

# PERANCANGAN SETTING RELE PROTEKSI ARUS LEBIH PADA MOTOR LISTRIK INDUSTRI

Tiyono<sup>\*)</sup>

Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada Yogyakarta  
Jl. Grafika 2, Kampus UGM, Bulaksumur Yogyakarta, 55281, Indonesia

<sup>\*)</sup>*email: tiyono@te.ugm.ac.id*

## Abstrak

Motor listrik memegang peranan penting dalam proses produksi pada industri. Kerusakan yang terjadi pada motor listrik akan berdampak pada terhambatnya proses produksi pada industri tersebut. Untuk mengurangi kemungkinan kerusakan motor listrik, penentuan spesifikasi dan perancangan proteksi motor merupakan tahapan penting dalam perancangan sistem kelistrikan industri. Proses tersebut dapat menjamin keberlangsungan produksi pada industri dengan aman, efektif, dan efisien. Kerusakan motor listrik terutama disebabkan karena gangguan arus lebih yang dapat disebabkan beban lebih maupun gangguan mekanis. Perancangan proteksi arus lebih meliputi penentuan jenis proteksi yang diperlukan dan setelan peralatan proteksi pada motor. Perancangan menggunakan perangkat lunak ETAP 6.0.0 yang berkemampuan untuk menggambar karakteristik pengasutan motor dan karakteristik kurva waktu-arus proteksi yang digunakan. Peralatan proteksi yang digunakan adalah rele beban lebih, MCB proteksi motor, sekring atau rele arus lebih. Hasil perancangan berupa jenis peralatan proteksi terpilih, setelan, gambar koordinasi proteksi yang koordinatif, selektif dan diskriminatif pada setiap tingkatan daya motor listrik industri.

*Kata kunci: motor, kurve arus-waktu, rele arus lebih, setelan.*

## Abstract

Electric motor plays important role in the industrial production process. The electric motor has potentially a high damage, which can hamper production process in the industry. Determination of the specification and design of motor protection is an important step in the design of industrial electrical systems. The process can ensure the sustainability of production in the industry and the process be continue safely, effectively and efficiently. Damage was mainly due to an electric motor overcurrent disturbances that can be caused due to overload or mechanical disturbances. Overcurrent protection design includes determining the type of protection was required and the settings on the motor's protection device. Protection design using ETAP 6.0.0, is software that capable to draw the characteristics of the currents motor starting and time-current curves of this protection. Protective device used are over load relay, MCB for motor protection, fuses or overcurrent relays. Results in the form of design protection such as types, settings, curve protection coordinated most selective and discriminative at all levels of motor power in the industry.

*Keywords: motor, time-current curve, over current relay, setting.*

## 1 Pendahuluan

### 1.1 Latar Belakang Permasalahan

Motor listrik digunakan secara luas pada berbagai industri. Motor jenis ini rentan terhadap terjadinya arus lebih, baik yang disebabkan oleh beban lebih maupun arus lebih. Gangguan arus lebih akan menyebabkan panas pada kumparan motor sehingga dalam jangka waktu yang lama akan menurunkan kemampuan isolasi motor. Potensi terjadinya gangguan karena menurunnya kekuatan isolasi motor akan meningkat dan dapat mengakibatkan kebakaran. Perancangan proteksi motor listrik industri diharapkan dapat menentukan tipe peralatan proteksi yang

diperlukan dan setelan yang sesuai untuk setiap tingkatan daya motor. Dari hasil perancangan, diharapkan dapat diperoleh sistem proteksi yang koordinatif, diskriminatif, dan selektif terhadap gangguan.

