

ANALISIS KOORDINASI *RESETTING RELAY* OCR, GFR DAN *RECLOSER* PASCA *UPRATING* TRANSFORMATOR TENAGA PADA GARDU INDUK 150 KV MOJOSONGO BOYOLALI

Billy Pratama Putra Jadmiko^{*)}, Agung Nugroho, dan Hermawan.

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

^{*)}Email : billypratama.0707@gmail.com

Abstrak

Gardu Induk Mojosoongo merupakan sebuah Gardu Induk 150 kV, terletak di Kabupaten Boyolali. Gardu Induk ini memiliki 2 unit Transformator Tenaga di mana pada tahun 2017 Trafo unit II mengalami *uprating* dari 30 MVA ke 60 MVA. *Uprating* menyebabkan berubahnya *setting relay* proteksi pada penyulang Trafo unit II sehingga harus dilakukan *resetting* pada *relay* proteksi yang bekerja pada Trafo Unit II. Pembahasan dimulai dengan menghitung impedansi penyulang menggunakan MathCAD 15, perancangan simulasi menggunakan ETAP 12.6.0, menghitung arus hubung singkat di tiap titik per 10% dan dibandingkan dengan hasil simulasi menggunakan program ETAP 12.6.0, menentukan *resetting* dari peralatan sistem proteksi yang baik, mensimulasikan pada program ETAP 12.6.0 untuk kemudian dibandingkan dengan *existing*. Dari perhitungan yang dilakukan, *resetting* pada *relay outgoing* penyulang MJO01 diperoleh TMS OCR 0,05 dan GFR 0,09, pada *recloser* diperoleh TMS OCR 0,05 dan GFR 0,07. Pada *relay outgoing* penyulang MJO05 diperoleh TMS OCR 0,08 dan GFR 0,18, pada *recloser* diperoleh TMS OCR 0,1 dan GFR 0,12. Pada *relay outgoing* penyulang MJO07 diperoleh TMS OCR 0,07 dan GFR 0,09, pada *recloser* diperoleh TMS OCR 0,1 dan GFR 0,1. Pada *relay incoming* diperoleh TMS OCR 0,2 dan TMS GFR 0,325.

Kata Kunci : *GI Mojosoongo, uprating, relay proteksi, OCR, GFR, recloser, MathCAD 15, ETAP 12.6.0*

Abstract

Mojosoongo switchyard is a 150 kVs switchyard that located in Boyolali. This switchyard has 2 units of Power Transformer. In 2017 the Unit II Power Transformer got uprated. The uprating caused changing of protection relay's settings so they should reset the protection relay for the best work. The study start by calculating the impedance of feeders with MathCAD 15, designing simulation with ETAP 12.6.0, calculating short-circuit current on every spot every 10% of feeders' length with MathCAD 15 and comparing it with the result of ETAP's short-circuit analysis, determining the best settings of Protection Relay's Equipment, simulating it on ETAP and then comparing it to the existing's setting. From the calculation dan decision before we got the outgoing relay's OCR TMS 0,05 and GFR TMS 0,09, the recloser's OCR TMS 0,05 and GFR TMS 0,07 for MJO01 feeder. We got the outgoing relay's OCR TMS 0,08 and GFR TMS 0,18, the recloser's OCR TMS 0,1 and GFR TMS 0,12 for MJO05 feeder. We got the outgoing relay's OCR TMS 0,07 and GFR TMS 0,09, the recloser's OCR TMS 0,1 and GFR TMS 0,1 for MJO07 feeder. We also got the incoming relay's OCR TMS 0,2 and GFR TMS 0,325.

Keywords : *Mojosoongo switchyard, uprating, protection relay, OCR, GFR, recloser, MathCAD 15, ETAP 12.6.0*

1. Pendahuluan

Berdasarkan Standar ANSI/IEEE Nomor 100 tahun 1992 gangguan di definisikan sebagai suatu kondisi fisis yang disebabkan kegagalan suatu perangkat, komponen, atau suatu elemen untuk bekerja sesuai dengan fungsinya.[2]

Salah satu bentuk gangguan yang terjadi pada sistem distribusi tenaga listrik adalah gangguan hubung singkat baik gangguan tiga fasa, antar fasa maupun gangguan fasa ke tanah [2]. Gangguan hubung singkat tersebut memang

kecil tetapi berpengaruh terhadap sistem penyaluran tenaga listrik [3]. Mengingat bila sistem mendapat gangguan (kerja yang tidak normal) maka sistem tenaga listrik harus dapat memperkirakan hal abnormal, serta harus memperhitungkan peralatan pengaman (proteksi) untuk mencegah adanya gangguan sedini mungkin dan melokalisasi daerah yang terganggu menjadi seminimal mungkin.

