

ANALISIS KOORDINASI DAN SETTING RELE ARUS LEBIH SEBAGAI PENGAMAN MOTOR INDUKSI 6,3 KV DI UNIT SWBD 1 DAN 2 PLTU REMBANG DENGAN ETAP 12.6.0

Fauzan Haidar Abdurrahman^{*)}, Jaka Windarta, dan Mochammad Facta

Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro, Semarang
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)}E-mail: fauzanhaidarabdurrahman@gmail.com

Abstrak

Motor induksi merupakan salah satu jenis mesin listrik yang digunakan secara luas karena memiliki keandalan yang tinggi dan harga yang murah. Mengingat peran motor induksi yang vital, maka diperlukan sistem proteksi yang baik sehingga dapat melindungi motor induksi ketika terjadi gangguan hubung singkat. Salah satu ciri motor induksi adalah arus start yang beberapa kali dari arus nominal motor. Pada kondisi normal ini tidak boleh menyebabkan bekerjanya sistem pengaman arus lebih yang berarti setting waktu kerja rele harus lebih besar dari waktu start motor. Pada penelitian ini menggunakan program bantu ETAP 12.6.0 untuk mensimulasikan setting dan koordinasi rele proteksi arus lebih sehingga dihasilkan sistem pengaman yang dapat melindungi motor induksi ketika terjadi gangguan hubung singkat dan memenuhi standar persyaratan proteksi motor induksi. Setelah dilakukan analisa dan perhitungan setting rele proteksi arus lebih, didapatkan koordinasi relay arus lebih yang tepat dimana relay bekerja dimulai dari titik terdekat gangguan diikuti relay back up nya serta tidak ada kurva yang saling tumpang tindih. Selisih waktu kerja relay pada waktu start motor dengan waktu start motor sudah sesuai dengan standar IEEE C37.96-2000 dan Time grading sudah sesuai dengan standar IEEE 242-1986.

Kata kunci: Motor Induksi, relay arus lebih, koordinasi proteksi

Abstract

Induction motors are one of the most widely used electrical machines because they have high reliability and low price. Given the role of a vital induction motor, a good protection system is needed to protect the induction motor when a short circuit occurs. One characteristic of an induction motor is the starting current which is several times the nominal current of the motor. At normal conditions Overcurrent protection should not be operated, so time operation relay must be greater than the start time of the motor. In this study is used ETAP 12.6.0 to simulate the setting and coordination of overcurrent protection which produce a protection system that can protect the induction motor when a short circuit occurs and to meet the standard protection requirements of induction motor. After analyzing and calculating overcurrent protection relay settings, more precise over current relay coordination are obtained. Relay works starting from the nearest point of the fault followed by its back-up relay and there is no overlapping curves. The difference of the time operation of relay at the start of the motor and time starting of motor is accordance with IEEE C37.96-2000 standard. Time grading among relays is accordance with IEEE 242-1986 standard.

Keywords: Induction Motor, Over Current Relay, Coordination Protection

1. Pendahuluan

Motor induksi sering digunakan karena harganya murah, handal, dan memiliki efisiensi yang tinggi [2]. Mengingat peran motor induksi yang vital, maka diperlukan sistem proteksi yang baik sehingga dapat melindungi motor induksi ketika terjadi gangguan hubung singkat yang dapat menyebabkan kerusakan pada motor induksi.

Salah satu ciri motor induksi adalah arus start yang beberapa kali dari arus nominal motor [3]. Pada kondisi normal ini tidak boleh menyebabkan bekerjanya sistem

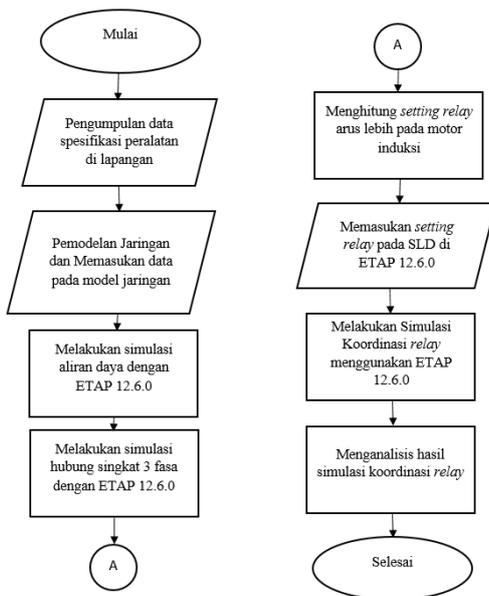
pengaman arus lebih yang berarti setting waktu kerja rele harus lebih besar dari waktu start motor. Lalu motor induksi juga rentan terhadap gangguan arus lebih sehingga diperlukan sistem proteksi yang koordinatif dan selektif terhadap gangguan [4]. Untuk meminimalisir gangguan diperlukan sistem proteksi yang memenuhi persyaratan sensitifitas, keandalan, selektifitas, dan kecepatan, yang semuanya tergantung pada ketepatan dalam setting peralatan proteksinya, selain itu kordinasi antar relay menentukan keandalan suatu sistem proteksi. Salah satu kordinasi antar relay yang harus dijaga adalah koordinasi relay arus lebih [5]. Pada sistem proteksi untuk menjaga

