

BAB IV

PEMBAHASAN

Hasil perhitungan parameter *setting Over Current Relay* (OCR) GE Multilin 369 pada motor induksi 3 fasa 300 HP dengan tegangan kerja 2,3 kV, dilakukan berdasarkan data motor induksi, *Current Transformer* (CT), dan *setting* relai GE Multilin 369 Motor Management Relay yang diperoleh dari lapangan. Parameter yang dihitung meliputi arus nominal motor, arus sekunder CT, arus *pickup* relai, arus *starting* motor, *setting short circuit trip*, serta waktu operasi relai menggunakan metode *Thermal Damage Limit* (TDL). Hasil perhitungan ini menjadi dasar untuk mengetahui kesesuaian *setting* OCR terhadap karakteristik operasi motor.

4.1 Hasil Perhitungan *Setting* OCR

Perhitungan *setting* OCR dilakukan secara bertahap agar setiap parameter proteksi dapat diketahui dan saling berhubungan. Data awal yang digunakan dalam perhitungan diperoleh dari *nameplate* motor, rasio CT, serta data *setting* relai. Data tersebut kemudian digunakan untuk menghitung arus nominal motor, arus *pickup* relai, arus *starting*, *short circuit trip*, dan waktu operasi relai.

Sebelum dilakukan perhitungan, data utama yang digunakan dalam penelitian ditampilkan pada Tabel 4.1. Tabel ini berisi data motor, CT, dan relai yang menjadi dasar dalam perhitungan *setting* OCR.

Tabel 4. 1 Data Utama Parameter Proteksi

Komponen	Parameter	Nilai
Motor	Daya Motor	300 HP
	Tegangan Kerja	2300 V
	Arus FLA	67,7 A
	Efisiensi	95,4%
	Faktor Daya	0,87
	SF	1,15
CT	Rasio CT	100/5 A
	Jumlah CT	2 CT 1 fasa

Komponen	Parameter	Nilai
Relai	Tipe Relai	GE Multilin 369 Motor Management Relay
	Motor FLA pada relai	67 A
	<i>Overload Pickup</i>	1.05 x FLA
	<i>Short Circuit Trip</i>	5.5 x CT
	<i>ADD S/C Trip Delay</i>	0.00 s
	<i>ADD S/C Backup Trip Delay</i>	0.20 s
	Konstanta waktu termal (τ)	2700 s

Berdasarkan Tabel 4.1, data utama yang digunakan telah mencakup parameter motor, CT, dan relai.

1. Memasukkan Data yang dibutuhkan dalam Perhitungan

Tahap pertama dalam perhitungan adalah memasukkan data spesifikasi motor yang diperoleh dari *nameplate* motor. Data utama yang digunakan meliputi daya motor, tegangan kerja, faktor daya, efisiensi, arus beban penuh, *service factor*, dan rasio CT. Data tersebut menjadi dasar dalam perhitungan arus nominal motor dan *setting* awal relai arus lebih.

Karena daya motor masih dalam satuan HP, maka daya motor dikonversikan terlebih dahulu ke satuan watt menggunakan persamaan (2.2).

$$P = 300 \times 746 = 223.800 \text{ W}$$

$$P = 223,8 \text{ kW}$$

2. Menghitung Arus Nominal Motor

Arus nominal digunakan untuk mengetahui arus kerja normal pada kondisi beban penuh. Perhitungan arus nominal dilakukan menggunakan persamaan (2.1).

$$I_n = \frac{223.800}{1,732 \times 2300 \times 0,87 \times 0,954}$$

$$I_n = \frac{223.800}{3306,3} = 67,69 \text{ A}$$

Berdasarkan hasil perhitungan, arus nominal motor adalah sebesar 67,69 A. Nilai ini mendekati arus FLA pada *nameplate* motor, yaitu 67,7 A.