Salah satu cara untuk mendapatkan keandalan yang baik untuk sistem adalah dengan mengoptimalkan koordinasi

relay pada jaringan distribusi untuk dapat mencapai mutu penyediaan dan penyaluran tenaga listrik yang handal, dan mampu untuk selalu memenuhi kebutuhan permintaan pelanggan/beban [4].

Dalam perancangan *setting* relay proteksi, maka karakteristik dari gangguan harus dipahami. Berkaitan dengan hal tersebut, teknisi proteksi harus mengenal tentang karakteristik trip dari relay proteksi. Rancangan tersebut harus menjamin bahwa relay tersebut dapat mendeteksi kondisi abnormal/gangguan dan memerintahkan circuit breaker untuk trip dan melokalisir area yang terganggu tanpa mempengaruhi area yang normal. Koordinasi waktu antar peralatan proteksi seperti relay dan protective circuit breaker (recloser) juga penting. Peralatan yang dekat dengan gangguan harus bekerja terlebih dahulu sebelum peralatan backup yang letaknya lebih jauh dari gangguan bekerja [5].

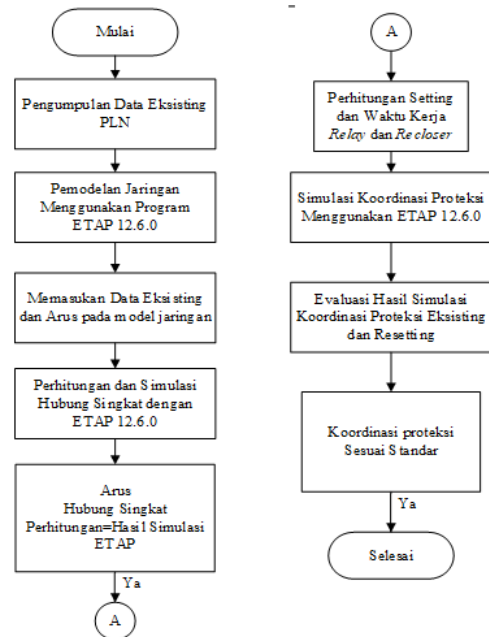
Gardu Induk Mojosongo merupakan Gardu Distribusi listrik di Boyolali yang termasuk dalam Area Klaten, memiliki dua buah Transformator 150/20 kV dan masing – masing memiliki kapasitas 30 MVA. Pada tahun 2017 ini Gardu Induk Mojosongo mengalami *uprating* pada Transformator Unit II dari 30 MVA ke 60 MVA. Transformator Unit II ini memiliki 4 feeder yaitu MJO01, MJO05, MJO06 dan MJO07 serta 1 feeder cadangan, namun hanya 3 feeder yang berfungsi yaitu MJO01, MJO05 dan MJO07. Adanya *uprating* pada Transformator Unit II ini mempengaruhi *setting* dari sistem relay OCR, GFR dan recloser yang ada. Maka dari itu harus dilakukan *resetting* relay tersebut.

Berdasarkan penjelasan di atas penulis menganalisis bahwa dengan adanya *uprating* trafo akan mempengaruhi pengaturan sistem proteksi yang sudah ada dan diperlukan *resetting* peralatan proteksi. Pemodelan dengan diagram satu garis yang ada pada Gardu Induk Mojosongo dan menggunakan bantuan program ETAP 12.6.0 dengan harapan dapat menjadi acuan *setting* relay proteksi pada feeder trafo tenaga unit II Gardu Induk Mojosongo.