dan meningkatkan performa sistem proteksi perlu dilakukan suatu studi analisis terhadap koordinasi relay proteksi yang digunakan [6].

Pada IEEE std C37.96-2000 tentang petunjuk untuk proteksi motor dijelaskan bahwa untuk perlindungan motor induksi dapat digunakan relay arus lebih dengan kombinasi karakteristik inverse dan instantaneous [7], sedangkan pada jaringan tegangan menengah distribusi daya pemakaian sendiri PLTU Rembang menggunakan relay arus lebih dengan karakteristik definite. Karena itu pada Penelitian ini akan dilakukan analisis terhadap kerja dari relay arus lebih dengan karakteristik definite yang digunakan di PLTU Rembang, serta melakukan analisis terhadap kerja relay arus lebih dengan karakteristik inverse dan instantaneous dari hasil perhitungan berdasarkan IEEE std C37.96-2000 tentang petunjuk untuk proteksi motor. Analisis ini dilakukan karena karakteristik inverse memiliki perbedaan dengan karakteristik definite, sehingga dengan dilakukan analisis ini diharapkan dapat mengetahui karakteristik yang lebih baik dalam proteksi motor induksi. Hal ini dikarenakan pada sistem proteksi untuk memperoleh kerja yang maksimal harus memenuhi beberapa persyaratan seperti sensitifitas, selektifitas, dan kecepatan. Pada Penelitian ini menggunakan program bantu ETAP 12.6.0 untuk mensimulasikan setting dan koordinasi rele proteksi arus lebih sehingga dihasilkan sistem pengamanan yang dapat melindungi motor induksi ketika terjadi gangguan hubung singkat dan memenuhi standar persyaratan sistem proteksi.

2. Metode

2.1. Langkah Penelitian

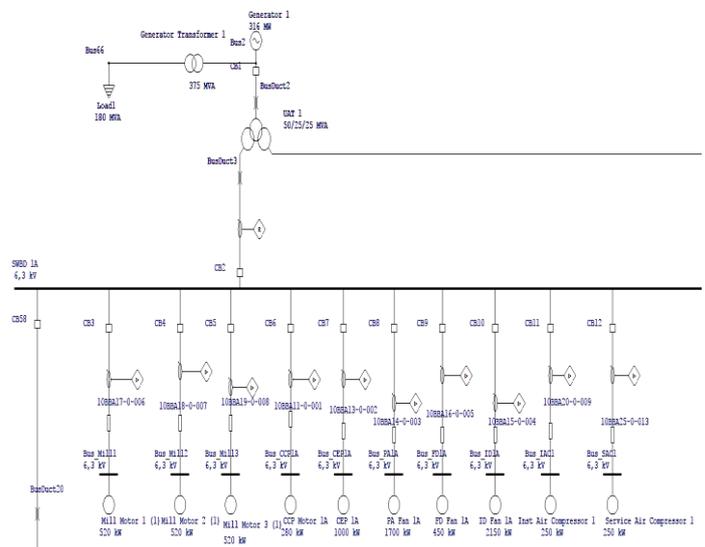


Gambar 1. Diagram Alir Langkah Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk Menghitung dan menganalisis setting rele arus lebih agar didapatkan setting rele arus lebih yang sesuai dengan standar IEEE C37.96-2000 tentang perlindungan motor induksi. Langkah-langkah yang dilakukan pada penelitian ini ditunjukkan pada gambar 1.

2.2. Pengumpulan Data

Data-data yang diperlukan dalam penelitian ini diperoleh dari PT. PJB UBJOM PLTU Rembang. Data-data tersebut meliputi data generator, data transformator, data penghantar, data setting relay arus lebih, dan data motor induksi dari jaringan tegangan menengah distribusi daya pemakaian sendiri PLTU Rembang, *Single line diagram* jaringan tegangan menengah distribusi daya pemakaian sendiri PLTU Rembang ditunjukkan pada gambar 2.