### 1.2 Dasar Teori

#### 1.2.1 Waktu Pengasutan Motor

Waktu pengasutan motor merupakan salah satu aspek perhatian dalam penentuan peralatan proteksi dan setelannya. Sesuai dengan IEEE 399-1997[1] diperoleh persamaan perhitungan waktu pengasutan sebagai berikut,

$$t_{s1} - t_{s2} = \frac{(WR^2)(Nm_{s2} - Nm_{s1})}{308 \cdot Ta} \quad (1)$$

dengan,

- $t_{s1} - t_{s2}$  = waktu diperlukan dari kecepatan pada s1 hingga s2 (detik),
- s1 = persen kecepatan 1 (%),
- s2 = persen kecepatan 2 (%),
- $WR^2$  = inersia total motor dan beban (lb-ft<sup>2</sup>),
- $Nm_{s1}$  = nilai kecepatan putar pada s1,
- $Nm_{s2}$  = nilai kecepatan putar pada s2,
- Ta = rerata torsi percepatan,
- = rerata selisih torsi motor dengan torsi beban pada s1 dan s2 (lb-ft).

### 1.2.2 Perhitungan Arus Beban Penuh

Aspek yang menjadi perhatian untuk perancangan setelan peralatan proteksi adalah arus beban penuh dari motor. Arus beban penuh memiliki persamaan sebagai berikut,

$$I_{fl} = \frac{(P_{rated} / \eta \cdot \cos \phi)}{\sqrt{3} \cdot V_{LL}} \quad (2)$$

dengan,

- $I_{fl}$  = arus beban penuh (A),
- $P_{rated}$  = daya motor pada pelat names (kW),
- $\eta$  = efisiensi motor pada beban penuh (%),
- $\cos \phi$  = faktor daya motor pada beban penuh,
- $V_{LL}$  = tegangan antar fase (kV).

### 1.2.3 Rele Arus Lebih

Rele arus lebih (*over current relay/OCR*) merupakan peralatan proteksi yang berguna untuk mendeteksi kondisi tidak normal pada sistem dengan melihat besar arus yang mengalir. Rele arus lebih memiliki berbagai macam fungsi diantaranya sebagai rele beban lebih dan rele arus lebih pendeteksi gangguan.

### 1.2.4 Karakteristik Tunda Rele Arus Lebih

Terdapat beberapa karakteristik tunda rele arus lebih. Karakteristik tersebut adalah sebagai berikut :

1. *Rele Arus Lebih Karakteristik Termal*. Rele tersebut memiliki karakteristik serupa dengan karakteristik ketahanan termal suatu peralatan. Karakteristik tersebut terdapat pada rele beban lebih. Ketahanan termal pada suatu peralatan digambarkan dengan persamaan,
 
$$k = I^2 \cdot t. \quad (3)$$

Terdapat beberapa standar *rele arus lebih karakteristik termal* yang tertulis dalam kelas 10, kelas 20 dan kelas 30. Angka pada kelas merupakan waktu maksimal rele untuk bekerja dalam detik, ketika terjadi arus sebesar enam kali arus setelan.

2. *Rele Arus Lebih Karakteristik Definite*. Rele arus lebih karakteristik *definite* memiliki waktu kerja sama dan tidak tergantung pada besar arus yang mengalir.

3. *Rele Arus Lebih Karakteristik Instantaneous*. Rele arus lebih *instantaneous* bekerja memutus rangkaian dengan sangat cepat. Tunda waktu rele arus lebih *instantaneous* dari pick-up hingga trip adalah 20-60 ms.

Tabel 1. Konstanta Persamaan OCR Inverse.

Karakteristik	K	$\alpha$	$I_{PSM}$
Standard Inverse	0,14	0,02	$I_{PSM} = \frac{I_{fault}}{I_{setting}}$
Very Inverse	13,50	1,00	
Extremly Inverse	80,00	2,00	

4. *Rele Arus Lebih Karakteristik Inverse*. Persamaan karakteristik rele arus lebih inverse sebagai berikut,

$$t = TMS \frac{k}{(I_{PSM})^{\alpha-1}} \quad (4)$$

Konstanta untuk persamaan karakteristik rele arus lebih inverse tersebut sesuai dengan Tabel 1.