2. Metode

2.1. Langkah Penelitian

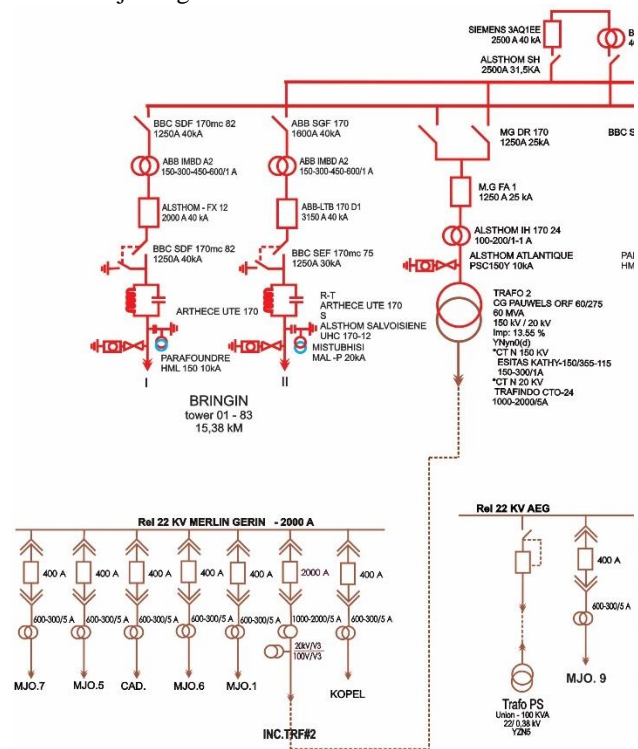
Pada penelitian ini menjelaskan tentang proses analisis pengaruh *uprating* Trafo II GI Mojosongo terhadap besarnya arus gangguan hubung singkat dan *setting* relay pada jaringan distribusi untuk menentukan koordinasi *relay* dan *recloser*, kemudian akan di lakukan evaluasi *setting* relay yaitu *relay* arus lebih dan *relay* hubung tanah di sisi *incoming* dan *outgoing* serta di *recloser* pada Gardu Induk Mojosongo. Perangkat lunak yang akan di gunakan adalah *Electrical Transient Analysis Program* (ETAP) 12.6.0. Secara umum langkah penelitian yang dilakukan sebagaimana terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Langkah Penelitian Analisis Koordinasi Proteksi Relay dan Recloser

2.2. Data Sistem

Pada tahun 2017 dilakukan *uprating* pada Trafo II GI Mojosongo dari 30 MVA menjadi 60 MVA. *Single line diagram* dari penyulang pada Trafo II Gardu Induk Mojosongo Gambar 2.



Gambar 2. Single Line Diagram Outgoing Feeder Trafo II GI Mojosongo [6]

Adapun data yang digunakan untuk analisis ini adalah seperti pada Tabel berikut:

• **Data Sistem Eksisting**

Tabel 1. Data Relay OCR dan GFR Incoming [7]

Data Relay OCR & GFR Incoming	
Merk	AREVA
Type	MICOM P122
Karakteristik	Standar Invers
I setting OCR	1,04In
I setting GFR	0,35Ien
Rasio CT	1000/5
TMS OCR	0,25
TMS GFR	0,45

Tabel 2. Data Relay OCR dan GFR Outgoing [8]

Feeder	Merk	Rasio CT	Kurva	OCR		GFR	
				I _{set} (A)	TMS	I _{set} (A)	TMS
MJO01	ABB REF 615	800/5	SI	480	0,2	240	0,25
MJO05	ABB REF 615	800/5	SI	480	0,2	240	0,25
MJO07	ABB REF 615	800/5	SI	480	0,2	240	0,25

Tabel 3. Data Recloser Penyulang [8]

Feeder	Kurva	Jarak	OCR		GFR	
			TMS	Iset	TMS	Iset
MJO 01	IEC SI	11.76	0,05	150	0,05	75
MJO 05	IEC SI	6.6	0,1	350	0,1	150
MJO 07	IEC SI	15.66	0,1	250	0,1	100

Tabel 4. Data Penyulang [8]

Penyulang	Panjang (km)	Beban (A)	Tegangan Pangkal Terukur (KV)
MJO01	25.912	155	20.8
MJO05	8.444	296	20.76
MJO07	36.088	273	20.79

Tabel 5. Data Teknis Penghantar [8]

Jenis	Luas (mm ²)	KHA (A)	Z ₁ =Z ₂ (ohm/Km)		Z ₀ (ohm/Km)	
			R	jX	R	jX
AAAC	240 mm ²	585	0,1344	0,3158	0,2824	1,6034

Tabel 6. Data Power Grid [7]