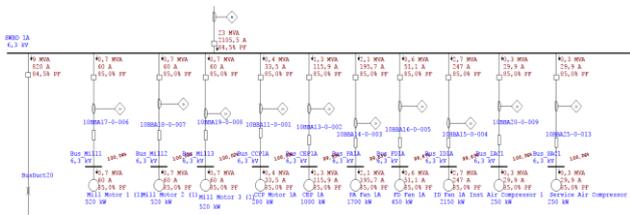
Gambar 2. Single Line Diagram

3. Hasil dan Analisa

3.1. Load Flow Analysis

Simulasi aliran daya dilakukan untuk mendapatkan nilai arus yang mengalir ketika beban beroperasi penuh. Nilai arus beban penuh akan digunakan untuk perhitungan nilai *setting* minimal arus *pickup* pada *relay*.

Analisis *load flow* pada Penelitian ini dilakukan dengan simulasi menggunakan ETAP 12.6.0. Pada program ETAP 12.6.0 simulasi aliran daya (*load flow*) dilakukan dengan cara memilih menu “Load Flow Analysis”, Kemudian memilih pilihan “run load flow”. Tampilan *load flow analysis* pada busbar SWBD 1A dapat dilihat pada Gambar 3. Sedangkan hasil simulasi *load flow* dapat dilihat pada tabel 1.



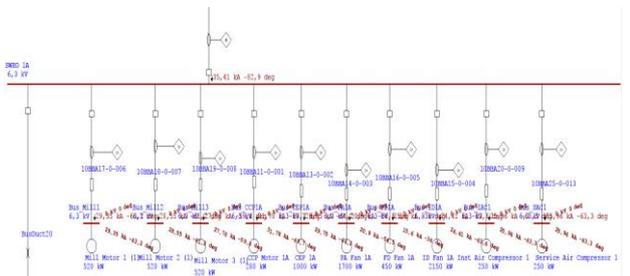
Gambar 3. Simulasi load flow analysis pada busbar SWBD 1A dengan ETAP 12.6.0

Tabel 1. Arus beban penuh busbar SWBD 1A hasil simulasi pada ETAP 12.6.0

From	Bus	To	Full Load Ampere (A)
UAT 1	SWBD 1A	SWBD 1A	2105,5
SWBD 1A	SWBD 1A	CCP 1A	33,5
SWBD 1A	SWBD 1A	CEP 1A	115,9
SWBD 1A	SWBD 1A	FD 1A	51,1
SWBD 1A	SWBD 1A	IAC 1	29,9
SWBD 1A	SWBD 1A	ID 1A	247
SWBD 1A	SWBD 1A	Mill 1	60
SWBD 1A	SWBD 1A	Mill 2	60
SWBD 1A	SWBD 1A	Mill 3	60
SWBD 1A	SWBD 1A	PA 1A	195,7
SWBD 1A	SWBD 1A	SAC 1	29,9

3.2. Analisis Gangguan Hubung Singkat

Simulasi arus hubung singkat dilakukan dengan ETAP 12.6.0 untuk mengetahui besarnya nilai arus gangguan. Analisis gangguan hubung singkat dilakukan dengan memberikan gangguan pada bus di *single line diagram* jaringan. Nilai arus hubung singkat ini akan digunakan sebagai batas maksimal untuk penentuan nilai *setting* arus *pickup*. Nilai arus gangguan hubung singkat yang digunakan dalam perhitungan *setting relay* arus lebih adalah arus hubung singkat 3-fasa. Tampilan simulasi gangguan hubung singkat pada busbar SWBD 1A dapat dilihat pada Gambar 4. Sedangkan hasil simulasi *hubung singkat* dapat dilihat pada tabel 2.