### 1.2.5 Circuit Breaker

Pemutus tenaga (*circuit breaker/CB*) merupakan perangkat yang digunakan untuk melepaskan titik gangguan dari sistem. Pada sistem kelistrikan industri, pemutus yang sering digunakan adalah MCB (*miniature circuit breaker*) dan MCCB (*molded case circuit breaker*). MCB dan MCCB memiliki karakteristik termal untuk melindungi terhadap gangguan akibat beban lebih dan karakteristik magnetis untuk melindungi terhadap gangguan akibat hubung singkat.

### 1.2.6 Sekring

Sekring merupakan pembatas arus yang memiliki karakteristik termal. Ketika arus lebih mengalir melalui sekring dan melebihi batas tunda waktu, penghantar tersebut akan meleleh putus dan melepaskan gangguan dari sistem.

### 1.2.7 Proteksi Motor Induksi

Prinsip dasar proteksi motor induksi adalah tetap memperbolehkan motor diasut tanpa melebihi ketahanan termal dan akan melindungi motor dengan menempatkan kurva karakteristik arus waktu proteksi di bawah kurva ketahanan termal motor. Pemilihan peralatan proteksi motor induksi untuk mengatasi gangguan beban penuh dan gangguan hubung singkat berdasarkan pada ukuran dari motor yang akan dilindungi.

### 1.2.8 Proteksi Motor Induksi Daya di Bawah 10 HP

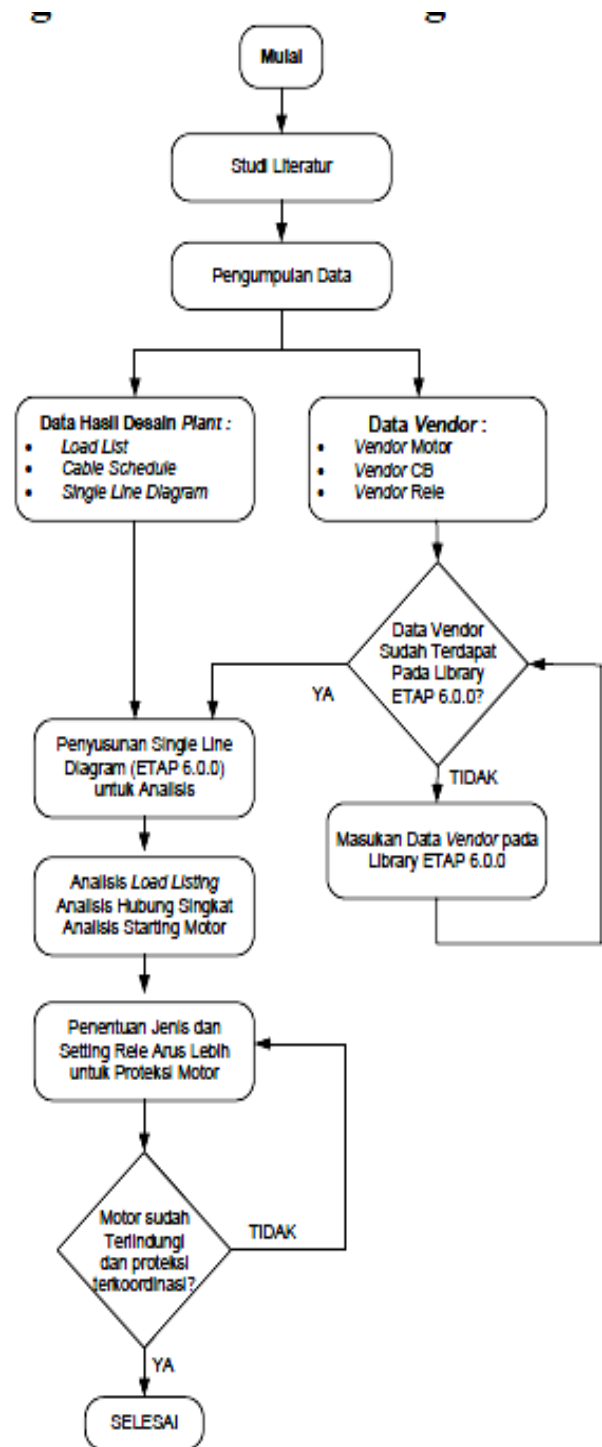
Motor induksi dengan daya sangat kecil di bawah 10 HP pada umumnya cukup dilindungi dengan proteksi termal. Untuk mendapatkan proteksi termal tersebut dapat digunakan MCB atau MCCB dengan karakteristik termal-