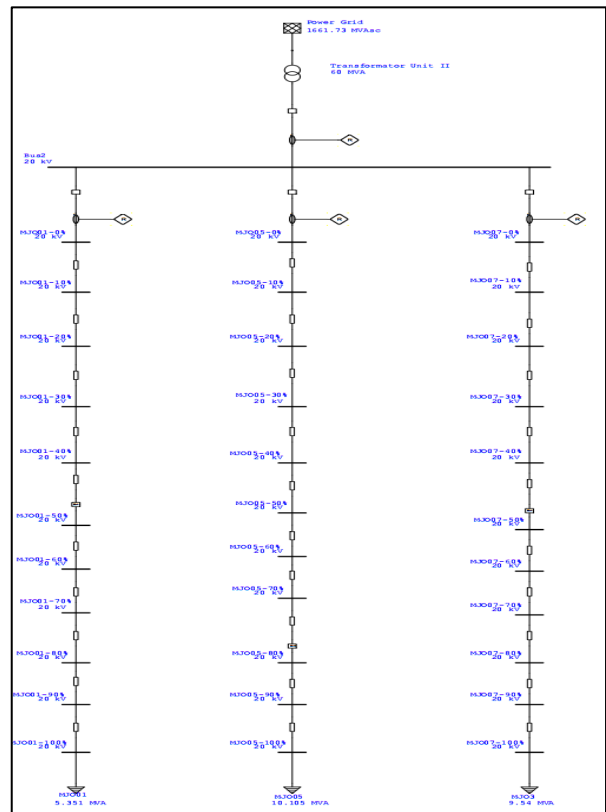
Kondisi	MVAsc 3 fasa
Uprating	1661.73

Tabel 7. Data Trafo Tenaga [7]

Data Trafo Tenaga	
Merk	PAUWELS
Daya	60 MVA
Tegangan	150 / 20 kV
Impedansi (Z %)	13.55 %
Rasio CT (20 kV)	2000/5
Vektor Grup	YNyn0+d
Jumlah Tap	17

2.3. Pemodelan

Berdasarkan pada Tabel 1 hingga Tabel 7 maka dapat dibuat pemodelan diagram satu garis menggunakan program ETAP 12.6.0 seperti pada Gambar 3.



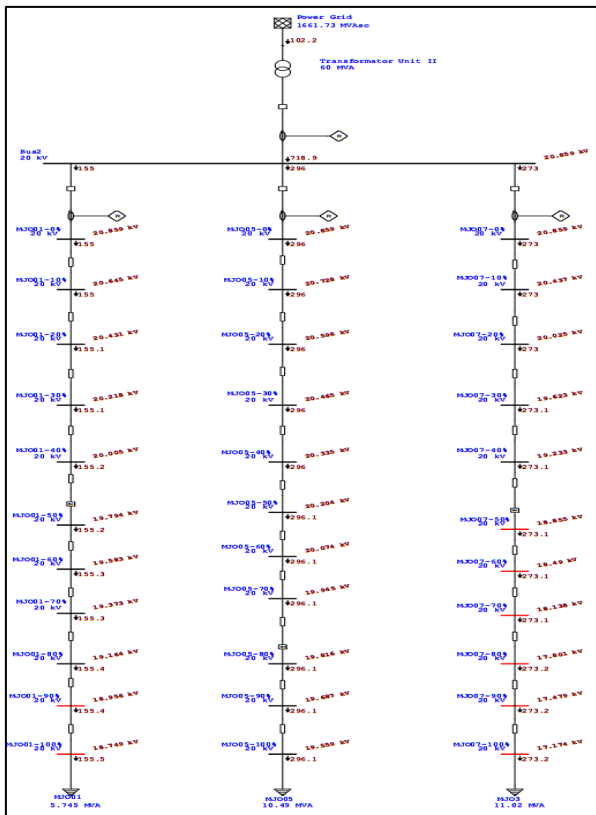
Gambar 3. Single Line Diagram Trafo II GI Mojosongo Pasca Uprating menggunakan ETAP 12.6.0

3. Hasil dan Analisa

3.1. Simulasi Aliran Daya

Simulasi aliran daya dilakukan untuk memperoleh nilai tegangan dan arus pangkal sehingga dapat diketahui bahwa simulasi mampu memberikan data yang sesuai dengan kondisi di lapangan.

Berikut tampilan hasil simulasi aliran daya pada ETAP 12.6.0



Gambar 4. Tampilan Hasil Simulasi Aliran Daya Pada ETAP 12.6.0

Tabel 8. Data tegangan pangkal dan arus yang mengalir tiap penyulang hasil simulasi

Penyulang	Panjang Saluran (km)	Arus (A)	Tegangan Pangkal Existing (kV)	Tegangan Pangkal Simulasi (kV)
MJO01	25,912	155	20,8	20,859
MJO05	8,444	296	20,76	20,859
MJO07	36,088	273	20,79	20,859

Hasil Simulasi Aliran Daya menunjukkan bahwa tegangan dan arus hasil simulasi telah mendekati data existing sehingga dapat dikatakan pemodelan jaringan telah sesuai dengan kondisi di lapangan.