Gambar 4. Simulasi arus gangguan hubung singkat pada busbar SWBD 1A dengan ETAP 12.6.0

Tabel 2. Tabel arus gangguan hubung singkat busbar SWBD 1A hasil simulasi ETAP 12.6.0

Bus	Tegangan (kV)	Arus Gangguan Hubung Singkat (kA)
SWBD 1A	6,3	35,409
CCP 1A	6,3	31,78
CEP 1A	6,3	29,754
FD 1A	6,3	15,604
IAC 1	6,3	25,956
ID 1A	6,3	24,407
Mill 1	6,3	29,349
Mill 2	6,3	28,547
Mill 3	6,3	27,758
PA 1A	6,3	20,9
SAC 1	6,3	25,956

3.3. Setting Existing Relay Proteksi Arus lebih

Sebelum melakukan penyetelan ulang atau resetting relay proteksi arus lebih, dilakukan analisis terhadap setting existing pada jaringan tegangan menengah distribusi daya pemakaian sendiri di PLTU Rembang. Data *setting existing relay* arus lebih yang berada pada busbar SWBD 1A dapat dilihat pada tabel 3 untuk *setting low set* dan tabel 4 untuk *setting high set*.

Tabel 3. Setting low set relay proteksi arus lebih existing

ID ETAP	Brands	CT Ratio	Kurva	Setting Relay Arus Lebih	
				Pick up	TMS
Relay_UAT1A	AREVA	4000/1	Standard Inverse	0,69	1
Relay_Mill1	ABB	75/5	Definite	6	1,75
Relay_Mill2	ABB	75/5	Definite	6	1,75
Relay_Mill3	ABB	75/5	Definite	6	1,75
Relay_CCP1A	ABB	50/5	Definite	6	4
Relay_CEP1A	ABB	150/5	Definite	6	15
Relay_PA1A	ABB	250/5	Definite	4,83	0,05
Relay_FD1A	ABB	75/5	Definite	6	20
Relay_ID1A	ABB	300/5	Definite	5	0,05
Relay_IAC1	ABB	40/5	Definite	5,5	8
Relay_SAC1	ABB	40/5	Definite	5,5	8

Tabel 4. Setting high set relay proteksi arus lebih existing

ID ETAP	Brands	CT Ratio	Kurva	Setting Relay Arus lebih	
				Pick up	TMS
Relay_Mill1	ABB	75/5	Instantaneous	4,5	0,05
Relay_Mill2	ABB	75/5	Instantaneous	4,5	0,05
Relay_Mill3	ABB	75/5	Instantaneous	4,5	0,05
Relay_CCP1A	ABB	50/5	Instantaneous	4,5	0,05
Relay_CEP1A	ABB	150/5	Instantaneous	4,5	0,05
Relay_FD1A	ABB	75/5	Instantaneous	4,5	0,05
Relay_IAC1	ABB	40/5	Instantaneous	4,13	0,05
Relay_SAC1	ABB	40/5	Instantaneous	4,13	0,05

3.4. Resetting Relay Proteksi Arus Lebih

3.4.1. Setting Low Set Relay Proteksi Arus Lebih

Penyetelan ulang (*resetting*) relay proteksi arus lebih membutuhkan arus beban penuh atau *Full Load Ampere* (FLA) pada tabel 1 dan arus hubung singkat (*Isc min*) pada tabel 2 untuk menentukan arus *setting* (*pick up*). Nilai-nilai tersebut kemudian dimasukkan ke persamaan 1 untuk menentukan arus setting (*Iset*) dan kemudian arus setting (*Iset*) dimasukkan ke persamaan 2 untuk menentukan nilai *pick up*

$$1.3 * I_{FLA} \leq I_{set} \leq 0,8 * I_{sc \text{ minimum}} \quad (1)$$

$$Pick \ up = \frac{I_{set}}{CT \ primer} \quad (2)$$

Sedangkan untuk menentukan TMS pada *relay* arus lebih tipe *Very inverse* menggunakan persamaan 3 berikut [11] :

$$TMS = \frac{t \times 7}{\left(\frac{19,61}{\left(\frac{I_{start}}{I_{set}}\right)^2 - 1}\right) + 0,491} \quad (3)$$

Berdasarkan IEEE std C37.96-2000, untuk rele proteksi arus lebih pada motor induksi harus mempunyai selisih waktu kerja relay pada waktu start dengan waktu start motor sekitar 2-5 detik [7]. Sedangkan selisih jeda waktu kerja relay utama dengan *relay back up* nya adalah 0,2-0,4 detik sesuai IEEE Standard 242-1986[17]. Namun, jeda waktu 0,5 detik masih diijinkan [12]. Berikut merupakan contoh perhitungan untuk *setting relay* CCP 1A

Dipilih kurva	: <i>Very Inverse</i>
<i>I Start Motor</i>	: 217,75 A
<i>Isc min</i>	: 31780 A
Arus beban Penuh (FLA)	: 33,5 A
CT Ratio	: 50/5
Waktu Start Motor	: 4 detik
Waktu Operasi saat Start	: 6 detik

