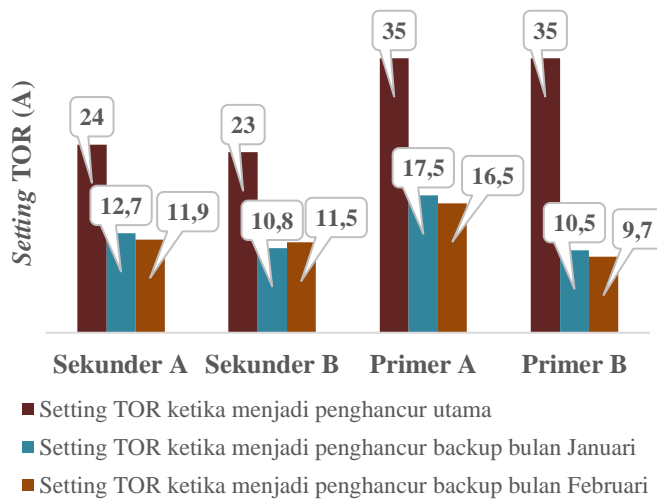
TABEL V
 HASIL PERHITUNGAN SETTING TOR

Unit	Setting TOR Hasil Perhitungan (A)	
	Januari	Februari
Motor 3 sekunder A	14	13,1
Motor 4 sekunder B	11,9	12,6
Motor 7 primer A	19,3	18,2
Motor 8 primer B	11,5	10,7

Berdasarkan hasil perhitungan *setting* TOR yang ditampilkan pada Tabel V didapatkan bahwa *setting* TOR dengan arus terbesar pada bulan Januari dan Februari adalah motor 7 primer A yakni sebesar 19,3 A pada bulan Januari dan pada bulan Februari sebesar 18,2 A. Adapun perbandingan *setting* TOR CP03 pada saat menjadi penghancur utama dan saat menjadi penghancur *backup* dengan membandingkan hasil pengamatan di lapangan dan perhitungan ditampilkan pada Gambar 9.

Berdasarkan grafik perbandingan *setting* TOR yang ditampilkan pada Gambar 9 terjadi perbedaan antara besarnya selisi arus yang di *setting* pada TOR dikarenakan perbedaan beban yang ditanggung oleh motor. Perbedaan beban yang di terima oleh motor pada saat menjadi penghancur utama lebih besar disebabkan proses produksinya yang lebih besar bila dibandingkan saat motor beroperasi menjadi penghancur *backup*. Pada grafik primer A memiliki *setting* TOR yang besar yaitu 35 A ketika menjadi penghancur utama dan ketika menjadi penghancur *backup* *setting* TOR-nya di angka 9,9 A dan 11,2 A. Hal tersebut juga dipengaruhi oleh beban yang berbeda-beda dan berdampak pada variasi arus yang dihasilkan.





Gambar 9: Grafik Perbandingan Setting TOR

TABEL VI
PERBANDINGAN NILAI TOR

Unit	Setting TOR	
	Di lapangan	Perhitungan
Motor 3 sekunder A	24	14
Motor 4 sekunder B	24	12,6
Motor 7 primer A	35	19,3
Motor 8 primer B	35	11,5

Berdasarkan Tabel VI pengaturan yang terlalu tinggi (24 vs 14) berpotensi membiarkan motor beroperasi pada kondisi overcurrent yang berbahaya sebelum relay bekerja. Ini dapat mempercepat kerusakan isolasi kumparan motor akibat panas berlebihan. Pengaturan ini juga menunjukkan kurangnya penyesuaian terhadap beban dan spesifikasi motor yang sebenarnya. Selisih yang besar ini mengindikasikan pengaturan di lapangan sangat jauh dari hasil perhitungan. Akibatnya, proteksi terhadap arus lebih menjadi tidak efektif. Jika motor mengalami gangguan seperti kelebihan beban, relay kemungkinan tidak akan segera bekerja, sehingga motor berisiko mengalami kegagalan.