3. Menghitung arus sekunder *Current Transformer* (CT)

- a. Setelah arus nominal motor diketahui, arus primer motor dikonversikan menjadi arus sekunder CT. Hal ini dilakukan karena OCR tidak dapat membaca arus primer motor secara langsung, melainkan membaca arus sekunder dari CT. Rasio CT dihitung menggunakan persamaan (2.4).

$$\text{rasio CT} = \frac{100}{5} = 20$$

- b. Setelah rasio CT diperoleh, arus sekunder CT dihitung menggunakan persamaan (2.5).

$$I_{\text{sekunder}} = \frac{67,69}{100} \times 5 = 3,384 \text{ A}$$

Berdasarkan hasil perhitungan, arus sekunder CT pada kondisi beban penuh adalah sebesar 3,384 A. Nilai ini merupakan arus yang terbaca oleh OCR ketika motor bekerja pada kondisi normal.

4. Menghitung Arus *Pickup* Relai

- a. Arus *pickup* merupakan nilai arus minimum yang menyebabkan OCR mulai bekerja. Nilai arus *pickup* harus lebih besar dari arus nominal motor agar relai tidak bekerja pada kondisi operasi normal. Arus *pickup* primer dihitung menggunakan persamaan (2.6).

$$I_{\text{pickup primer}} = 1,05 \times 67,69 = 71,074 \text{ A}$$

- b. Karena relai membaca arus pada sisi sekunder CT, maka arus *pickup* sisi primer dikonversikan menjadi arus *pickup* sisi sekunder menggunakan persamaan (2.7).

$$I_{\text{pickup sekunder}} = \frac{71,074}{20} = 3,553 \text{ A}$$

- c. Setelah nilai arus *pickup* diperoleh, dilakukan pemeriksaan kesesuaian terhadap arus normal motor. Pemeriksaan dilakukan dengan membandingkan arus sekunder CT pada kondisi beban penuh dengan arus *pickup* sekunder relai.

$$3,553 \text{ A} > 3,384 \text{ A}$$

Nilai arus sekunder CT lebih kecil daripada arus *pickup* relai pada kondisi beban penuh. Dengan demikian, OCR tidak akan bekerja pada kondisi operasi normal motor. Sedangkan sisi primer:

$$71,074 \text{ A} > 67,69 \text{ A}$$

Nilai *setting* arus *pickup* berada di atas arus kerja normal motor. Hal ini menunjukkan bahwa *setting pickup* sudah memenuhi syarat awal karena relai tidak bekerja pada kondisi normal, tetapi tetap dapat mendeteksi kenaikan arus yang melebihi batas *setting*.

5. Menghitung Arus *Starting* Motor

Arus *starting* merupakan arus yang mengalir pada saat motor pertama kali dioperasikan. Pada motor induksi, arus *starting* dapat mencapai beberapa kali arus nominal. Perhitungan arus *starting* dilakukan menggunakan persamaan (2.8).

Untuk *starting* 5 kali arus nominal:

$$I_{start} = 5 \times 67,69 = 338,45 \text{ A}$$

Untuk *starting* 7 kali arus nominal:

$$I_{start} = 7 \times 67,7 = 473,83 \text{ A}$$

Dengan demikian, arus *starting* motor diperkirakan berada pada rentang 338,5 A sampai 473,83 A pada sisi primer. Jika dikonversikan ke sisi sekunder CT:

Untuk *starting* 5 kali arus nominal:

$$I_{start\ sekunder} = \frac{338,45}{20} = 16,922\ A$$

Untuk *Starting* 7 kali arus nominal:

$$I_{start\ sekunder} = \frac{473,83}{20} = 23,691\ A$$

Maka arus *starting* motor pada sisi sekunder CT berada pada rentang 16,922 A sampai 23,691 A.

6. Menghitung *Setting Short Circuit Trip*

- a. *Setting Short Circuit Trip* digunakan untuk menentukan batas arus hubung singkat yang menyebabkan relai bekerja. Pada relai yang digunakan, *Setting Short Circuit Trip* adalah sebesar $5,5 \times CT$. Perhitungan dilakukan menggunakan persamaan (2.10) dan persamaan (2.11).

$$I_{SC\ Trip} = 5,5 \times 100 = 550\ A \text{ dan } I_{SC\ Trip\ sekunder} = 5,5 \times 5 = 27,5\ A$$

- b. Kemudian dilakukan pemeriksaan *Setting Short Circuit Trip* terhadap arus *starting*, apakah *Setting Short Circuit Trip* berada di atas arus *starting* motor. Hal ini penting agar relai tidak bekerja pada saat motor melakukan *starting* normal, masing-masing pemeriksaan untuk 5 dan 7 secara berurutan.

$$550\ A > 338,45 \text{ dan } 550\ A > 473,83\ A$$

Pada sisi sekunder CT, masing-masing pemeriksaan untuk 5 dan 7 secara berurutan:

$$27,5\ A > 16,922\ A \text{ dan } 27,5\ A > 23,691\ A$$

Maka *setting Short Circuit Trip* berada di atas arus *starting* maksimum motor dan tidak bekerja pada saat motor melakukan *starting* normal, karena arus *starting* maksimum masih berada di bawah *setting Short Circuit Trip*.