Arus Setting

$$1,3 * FLA \leq I_{set} \leq 0,8 * I_{sc \ min}$$

$$1,3 * 33,5 \leq I_{set} \leq 0,8 * 31780$$

$$43,55 \leq I_{set} \leq 25424$$

Dipilih *Iset* sebesar 134 A, maka nilai *pick up* dan TMS adalah sebagai berikut

$$Pick \ up = \frac{I_{set}}{CT \ primer} = \frac{134 \ A}{50 \ A} = 2,68 \quad (4)$$

$$TMS = \frac{t \times 7}{\left(\frac{19,61}{\left(\frac{I_{start}}{I_{set}}\right)^2 - 1}\right) + 0,491} = \frac{6 \times 7}{\left(\frac{19,61}{\left(\frac{217,75}{134}\right)^2 - 1}\right) + 0,491} = 3,375 \quad (5)$$

Setelah itu menghitung nilai waktu kerja relay (top) saat pengujian gangguan 3 fasa dengan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} top &= \left(\left(\frac{19,61}{\left(\frac{I_{3fasa}}{I_{set}}\right)^2 - 1} \right) + 0,491 \right) \times \frac{TMS}{7} \\ &= \left(\left(\frac{19,61}{\left(\frac{31780}{134}\right)^2 - 1} \right) + 0,491 \right) \times \frac{3,375}{7} \\ &= 0,2369 \end{aligned}$$

3.4.2. Setting High Set Relay Proteksi Arus Lebih

Nilai *pickup high set relay* arus lebih ditentukan berdasarkan IEEE std C37.96-2000, relay ini dapat diset antara 165% - 250% dari arus starting motor. Namun biasanya ditambahkan sebesar 10% - 25% sebagai faktor aman (*safety factor*) ketika setting arus dihitung [7]. Contoh pada perhitungan *high set relay* CCP 1A.

Pada relay CCP1A, relay arus lebih instaneous diset 200% (175% ditambah faktor keamanan 25%) dari arus starting motor yang bernilai 217,75 A sehingga *Iset* bernilai 435,5 A. Maka nilai *pick up* adalah sebagai berikut:

$$Pick \ up = \frac{I_{set}}{CT \ primer} = \frac{435,5 \ A}{50 \ A} = 8,71 \quad (6)$$

3.4.3. Rekapitulasi Perhitungan Resetting Relay Proteksi Arus Lebih

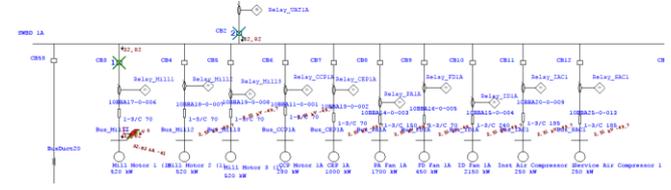
Setelah dilakukan penyetelan ulang/*resetting relay* Arus Lebih dengan cara yang sama pada perhitungan 4,5 dan 6, maka dapat dibuat rekapitulasi hasil perhitungan pada tabel 5 untuk *setting low set* dan tabel 6 untuk *setting high set*.

Pada tabel 5 dapat dilihat hasil perhitungan *resetting low set relay* proteksi arus lebih yang digunakan pada tegangan menengah 6,3 kV jaringan distribusi daya pemakaian sendiri PLTU Rembang. Kurva karakteristik yang digunakan pada setiap relay arus lebih diatas adalah tipe *Very inverse*. Hasil perhitungan *Time Multiple Setting* (TMS) dan *pick up* arus setting (*Iset*) berbeda-beda sesuai dengan spesifikasi motor induksi pada setiap feeder.

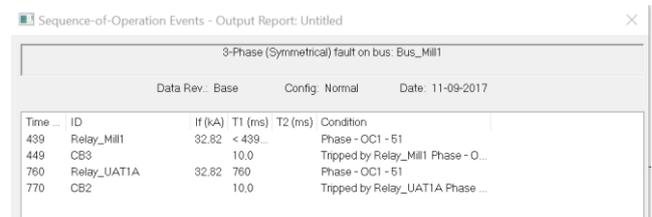
Pada Tabel 6 Dapat dilihat bahwa hasil perhitungan *resetting high set relay* proteksi arus lebih yang digunakan pada tegangan menengah 6,3 kV jaringan distribusi daya pemakaian sendiri PLTU Rembang. Kurva karakteristik yang digunakan pada setiap relay arus lebih diatas adalah tipe *Instantaneous*. *Pick up* arus setting (*Iset*) yang digunakan berbeda-beda sesuai spesifikasi motor induksi pada setiap feeder.