magnetis. Sesuai dengan standar pada IEEE C37.96-2000, ukuran setelan pengaman beban lebih dipasang maksimal pada 125% arus beban penuh[2][3] .

**1.2.9 Proteksi Motor Induksi Daya di Bawah 50 HP**

Motor induksi dengan daya kecil di bawah 50 HP, dilindungi dengan menggunakan rele beban lebih tipe termal dan sekring. Rele tipe termal melindungi motor dari beban lebih dan sekring digunakan untuk melindungi motor dari hubung singkat.

Sesuai dengan standar IEEE C37.96-2000, rele beban penuh tipe termal disetel maksimal pada nilai 125% dari arus beban penuh. Dengan standar yang sama, sekring disetel pada nilai maksimal 225% arus beban penuh dengan tetap memperbolehkan motor untuk diasut[2][3].



Gambar. 1 Diagram Alir Perancangan

**1.2.10 Proteksi Motor Induksi Daya di Atas 50 HP**

Motor induksi dengan daya lebih dari atau sama dengan 50 HP dilindungi dengan rele arus lebih tipe termal untuk beban lebih. Rele tersebut dikoordinasikan dengan rele arus lebih tipe inverse dan instantaneous untuk gangguan arus lebih yang besar.

Sesuai dengan standar IEEE C37.96-2000 dan IEEE Std 242 – 2001 rele beban penuh tipe termal disetel maksimal pada 125% arus beban penuh[4]. Untuk rele arus lebih tipe inverse disetel pada nilai maksimal 400% untuk arus beban penuh kurang atau sama dengan 100A, dan maksimal 300% untuk arus beban penuh lebih dari 100A. Setelan rele arus lebih instantaneous dipasang pada maksimal 1300% arus beban penuh[4].

## 2 Metodologi Perancangan

Penelitian dilakukan dengan mengumpulkan data hasil desain dasar dari perancangan pabrik penggiling sagu. Data yang diperoleh berupa diagram satu garis, daftar beban motor yang digunakan dan penghantar yang digunakan. Dari data tersebut, digambarkan pada perangkat lunak ETAP 6.0.0 dengan memasukkan data motor sesuai dengan datasheet yang diperoleh dan dilakukan analisis perancangan koordinasi proteksi.

### 2.1 Diagram Alir Perancangan

Diagram alir proses perancangan koordinasi proteksi dijelaskan pada Gambar. 1. Pada dasarnya, proses dimulai dengan pengumpulan data desain plant dan data yang diperoleh dari vendor terkait motor, CB dan rele yang akan dipasang. Selanjutnya, data tersebut diolah dengan bantuan ETAP.

## 3 Hasil dan Pembahasan

Bagian ini akan membahas beberapa contoh hasil perancangan proteksi pada motor. Setiap klasifikasi daya motor akan diwakili oleh satu model perancangan.