7. Waktu Operasi *Short Circuit*

Waktu operasi relai dievaluasi berdasarkan *setting* aktual relai di lapangan. Pada relai yang digunakan, waktu kerja *short circuit* trip utama ditentukan oleh ADD S/C Trip Delay, sedangkan waktu kerja proteksi cadangan ditentukan oleh ADD S/C Backup Trip Delay.

$$t_{SC\ utama} : 0,00\text{ s}$$

$$t_{SC\ backup} : 0,20\text{ s}$$

Berdasarkan hasil tersebut, trip utama hubung singkat bekerja tanpa waktu tunda tambahan, sedangkan proteksi cadangan bekerja dengan waktu tunda tetap sebesar 0,20 s.

8. Waktu Operasi Relai

Setelah nilai arus *pickup* dan *short circuit* trip diperoleh, langkah selanjutnya adalah menghitung waktu operasi relai atau *time delay* menggunakan metode *Thermal Damage Limit* (TDL). Perhitungan ini dilakukan untuk mengetahui waktu kerja relai berdasarkan hubungan antara arus aktual atau arus gangguan, arus *pickup*, dan konstanta waktu termal motor. Berdasarkan persamaan (2.11):

$$t = 2700 \cdot \ln\left(\frac{550^2}{550^2 - 71,074^2}\right)$$

$$t = 2700 \cdot \ln\left(\frac{302.500}{302.500 - 5.051,51}\right)$$

$$t = 2700 \cdot \ln\left(\frac{302.500}{297.448,49}\right)$$

$$t = 2700 \cdot \ln(1,01698)$$

$$t = 2700 \times 0,01683 = 45,441\text{ s}$$

Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan metode TDL, waktu operasi relai pada arus aktual sebesar 550 A adalah 45,48 s. Nilai ini menunjukkan waktu kerja relai berdasarkan pengaruh arus terhadap karakteristik termal motor.

9. Memvariasikan Waktu Operasi Relai Menggunakan *Thermal Damage Limit* (TDL)

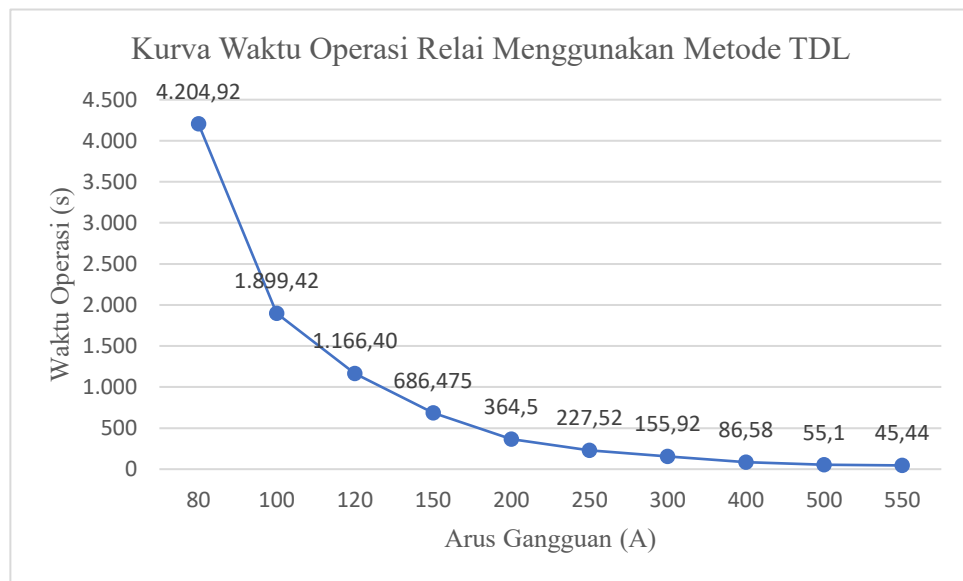
Setelah perhitungan waktu operasi relai dilakukan pada arus *short circuit* trip, nilai arus aktual kemudian divariasikan. Variasi arus ini digunakan untuk mengetahui pengaruh perubahan arus terhadap waktu operasi relai. Nilai arus yang digunakan harus lebih besar dari arus *pickup* relai, sehingga relai berada pada kondisi kerja.