– 0,4 detik. Lalu pada gambar 8 dapat dilihat bahwa setting pickup relay mill 1 sudah benar yaitu sebesar 450 A sehingga diatas arus starting sebesar 360,3 A. Dengan setting pickup sebesar 450 A maka relay mill 1 akan bekerja ketika dideteksi ada arus sebesar 450 A atau lebih dan bekerja pada waktu 1,75 detik. Setelah dilakukan perhitungan setting rele arus lebih dengan menggunakan standard IEEE dengan karakteristik very inverse, didapatkan hasil yang berbeda dengan setting relay arus lebih dengan karakteristik definite. Hasil resetting relay arus lebih saat terjadi gangguan arus hubung singkat pada bus Mill 1 dapat dilihat pada Gambar 9, 10, dan 11

kondisi existing yang sudah benar karena CB membuka berurutan mulai dari yang terdekat dengan sumber gangguan.

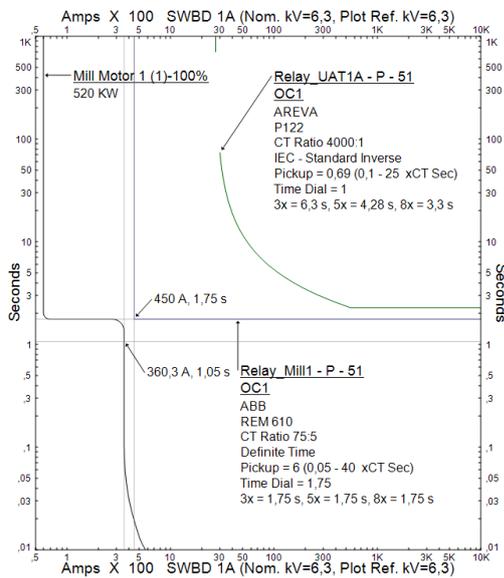


Gambar 9 Koordinasi resetting saat gangguan arus hubung singkat pada bus Mill 1



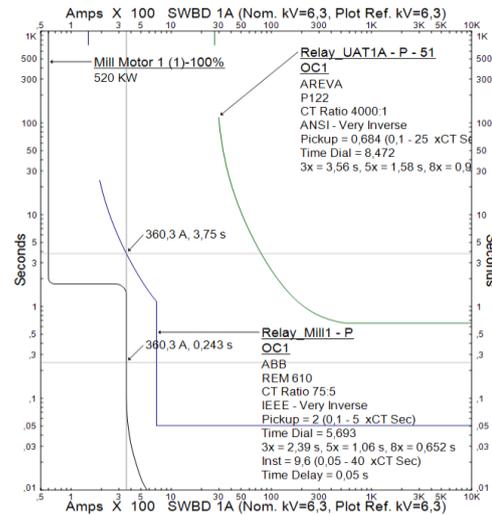
Gambar 10. Urutan kerja relay saat gangguan arus hubung singkat pada bus Mill 1

Gambar 7. Urutan kerja relay saat gangguan arus hubung singkat pada bus Mill 1



Gambar 8. Kurva koordinasi existing saat gangguan arus hubung singkat pada bus Mill 1

Pada Gambar 9 dapat dilihat bahwa pada koordinasi resetting urutan pembukaan circuit breaker ditandai dengan simbol silang dan angka sebagai urutannya. Ketika terjadi gangguan arus hubung singkat pada bus Mill 1 mengakibatkan CB3 terbuka terlebih dahulu, lalu diikuti dengan terbukanya CB2. Hal tersebut sama seperti pada



Gambar 11. Kurva koordinasi resetting saat gangguan arus hubung singkat pada bus Mill 1

Pada Gambar 10 dapat dilihat bahwa ketika bus mill 1 diberi arus gangguan 3 fasa sebesar 32,82 kA maka relay Mill 1 dengan karakteristik very inverse akan bekerja pada waktu 0,439 detik dan selisih waktu kerja atau grading time antara relay Mill 1 dan Relay UAT 1A bernilai 0,321 detik sehingga nilai ini sudah memenuhi standar IEEE 242 yaitu 0,2 detik – 0,4 detik. Lalu pada Gambar 11 dapat dilihat bahwa waktu kerja dari relay mill 1 pada kondisi motor starting bernilai 3,75 detik sedangkan waktu start motor selama 1,75 detik, hal ini sudah memenuhi standar IEEE std C37.96-2000 dimana selisih waktu kerja relay pada waktu start dengan waktu start motor sekitar 2-5 detik.