3.2. Menentukan Arus Hubung Singkat

Untuk menentukan arus hubung singkat dilakukan dengan 2 metode yaitu dengan menggunakan simulasi pada program ETAP 12.6.0 dan perhitungan manual dengan MathCAD.

3.2.1. Perhitungan Hubung Singkat

Setelah dilakukan simulasi arus hubung singkat maka diperoleh besar arus gangguan hubung singkat pada titik 0%, 10%, 20%, 30% hingga 100% dari panjang penyulang *outgoing* Trafo II 60 MVA GI Mojosongo. Hasil besar arus hubung singkat yang diperoleh dari perhitungan dapat dilihat pada Tabel 9 sampai Tabel 11.

Tabel 9. Hasil Perhitungan Arus Hubung Singkat MJO01

Jarak (Km)	3 fase (A)	2 fase (A)	2 fase Tanah (A)	1 Fase Tanah (kA)
0%	10,093	8,741	10,093	10,093
10%	5,794	5,018	2,73	3,711
20%	4,028	3,489	1,575	2,264
30%	3,081	2,668	1,107	1,628
40%	2,493	2,159	0,853	1,27
Recloser	2,26	1,958	0,76	1,136
50%	2,093	1,812	0,694	1,042
60%	1,803	1,561	0,585	0,883
70%	1,584	1,371	0,506	0,766
80%	1,412	1,223	0,445	0,676
90%	1,273	1,103	0,398	0,605
100%	1,16	1,004	0,359	0,548

Tabel 10. Hasil Perhitungan Arus Hubung Singkat MJO05

Jarak (Km)	3 fase (A)	2 fase (A)	2 fase Tanah (A)	1 Fase Tanah (kA)
0%	10,093	8,741	10,093	10,093
10%	8,159	7,066	5,384	6,487
20%	6,822	5,908	3,664	4,767
30%	5,851	5,067	2,775	3,765
40%	5,116	4,431	2,233	3,109
50%	4,543	3,935	1,868	2,647
60%	4,084	3,537	1,606	2,305
70%	3,708	3,212	1,408	2,04
Recloser	3,449	2,987	1,279	1,865
80%	3,395	2,941	1,254	1,83
90%	3,131	2,711	1,13	1,659
100%	2,904	2,515	1,028	1,518

Tabel 11. Hasil Perhitungan Arus Hubung Singkat MJO07

Jarak (Km)	3 fase (A)	2 fase (A)	2 fase Tanah (A)	1 Fase Tanah (kA)
0%	10,093	8,741	10,093	10,093
10%	4,946	4,283	2,12	2,967
20%	3,245	2,81	1,182	1,732
30%	2,411	2,088	0,82	1,223
40%	1,917	1,66	0,627	0,945
Recloser	1,792	1,552	0,581	0,877
50%	1,591	1,378	0,508	0,769
60%	1,359	1,177	0,427	0,649
70%	1,186	1,027	0,368	0,561
80%	1,053	0,912	0,324	0,494
90%	0,946	0,819	0,289	0,442
100%	0,859	0,744	0,261	0,399

Berdasarkan tabel 9 sampai dengan Tabel 11 menunjukkan hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat pada penyulang MJO01, MJO05 dan MJO07 trafo 60 MVA GI Mojosoongo. Semakin jauh jarak gangguan hubung singkat maka semakin besar impedansi nya dan berpengaruh pada arus gangguan yang terjadi. Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa pada setiap penyulang gangguan hubung singkat terbesar adalah arus hubung singkat 3 fasa.

3.3. Resetting Relay OCR, GFR dan Recloser

Pada perhitungan *setting relay* OCR, GFR dan *Recloser* menggunakan karakteristik *standard inverse*, perhitungan *setting* peralatan proteksi dimulai dari *recloser*, *relay outgoing* dan *relay incoming*. Penentuan *setting* waktu kerja (Top) berdasarkan *grading time relay incoming* dan *outgoing* sesuai IEC 60255 sebesar 0,3-0,5 detik [9]. Waktu operasi (T_{op}) *recloser* adalah 0,3 detik. Berikut merupakan rumus perhitungan *setting relay* OCR, GFR, dan *Recloser* Trafo 60 MVA Gardu Induk Mojosoongo sesuai dengan standar IEC 60255 dengan karakteristik *standar invers*.