Pengaturan yang terlalu tinggi membuat perlindungan motor primer menjadi tidak optimal. Motor primer umumnya membawa beban yang lebih besar sehingga rentan terhadap kerusakan jika overcurrent terjadi dalam waktu lama. Nilai perhitungan (19,3) menunjukkan kebutuhan perlindungan lebih sensitif, tetapi pengaturan di lapangan jauh melampaui nilai tersebut. Pengaturan ini adalah kasus yang paling kritis. Selisih lebih dari dua kali lipat menunjukkan pengabaian yang signifikan terhadap proteksi motor. Motor kemungkinan besar tidak terlindungi sama sekali dari overcurrent karena nilai TOR jauh lebih besar daripada arus yang seharusnya diproteksi.

IV. KESIMPULAN

Proteksi motor yang digunakan dalam sistem ini adalah *thermal overload relay* (TOR). TOR memanfaatkan pelat bimetal yang akan melengkung ketika terjadi kenaikan suhu (*over-temperature*) atau kelebihan beban (*overload*), sehingga menggerakkan kontak mekanis dan menyebabkan terjadinya

trip. Berdasarkan hasil pengamatan di lapangan, motor dengan kode CP03 yang berfungsi sebagai penghancur utama memiliki batasan TOR tertinggi sebesar 35 A. Hal ini disebabkan oleh beban besar yang diterima motor, sehingga menghasilkan arus yang lebih tinggi. Ketika motor CP03 berfungsi sebagai penghancur cadangan, pengaturan TOR mengalami penyesuaian dari 35 A menjadi 9,9 A, yang mengindikasikan adanya penurunan daya motor. Berdasarkan grafik perbandingan daya motor pada bulan Januari dan Februari, diketahui bahwa daya tertinggi primer A pada bulan Januari mencapai 9,91 kW, sedangkan pada bulan Februari daya tersebut menurun menjadi 9,05 kW.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan apresiasi yang mendalam kepada PT. Mitrabara Adiperdana Tbk atas izin dan dukungan yang diberikan selama pelaksanaan penelitian. Kesediaan perusahaan untuk memberikan akses terhadap data teknis dan fasilitas penelitian telah menjadi kontribusi yang sangat berarti dalam keberhasilan studi ini. Dukungan ini tidak hanya memperkaya hasil penelitian tetapi juga memperkuat relevansi praktis dari temuan yang dihasilkan.

REFERENSI

- [1] Supardi, A., Umar, U., Setiyoko, I., & Saifurrohman, M. (2022). Rancang Bangun Sistem Kendali Dan Monitoring Kecepatan Motor Induksi Berbasis Programmable Logic Controller (PLC) Dilengkapi Layar Sentuh. *Emitor: Jurnal Teknik Elektro*, 22(1), 65-72.
- [2] Yasmin, S. Y., & Permata, E. (2022). SISTEM PROTEKSI SWITCH GEAR 5P1_1S1_U5 UNTUK MOTOR CEMENT MILL DI PT CEMINDO GEMILANG PLANT BAYAH. *Jurnal Universal Technic*, 1(1), 118-127.
- [3] Inayati, W., Nurhadi, N., & Effendy, M. (2021). Identifikasi Kerusakan Outer Race Bearing Motor Pada Hoist Crane Menggunakan Metode Short Time Fourier Transform. *Journal of Mechatronic and Electrical Engineering*, 1(1), 8-18.
- [4] S Syukur, A dan Adrianto, S. "Studi Sistem Proteksi Motor Induksi Pada Motor di Pabrik PT.Semen Bosowa Maros", Skripsi, Unoversitas Muhammadiyah Makassar, Makassar, 2022.
- [5] Puspita, T., & Darmawan, I. A. (2023). 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*, 2(2), 168-181.
- [6] Shaikh, S., Kumar, D., Hakeem, A., & Soomar, A. M. (2022). Protection system design of induction motor for industries. *Modelling and Simulation in Engineering*, 2022(1), 7423018.
- [7] Zagimyak, M., Kalinov, A., & Melnykov, V. (2019). Decrease of the thermal overloads of a variable-frequency electric drive at damages in the electric circuit of an induction motor stator. *Przeglad Elektrotechniczny*, 95(5), 43-46.
- [8] Pujyanto, F., & Darmana, E. (2022). Analisis Perubahan Temperatur Induksi Motor 3 Phase Berbasis Fuzzy Inference System (FIS). *JURNAL SAINS DAN TEKNOLOGI MARITIM*, 23(1), 15-30.
- [9] Surya, D. Sistem Proteksi pada Motor Induksi 3 Phase 200 KW Sebagai Penggerak Pompa Hydran (*electric fire pump*). Jurnal Fakultas Teknik Universitas Palembang, 2015.
- [10] Muzzammel, R., Akram, M. N., Asghar, S., Saleem, A., & Muqem, U. (2018). Simulation Analysis of Fully Protected Induction Motor. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 9(10), 770-775.
- [11] Ari Wicaksono, "Thermal Overload Relay (TOR/TOL)", 2014.
- [12] Sartika, L. (2023). ANALISA PENGARUH PERUBAHAN BEBAN TERHADAP KINERJA MOTOR INDUKSI 3 FASA SCRAPER CONVEYORDI PT. CITRA SIWIT LESTARI. *Jurnal Elektro dan Telekomunikasi Terapan (e-Journal)*, 10(1), 7-16.
- [13] Abdo, A., Siam, J., Abdou, A., Shehadeh, H., & Mustafa, R. (2024). Practical Test on the Operation of the Three-Phase Induction Motor under Single-Phasing Fault. *Applied Sciences*, 14(11), 4690.