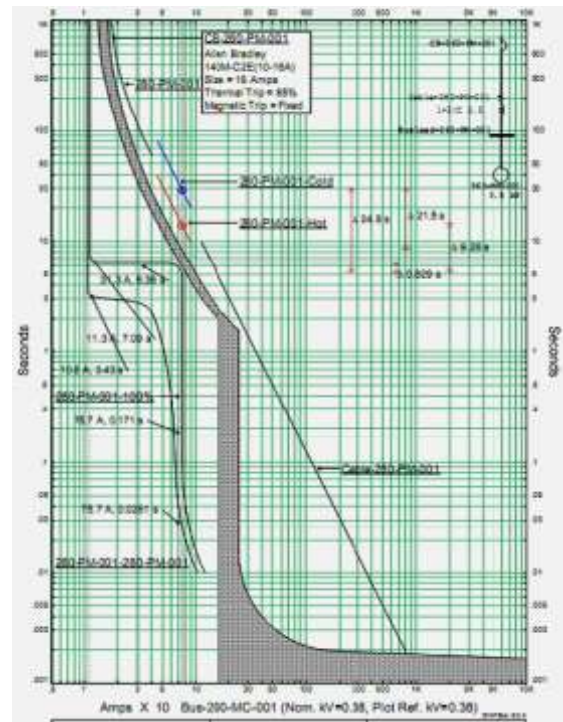
### 3.1 Perancangan Proteksi Arus Lebih Motor 5,5 kW 260-PM-001

Motor 260-PM-001 merupakan motor penggerak pompa sentrifugal pada *Wet Process MCC*. Batas ketahanan termal motor pada kondisi arus rotor lock dalam batas suhu panas adalah 14 detik sedangkan untuk dingin adalah 29 detik.

Beban yang dipikul memiliki karakteristik pompa sentrifugal. Berdasarkan pada data tipikal ETAP 6.0.0 diperoleh persamaan polinomial beban pompa yang merupakan fungsi torsi terhadap waktu sebagai berikut :

$$\%T = 10-91\omega+321\omega^2-147\omega^3 \quad (5)$$

Dari nilai inersia dan torsi yang diperoleh, dapat dihitung waktu pengasutan motor 260-PM-001 sesuai dengan persamaan (1). Nilai waktu pengasutan dari perhitungan diperoleh sebesar 6,36 detik.



Gambar. 2 Proteksi Motor 260-PM-001

Kurva karakteristik pengasutan statis ditampilkan pada Gbr. 2 dengan penanda 260-PM-001-100%. Besar arus blok rotor adalah sebesar 75,7 A dengan arus beban penuh operating sebesar 11,3 A. Sementara itu dari hasil pengasutan motor dinamis menghasilkan kurva karakteristik pengasutan dengan penanda 260-PM-001-260-PM-001 pada Gbr.2. Waktu pengasutan dari studi pengasutan dinamis adalah 3,43 detik untuk mencapai arus beban penuh sebesar 10,8 A.

Proteksi yang digunakan untuk motor 260- PM-001 adalah MCB khusus untuk proteksi motor. MCB keluaran Allen Bradley seri 140M-C2E memiliki fasilitas untuk pengaturan trip termal dengan trip magnetik yang sudah tetap pada 13 kali ukuran MCB. Dengan arus beban penuh pada kisaran 10 A, maka MCB yang dipilih dengan ukuran 16 A.

Nilai setelan MCB disesuaikan dengan arusbeban penuh pada kondisi operasi. Nilai tersebut diperoleh dari arus beban penuh pengasutan dinamis, karena beban yang terpasang sudah mendekati beban maksimal motor.

$$I_{soperating} = 125\% \cdot I_{fl} = 125\% \cdot 10,8 = 13,5 A, \quad (6)$$

maka dengan MCB ukuran 16 A, dipilih setelan pada,

$$I_t = \frac{I_{soperating}}{I_n} = \frac{13,5}{16} = 84,37 \%. \quad (7)$$

**Tabel 2. Arus Gangguan Bus Load 260-PM-001**

	L-L-L	L-G	L-L	L-L-G
I <sub>hs</sub> (kA)	2.542	1.252	1.232	1.453

Pembulatan nilai setelan pada nilai 85% dari ukuran 16A. Nilai setelan tersebut sudah melindungi motor dari kerusakan termal. Jarak antara titik kritis pengasutan dengan kurva karakteristik MCB 0,829 detik dan selang waktu kerja MCB sebelum batas ketahanan termal 9,286 detik.