Pada perhitungan ini, arus gangguan divariasikan dari 80 A sampai 550 A. Setiap nilai arus dihitung menggunakan Persamaan (2.11) dengan nilai $I_p = 71,074$, dan $\tau = 2700$ s. Hasil variasi perhitungan waktu operasi relai ditampilkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Variasi Waktu Operasi Relai Menggunakan Metode TDL

No.	Arus Aktual (A)	Arus <i>pickup</i> I_p (A)	τ (s)	Waktu Operasi	
				t (s)	t (menit)
1.	80	71,074	2700	4.204,92	70,08
2.	100	71,074	2700	1.899,42	31,65
3.	120	71,074	2700	1.166,4	19,44
4.	150	71,074	2700	686,475	11,44
5.	200	71,074	2700	364,5	6,07
6.	250	71,074	2700	227,52	3,79
7.	300	71,074	2700	155,92	2,59
8.	400	71,074	2700	86,58	1,44
9.	500	71,074	2700	55,10	0,91
10.	550	71,074	2700	45,44	0,76

Untuk memperjelas hubungan antara arus dan waktu operasi relai, hasil variasi perhitungan pada Tabel 4.2 kemudian disajikan dalam bentuk grafik. Grafik ini menunjukkan karakteristik *setting* OCR berdasarkan metode TDL, yaitu hubungan antara besar arus dengan waktu operasi relai.



Gambar 4. 1 Grafik Variasi Waktu Operasi Relai Menggunakan Metode TDL

Sebelum masuk ke bagian pembahasan, seluruh hasil perhitungan parameter *setting* OCR dirangkum dalam satu tabel. Tabel ini digunakan untuk mempermudah pembacaan hasil perhitungan yang telah dilakukan, mulai dari arus nominal motor, arus sekunder CT, arus *pickup* relai, arus *starting*, *setting short circuit trip*, waktu operasi *short*

Tabel 4. 3 Hasil Perhitungan Parameter Setting OCR

No.	Parameter	Sisi Primer	Sisi Sekunder
1.	Arus nominal motor	67,69 A	3,384 A
2.	Arus FLA nameplate	67,7 A	3,385 A
3.	Motor FLA pada relai	67 A	—
4.	Arus <i>pickup</i> relai	71,074 A	3,553 A
5.	Batas <i>service factor</i>	77,843 A	3,892 A
6.	Arus <i>starting</i> minimum	338,5 A	16,93 A
7.	Arus <i>starting</i> maksimum	473,9 A	23,69 A
8.	<i>Short circuit trip</i>	550 A	27,5 A
9.	waktu trip utama <i>short circuit</i>	0,00 s	0,00 s
10.	Waktu <i>backup</i> trip	0,20 s	0,20 s
11.	Waktu operasi relai TDL pada I = 550 A	45,44 s	—
12.	Rentang variasi arus TDL	80 A – 550 A	—
13.	Rentang waktu operasi TDL	4.204,92 s – 45,44 s	—

Hasil perhitungan ini menjadi dasar untuk menganalisis kesesuaian *setting* OCR terhadap karakteristik operasi motor induksi.

4.2 Pembahasan

Berdasarkan hasil perhitungan sebelumnya, diperoleh beberapa parameter penting dalam sistem proteksi motor induksi 3 fasa 300 HP, 2,3 kV menggunakan *Over Current Relay* (OCR). Parameter tersebut meliputi arus nominal motor, arus sekunder CT, arus *pickup* relai, arus *starting* motor, *setting short circuit* trip, waktu operasi *short circuit*, serta waktu operasi relai menggunakan metode *Thermal Damage Limit* (TDL). Seluruh parameter tersebut saling berkaitan karena digunakan untuk mengetahui apakah *setting* relai yang digunakan sudah sesuai dengan karakteristik operasi motor dan mampu memberikan perlindungan terhadap kondisi arus lebih.

1. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa daya motor sebesar 300 HP setara dengan 223.800 W atau 223,8 kW. Dengan menggunakan tegangan kerja 2300 V, faktor daya 0,87, dan efisiensi 0,954, diperoleh arus nominal motor sebesar 67,69 A. Nilai ini mendekati arus beban penuh atau *Full Load Ampere* (FLA) yang tercantum pada *nameplate* motor, yaitu 67,7 A. Dalam sistem proteksi motor, arus nominal menjadi dasar penting karena relai tidak boleh bekerja pada saat motor berada dalam kondisi operasi normal.
2. Rasio *Current Transformer* (CT) yang digunakan adalah 100/5 A, sehingga diperoleh rasio CT sebesar 20. Berdasarkan rasio tersebut, arus nominal motor sebesar 67,69 A pada sisi primer dikonversikan menjadi arus sekunder sebesar 3,384 A. Nilai ini merupakan arus yang terbaca oleh OCR ketika motor bekerja pada kondisi beban penuh. OCR tidak membaca arus primer motor secara langsung, melainkan menerima *input* dari sisi sekunder CT. Kesalahan pada rasio CT dapat mempengaruhi nilai arus yang diterima relai dan berdampak pada ketepatan kerja sistem proteksi.
3. Nilai arus *pickup* relai diperoleh dari faktor *setting* 1,05 dikalikan dengan arus nominal motor. Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh arus *pickup* sebesar 71,074 A pada sisi primer dan 3,553 A pada sisi sekunder CT. Nilai *pickup* ini lebih besar daripada arus nominal motor sebesar 67,69 A dan

lebih besar daripada arus sekunder CT pada kondisi beban penuh sebesar 3,384 A. Dengan demikian, relai tidak akan bekerja pada kondisi operasi normal motor. Kondisi ini menunjukkan bahwa *setting pickup* relai sudah memenuhi syarat dasar proteksi, yaitu berada di atas arus kerja normal motor agar tidak menyebabkan trip yang tidak diperlukan.

4. Jika dibandingkan dengan batas *service factor* motor, diperoleh nilai sebesar 77,843 A. Nilai ini lebih besar daripada arus *pickup* relai sebesar 71,074 A. Artinya, relai mulai mendeteksi kenaikan arus sebelum arus motor mencapai batas *service factor*. Hal ini menunjukkan bahwa relai memiliki sensitivitas terhadap kenaikan arus yang terjadi di atas kondisi normal. Namun, karena nilai *pickup* masih berada di atas arus nominal motor, maka relai tetap tidak bekerja pada kondisi beban penuh normal. Dengan demikian, *setting pickup* relai masih berada pada daerah kerja yang aman, karena tidak terlalu rendah terhadap arus normal dan tetap mampu mendeteksi kenaikan arus.
5. Pada kondisi *starting*, arus motor meningkat jauh lebih besar dibandingkan arus nominal. Berdasarkan hasil perhitungan, arus *starting* motor berada pada rentang 338,45 A sampai 473,83 A pada sisi primer, atau 16,922 A sampai 23,691 A pada sisi sekunder CT. Nilai ini lebih besar daripada arus *pickup* relai, tetapi kondisi *starting* merupakan kondisi normal yang terjadi dalam waktu singkat ketika motor pertama kali dioperasikan. Oleh karena itu, *setting OCR* tidak cukup hanya dilihat dari arus *pickup*, tetapi juga perlu dibandingkan dengan *setting short circuit trip* agar relai tidak salah bekerja pada saat motor melakukan *starting* normal.
6. *Setting short circuit trip* yang digunakan pada relai adalah $5,5 \times CT$. Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh nilai short circuit trip sebesar 550 A pada sisi primer dan 27,5 A pada sisi sekunder CT. Nilai ini lebih besar daripada arus *starting* maksimum motor, yaitu 473,83 A pada sisi primer dan 23,691 A pada sisi sekunder. Dengan demikian, elemen *short circuit trip* tidak akan bekerja pada saat motor melakukan *starting* normal. Hal ini menunjukkan bahwa *setting short circuit trip* sudah berada di atas arus

starting maksimum, sehingga relai mampu membedakan antara kondisi *starting* normal dan kondisi gangguan hubung singkat.