Selanjutnya nilai pickup dari setting high set relay Mill 1 kondisi resetting bernilai 9,6 sehingga arus setting high set nya bernilai 720. Hal ini sudah sesuai dengan standar IEEE std C37.96-2000 dimana arus setting untuk relay ini diset antara 165% - 250% dari arus starting, sehingga arus setting high set dari relay ini seharusnya bernilai lebih dari 594 A.

3.5. Rekapitulasi Setting Relay Proteksi Arus Lebih

Setelah dilakukan perhitungan dan penyetelan ulang pada resetting relay proteksi arus lebih, terdapat perbedaan antara setting existing dan hasil resetting. Rekapitulasi perbandingan dari setting relay proteksi arus lebih existing dan hasil resetting dapat dilihat pada Tabel 7 untuk setting low set dan Tabel 8 untuk setting high set

Pada Tabel 7 dapat dilihat bahwa terdapat perbedaan antara nilai pick up dan TMS pada kondisi existing dengan nilai pick up dan TMS pada kondisi resetting. Hal ini dikarenakan setting low set pada kondisi existing menggunakan karakteristik definite sedangkan setting low set pada kondisi resetting menggunakan karakteristik inverse. Pada kondisi existing nilai TMS dari tiap relay ditentukan dengan menyesuaikan waktu kerja relay dengan waktu starting dari masing-masing motor induksi, sedangkan pada kondisi resetting nilai TMS ditentukan dengan perhitungan menggunakan persamaan standar IEEE dengan karakteristik Very Inverse dan berdasarkan standar IEEE std C37.96-2000 dimana untuk rele proteksi arus lebih pada motor induksi harus mempunyai selisih waktu kerja relay pada waktu start dengan waktu start motor sekitar 2-5 detik. Lalu pada kondisi existing nilai pickup dari tiap relay ditentukan dengan menyesuaikan arus setting dengan arus starting dari masing-masing motor, sedangkan pada kondisi resetting nilai pickup ditentukan dengan memperhatikan range arus setting yaitu $1,3 * Full Load Ampere \leq Arus Setting \leq 0,8 * Arus Gangguan Hubung Singkat$

Pada Tabel 8 dapat dilihat bahwa terdapat perbedaan antara nilai pick up pada kondisi existing dengan nilai pick up pada kondisi resetting. Hal ini dikarenakan pada kondisi resetting nilai pickup ditentukan berdasarkan standar IEEE std C37.96-2000 dimana relay ini diset antara 165% - 250% dari arus starting motor serta ditambahkan sebesar 10% - 25% sebagai faktor aman (safety factor) ketika setting arus dihitung.

Tabel 7. Rekapitulasi setting low set relay proteksi arus lebih

Relay	Existing		Resetting	
	Pickup	TMS	Pick up	TMS
Relay_Mill1	6	1,75	2	5,69
Relay_Mill2	6	1,75	2	5,69
Relay_Mill3	6	1,75	2	5,69
Relay_CCP1A	6	4	2,68	3,375
Relay_CEP1A	6	15	3,28	5,88
Relay_PA1A	4,83	0,05	3,52	9,06
Relay_FD1A	6	20	2,52	12,29
Relay_ID1A	5	0,05	2,88	6,86
Relay_IAC1	5,5	8	2,31	7,27
Relay_SAC1	5,5	8	2,31	7,27

Tabel 8. Rekapitulasi setting high set relay proteksi arus lebih

Relay	Existing		Resetting	
	Pick Up	TMS	Pick up	TMS
Relay_Mill1	4,5	0,05	9,6	0,05
Relay_Mill2	4,5	0,05	9,6	0,05
Relay_Mill3	4,5	0,05	9,6	0,05
Relay_CCP1A	4,5	0,05	8,71	0,05
Relay_CEP1A	4,5	0,05	9,272	0,05
Relay_PA1A	4,83	0,05	10,17	0,05
Relay_FD1A	4,5	0,05	8,17	0,05
Relay_ID1A	5	0,05	9,88	0,05
Relay_IAC1	4,13	0,05	8,22	0,05
Relay_SAC1	4,13	0,05	8,22	0,05