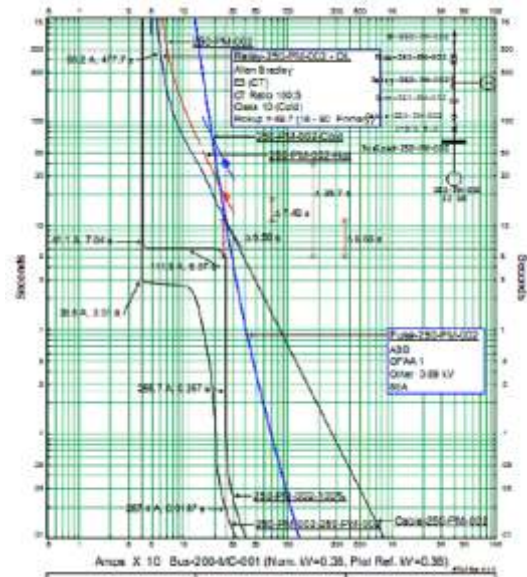
Hubung singkat pada terminal motor 260-PM-001 disimulasikan dengan melakukan simulasi hubung singkat pada Busload-260-PM-001. Hasil simulasi hubung singkat ditampilkan pada Tabel 2. Trip magnetis MCB yang dipilih sudah melindungi motor dari arus gangguan pada terminal motor. Nilai arus gangguan minimal jauh di atas trip magnetis MCB, sehingga diskriminasi dan selektifitas, gangguan sudah dicapai.

**3.2 Perancangan Proteksi Arus Lebih Motor 22 kW 250-PM-002**

Motor 250-PM-002 sebagai penggerak pompa sentrifugal pada *Wet Process* MCC memiliki daya 22 kW atau setara 30 HP. Batas waktu ketahanan termal motor kondisi arus blok rotor suhu panas adalah 19 detik dan 40 detik pada suhu dingin.

Persamaan karakteristik torsi terhadap kecepatan untuk beban pompa sentrifugal telah dijelaskan pada persamaan (4). Dari nilai inersia dan torsi yang diperoleh, dapat dihitung waktu pengasutan motor 250-PM-002 sesuai dengan persamaan (1). Nilai waktu pengasutan selama 6,07 detik.

Kurva karakteristik pengasutan statis ditampilkan pada Gbr.3 dengan penanda 250-PM002-100%. Besar arus blok rotor adalah sebesar 255,7 A dengan arus beban penuh sebesar 41,1 A. Sementara itu dari hasil pengasutan motor dinamis pada ETAP 6.0.0 diperoleh karakteristik pengasutan dengan penanda 250-PM-002 pada, Gbr.3. Waktu pengasutan dari studi pengasutan dinamis adalah 3,01 detik untuk mencapai arus beban penuh sebesar 39,8 A.



**Gambar. 3 Proteksi Motor 250-PM-002**

**Tabel 3. Arus Gangguan Bus Load 250-PM-002**

	L-L-L	L-G	L-L	L-L-G
I <sub>hs</sub> (kA)	4.573	3.552	3.913	4.384

Proteksi beban lebih untuk motor dengan daya kurang dari 50 HP menggunakan rele beban lebih karakteristik termal. Untuk mengatasi gangguan hubung singkat digunakan sekring.

Nilai setelan maksimal rele beban lebih termal yang diperbolehkan menurut standar adalah 125% dari arus beban penuh. Acuan nilai arus beban penuh adalah arus beban penuh hasil pengasutan dinamis sebesar 41,7 A. Besar nilai setelan adalah

$$I_{soperat\ ing} = 125\% \cdot I_{fl} = 125\% \cdot 38,9 = 49,7\text{ A} \quad (8)$$

Dengan menggunakan setelan sesuai perhitungan pada 49,7 A pada kurva kelas 10 diperoleh jarak waktu antara kurva rele dengan batas kritis pengasutan 6,56 detik. Jarak kurva rele dengan batas arus blok rotor suhu panas adalah 7,49 detik.