- [14] Triyanto, A., Indrakoesoema, K., & Kusnadi, H. (2023). Proteksi Sistem Tenaga.
- [15] Prasetya, A. M., Sartika, L., Sanjaya, D., & Samanta, R. (2024). Implementation of Variable Speed Drive as Starting Control of Three Phase Induction Motor. *Jurnal Edukasi Elektro*, 8(2).
- [16] Choudhury, S. (2021). Dynamic Testing of GE Multilin 869 Motor Protection Relay for Stator Inter-turn Faults.
- [17] Prasetya, A. M., Sartika, L., & Nur, M. (2024). MENGATUR KECEPATAN MOTOR INDUKSI 3 FASA MENGGUNAKAN SLIDING MODE CONTROL (SMC) DENGAN FIELD ORIENTED CONTROL (FOC). *Elektrika Borneo*, 10(2), 58-63.
- [18] Sartika, L., & Prasetya, A. M. (2021). PERBANDINGAN FUZZY LOGIC CONTROL DAN ADAPTIVE NEURO FUZZY INFERENCE SYSTEM PADA PENGATURAN KECEPATAN MOTOR INDUKSI TIGA FASA. *Jurnal Borneo Sainstek*, 4(2), 100-108.
- [19] Sartika, L., Prasetya, A. M., & Sudirman, F. R. (2024). Kontrol tegangan pada terminal generator menggunakan AVR berbasis neural network. *JURNAL ELTEK*, 22(1), 29-37.
- [20] Norhan, M. "Analisa Pengaruh Beban Terhadap Kinerja Motor Induksi 3 Fasa (*Chain Feeder*) di PT. Pesona Khatulistiwa Nusantara", Skripsi, Universitas Borneo Tarakan, 2021.
- [21] Praharto, dan Fitrizawati. "Analisa Thermal Overload Relay (TOR) Type Lrd08c Pada Sistem Proteksi 3 Fasa Belt Conveyor 37 KW", *Jurnal Sekolah Tinggi Wiworotomo*, Vol. 12, No. 1, 2020.
- [22] Edi, M. J. "Evaluasi Listrik dan sistem proteksi dan setting rating arus terhadap penggunaan motor-motor listrik dan pompa air pada *circulating water* dan *boiler feed* di PT. Vale Sorowako", Skripsi, Universitas Muhammadiyah Makassar Makassar, 2010.



{ Halaman ini sengaja dikosongkan }