4. Kesimpulan

Pada hasil analisis koordinasi *relay arus lebih* menggunakan ETAP 12.6.0 dapat dilihat relay dengan karakteristik definite pada kondisi existing apabila setting pickup diatas arus starting motor maka relay tidak akan bekerja pada kondisi start motor namun waktu kerja relay dengan karakteristik definite tidak tergantung oleh besarnya arus yang terdeteksi oleh relay sehingga apabila relay mendeteksi arus gangguan yang kecil maupun besar maka waktu kerjanya tetap sama. Sedangkan pada relay dengan karakteristik very inverse waktu kerjanya tergantung dari besar atau kecilnya arus sehingga pada pengujian ketika relay mendeteksi arus gangguan yang besar, waktu kerja relay dengan karakteristik very inverse lebih cepat dibandingkan relay dengan karakteristik definite. Pada kondisi *resetting relay* menunjukkan koordinasi yang sudah sesuai, dimana *CB trip* dimulai dari yang terdekat dengan gangguan diikuti *CB back up* nya. Selain itu, tidak ada kurva yang saling tumpang tindih dan berpotongan, Selisih waktu kerja relay pada waktu start motor dengan waktu start motor sudah sesuai dengan standar IEEE C37.96-2000 dimana selisih waktu kerja relay pada waktu start dengan waktu start motor sekitar 2-5 detik dan Jeda waktu kerja antar relay sudah sesuai dengan standar IEEE Standart 242-1986, yaitu 0,2-0,4 detik.

Referensi

- [1]. Risangpajar, Ladislaus. "Evaluasi Koordinasi Setting Rele Proteksi OCR Pada Jaringan Distribusi Daya Pemakaian Sendiri di PT Indonesia Power Unit Pembangunan Semarang Tambak Lorok Blok 1 dengan ETAP 7.5.0". Jurusan Teknik Elektro Undip, Transient Vol. 4, No. 3, Sep. 2015.
- [2]. Pradipta, Muhamad Hami. "Pengereman Dinamis Konvensional Pada Motor Induksi Tiga Fasa". Jurusan Teknik Elektro Undip, Transient Vol. 3, No. 4, Des. 2014.
- [3]. Winarto, Febrian Nugroho. "Perancangan Modul dan Perbandingan Metode Starting dan Pengaturan Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa". Jurusan Teknik Elektro Undip, Transient Vol. 4, No. 1, Mar. 2015.
- [4]. Tiyono. "Perancangan Setting Rele Proteksi Arus Lebih Pada Motor Listrik Industri". Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi Universitas Gajah Mada, Transmisi Vol. 15 No. 41, 2013.

- [5]. Setiajie, Prayoga. “*Evaluasi Setting relay Arus Lebih dan Setting Relay Gangguan Tanah Pada Gardu Induk Sronдол*”. Jurusan Teknik Elektro Universitas Diponegoro, Transient Vol. 4, No. 2, Jun. 2015.
- [6]. Pamungkas, Ari Catur. “*Analisis Koordinasi dan Setting Rele Proteksi Generator dan Trafo Step Up di PLTU Tanjung Jati B Unit 1*”. Jurusan Teknik Elektro Undip, Transient Vol. 4, No. 4, Des. 2015.
- [7]. IEEE Guide for AC Motor Protection, IEEE standart C37.96-2000
- [8]. Wildi, Theodore. “*Electrical machines, drives, and Power Systems*” Prentice-Hall International, 2002
- [9]. Stephen J. Chapman, *Electric Machinery Fundamentals Fifth Edition* (New York : Megraw Hill, 2012).
- [10]. Sulasno. “ *Analisis Sistem Tenaga Listrik*”. Badan Penerbit Undip. Semarang. 1993
- [11]. Panjaitan, Bonar. *Praktik-praktik Proteksi Sistem Tenaga Listrik* (Yogyakarta : Andi Offset, 2012).
- [12]. Alstom. “*Network Protection & Automation Guide*”. Alstom Grid, Stafford, England. 2011.
- [13]. Mason, C.Ruseel. “*The art and science of protective Relaying*”, Wiley.1996.
- [14]. S. Rao, Sunil. “*Switchgear Protection And Power System*”. Khanna Publishers. New Delhi-India. 2010.
- [15]. Taqiyyuddin A, Muhammad."Proteksi Sistem Tenaga Listrik-Seri Relay Elektromagnetis".Badan Penerbit Universitas Islam Malang.2006
- [16]. Stevenson, William D. “*Analisis Sistem Tenaga Listrik*”. Erlangga. 1996.
- [17]. IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power System, IEEE Standart 242- 1986.