Besar sekring yang digunakan maksimal pada 225% arus beban penuh. Perhitungan ukuran sekring adalah sebagai berikut :

$$I_{sekring} = 225\% \cdot I_{fl} = 225\% \cdot 39,8 = 89,5\text{ A} \quad (9)$$

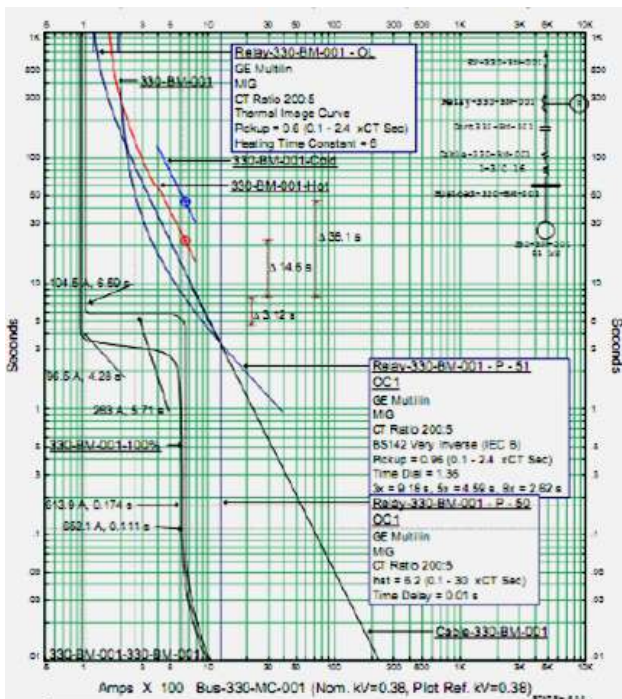
Nilai sekring dipilih nilai terdekat di bawah perhitungan yakni sekring 80 A. Hasil simulasi hubung singkat pada terminal motor pada Tabel 3 menunjukkan bahwa arus hubung singkat berada pada perlindungan sekring.

### 3.3 Perancangan Proteksi Arus Lebih Motor 55 kW 330-BM-001

Motor 330-BM-001 merupakan motor dengan daya 55 kW atau setara dengan 75 HP. Motor menggerakkan kipas *induced draught fan* dan berlokasi pada *Thermal Oil Heater Unit MCC*. Batas waktu ketahanan termal motor ketika arus blok rotor adalah 7 detik pada suhu panas dan 12 detik pada suhu dingin.

Beban kipas memiliki karakteristik tipikal yang sama dengan beban pompa sentrifugal, sehingga persamaan torsi terhadap kecepatan sesuai dengan persamaan(4). Dengan mengetahui besar torsi akselerasi, inersia dan kecepatan motor, maka diperoleh waktu pengasutan motor sesuai persamaan (1) sebesar 5,71 detik.

Kurva karakteristik pengasutan statis ditampilkan pada Gbr.4 dengan penanda 330BM-001-100%. Besar arus blok rotor sebesar 652,1 A dengan arus beban penuh sebesar 104,5 A. Hasil pengasutan dinamis ditampilkan pada Gbr.4 dengan tanda 330-BM-001-330-BM001. Waktu pengasutan dari studi pengasutan dinamis adalah 4,28 detik untuk mencapai arus beban penuh sebesar 96,5 A.



Gambar. 4 Proteksi Motor 330-BM-001.

Motor 330-BM-001 memiliki daya di atas 50 HP, sehingga dilindungi dengan rele beban lebih tipe termal, rele arus lebih *inverse* dan *instant-neous*.