7. Waktu operasi *short circuit* pada relai ditentukan berdasarkan *setting* aktual yang terdapat pada GE Multilin 369 Motor Management Relay. Berdasarkan data relai, ADD S/C Trip *Delay* bernilai 0,00 s, sedangkan ADD S/C Backup Trip *Delay* bernilai 0,20 s. Nilai 0,00 s menunjukkan bahwa trip utama untuk gangguan *short circuit* bekerja tanpa waktu tunda tambahan, sedangkan nilai 0,20 s menunjukkan waktu kerja proteksi cadangan. Dengan adanya dua tahapan waktu ini, sistem proteksi memiliki fungsi utama yang bekerja cepat dan fungsi cadangan yang bekerja dengan waktu tunda tertentu apabila proteksi utama tidak bekerja sesuai yang diharapkan.
8. Perhitungan waktu operasi relai menggunakan metode *Thermal Damage Limit* (TDL) dilakukan untuk mengetahui hubungan antara arus gangguan, arus *pickup*, dan konstanta waktu termal motor. Dalam perhitungan ini, nilai konstanta waktu termal yang digunakan adalah 2700 s, nilai arus *pickup* sebesar 71,074 A, dan arus gangguan divariasikan mulai dari 80 A sampai 550 A. Nilai arus gangguan harus lebih besar dari arus *pickup* karena relai baru berada dalam kondisi kerja apabila arus yang mengalir telah melebihi nilai *pickup*. Oleh karena itu, arus nominal motor sebesar 67,69 A tidak digunakan sebagai arus aktual dalam perhitungan TDL karena nilainya masih berada di bawah arus *pickup* relai.
9. Hasil variasi perhitungan TDL menunjukkan bahwa semakin besar arus aktual yang melebihi arus *pickup*, maka waktu operasi relai semakin kecil. Pada arus aktual 80 A, waktu operasi relai masih cukup lama, yaitu sebesar 4204,92 s atau 70,08 menit. Sementara itu, pada arus aktual 550 A, waktu operasi relai menjadi 45,44 s atau 0,76 menit. Penurunan waktu operasi ini menunjukkan bahwa karakteristik TDL bekerja berdasarkan pengaruh besar arus terhadap kondisi termal motor. Semakin besar arus gangguan yang mengalir, maka semakin cepat relai memberikan respons terhadap kondisi tersebut.

10. Kurva waktu operasi relai menggunakan metode TDL menunjukkan bentuk menurun dari kiri ke kanan. Hal ini menunjukkan bahwa hubungan antara arus gangguan dan waktu operasi relai bersifat berbanding terbalik. Pada arus yang mendekati nilai *pickup*, waktu operasi relai masih relatif lama karena selisih antara arus aktual dan arus *pickup* masih kecil. Sebaliknya, ketika arus aktual semakin besar, waktu operasi relai menjadi semakin cepat. Karakteristik ini sesuai dengan prinsip proteksi arus lebih, yaitu relai harus bekerja lebih cepat pada arus gangguan yang lebih besar untuk mengurangi risiko kerusakan pada motor.
11. Secara keseluruhan, hasil perhitungan menunjukkan bahwa *setting* OCR yang digunakan sudah sesuai terhadap karakteristik operasi motor induksi 3 fasa 300 HP, 2,3 kV. Arus *pickup* relai sebesar 71,074 A berada di atas arus nominal motor sebesar 67,69 A, sehingga relai tidak bekerja pada kondisi normal. *Setting short circuit trip* sebesar 550 A berada di atas arus *starting* maksimum sebesar 473,83 A, sehingga relai tidak bekerja pada saat motor melakukan *starting* normal. Selain itu, hasil variasi TDL menunjukkan bahwa relai memiliki karakteristik waktu yang semakin cepat ketika arus gangguan semakin besar. Dengan demikian, *setting* relai dapat dinilai mampu membedakan kondisi operasi normal, kondisi *starting*, dan kondisi arus lebih yang memerlukan kerja proteksi.