Setelan rele beban lebih dipasang pada 125% arus beban penuh, maka nilai setelannya,

$$I_{soperating} = 125\% \cdot I_{fl} = 125\% \cdot 98,4 = 120,6A. \quad (10)$$

Sebagai akibatnya, setelan berada pada nilai  $120,625/200 = 0,60$  CT primer. Koordinasi dengan OCR *inverse* untuk dapat melakukan selektifitas terhadap gangguan arus lebih.

Standar maksimal setelan rele inverse adalah 300% dari arus beban penuh, dapat dipilih setelan pada 200% beban penuh, yakni sebagai berikut,

$$I_{setting \text{ OCR}} = 200\% \cdot I_{fl} = 200\% \cdot 96,5 = 193A. \quad (11)$$

Dengan CT 200:5, maka nilai setelan pada primer CT adalah,

$$I_{setting \text{ CT}} = \frac{I_{setting \text{ OCR}}}{I_{primer \text{ CT}}} = \frac{193}{200} = 0,96 \cdot \text{CT} = 192 \text{ A}. \quad (10)$$

Waktu kerja rele pada TMS 1, ketika arus blok rotor sebesar 652 A adalah :

$$t_{kerja} = \frac{13,5}{(625/192)} \cdot 1 = 3,63 \text{ detik} \quad (11)$$

Waktu kerja pada TMS 1 detik tersebut belum dapat memperbolehkan motor untuk diasut karena lebih cepat dari waktu pengasutan motor. TMS harus disetel dengan memberikan jarak aman 2 detik setelah pengasutan motor berhasil.

$$t_{kerja} = t_{start} + \Delta t = 5,71 + 2 = 7,71 \text{ detik}. \quad (12)$$

$$\text{TMS} = \frac{7,71((625/192)-1)}{13,5} = 1,36 \text{ detik} \quad (13)$$

Jarak waktu kerja rele arus lebih dengan bebas blok rotor adalah 14,6 detik. Setelan rele arus lebih *instantaneous* maksimal pada 1300% dari arus beban penuh dengan nilai :

$$I_{set \text{ instant}} = 1300\% \cdot I_n = 1300\% \cdot 96,5 = 1254,5 \text{ A} \quad (11)$$

Perbandingan CT yang digunakan adalah 200:5, maka dipilih setelan pada 6,2 kali CT primer atau senilai 1240 A.

Tabel 4 menunjukkan arus hubung singkat hasil simulasi hubung singkat pada terminal motor 330-BM-001. Dari hasil tersebut disimpulkan bahwa nilai arus hubung singkat berada dalam perlindungan OCR *instantaneous*

**Tabel 4. Arus Gangguan Bus Load 30-BM-001**

	L-L-L	L-G	L-L	L-L-G
I <sub>hs</sub> (kA)	14.341	12.299	12.195	14.209

## 4 Kesimpulan

Dari uraian di atas, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

Perancangan proteksi motor listrik bahwa setiap tingkatan daya motor listrik memerlukan tipe proteksi tertentu, pemilihan kurve waktu-arus, sedemikian sehingga menghasilkan setelah yang berada di bawah kurve ketahanan termal (ANSI Curve), sehingga setting tersebut terkoordinasi, selektif dan diskriminatif.

## 5 Referensi

- [1]. Jackson, L.Guy., dkk, "IEEE Std 399 - 1997 - IEEE Recommended Practice for Industrial and Commercial Power Systems Analysis," IEEE-SA Standard Board. USA, 1997.
- [2]. Gardel, Jonatan D., dkk, "IEEE Std C37.96-2000 – IEEE Guide for AC Motor Protection," IEEE-SA Standard Board. USA, 2000.
- [3]. SNI 04-0225-2000-PUIL-2000, Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000, Badan Standard Nasional, Jakarta, 2000.
- [4]. Cook, Carey., dkk, "IEEE Std 242 – 2001 –Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems," IEEE-SA Standard Board. USA, 2001.