- **Rumus TMS OCR**

$$TMS_{OCR} = \frac{\left[\frac{I_{\text{hubung singkat } 3\Phi}}{I_{\text{set}}} \right]^{0,02} - 1}{0,14} \times t_{\text{op}} \quad (1)$$

- **Rumus TMS GFR**

$$TMS_{GFR} = \frac{\left[\frac{I_{\text{hubung singkat } 1\Phi\text{-tnh}}}{I_{\text{set}}} \right]^{0,02} - 1}{0,14} \times t_{\text{op}} \quad (2)$$

- **Iset OCR**

$$I_{\text{set}} = 1,05 - 1,2 \times I \text{ beban maksimum} \quad (3)$$

- **Iset GFR**

$$I_{\text{set}} = 0,3 \times I_{\text{set OCR}} \quad (4)$$

Sesuai dengan SPLN 52-3 : 1983 untuk *setting sequence* atau operasi buka – tutup *recloser* di berikan jeda waktu sebesar 10 detik dan banyak nya buka – tutup *recloser* adalah sebanyak 3-4 kali dan *resetting recloser* di berikan waktu 30 detik.[10]

Pada hasil analisis *resetting* perhitungan *setting relay* OCR, GFR, dan *Recloser*, didapatkan perbandingan *setting* kondisi eksisting dan perhitungan pada sisi *incoming* dan *outgoing* sebagai berikut.

Top *relay incoming* dan *outgoing* diset dengan selisih 0,3-0,5 detik sesuai dengan Standart IEC 60255.[9] Perbedaan nilai TMS pada *setting relay* kondisi eksisting dan perhitungan dikarenakan pada penentuan nilai Iset dan waktu kerja (Top) yang berbeda.

Tabel 12. Perbandingan Setting Relay OCR, GFR Incoming Kondisi Eksisting Dan Resetting

Setting	Setting Relay Incoming			
	OCR Existing	OCR Resetting	GFR Existing	GFR Resetting
TMS	0,25	0,2	0,45	0,325
Iset (A)	1040	760	350	230

Tabel 13. Perbandingan Setting Relay OCR, GFR Outgoing Kondisi Eksisting Dan Resetting

Penyulang	Setting	Setting Relay outgoing Existing		Setting Relay outgoing Resetting	
		OCR	GFR	OCR	GFR
MJO01	TMS	0,2	0,25	0,05	0,09
	Iset (A)	480	240	660	210
MJO05	TMS	0,2	0,25	0,08	0,18
	Iset (A)	480	240	660	210
MJO07	TMS	0,2	0,25	0,07	0,09
	Iset (A)	480	240	660	210

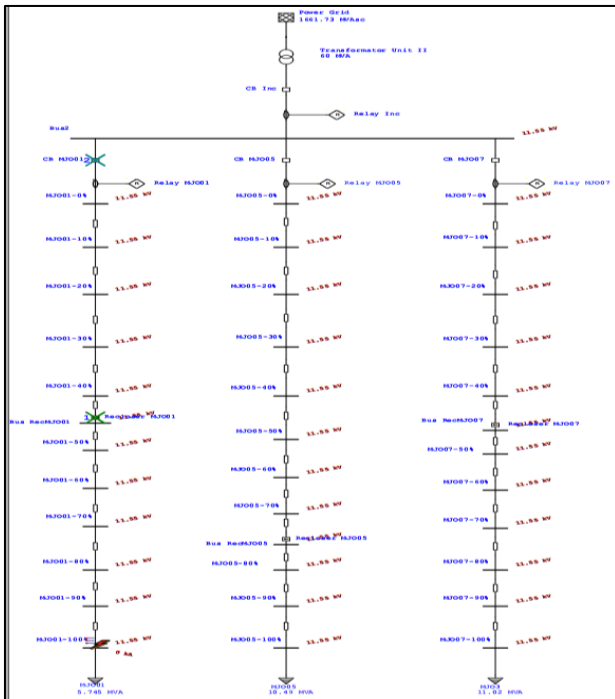
Tabel 14. Perbandingan Setting Recloser OCR, GFR Outgoing Kondisi Eksisting Dan Resetting

Penyulang	Setting	Setting Recloser Existing		Setting Recloser Resetting	
		OCR	GFR	OCR	GFR
MJO01	TMS	0,05	0,05	0,05	0,07
	Iset (A)	150	75	345	104
MJO05	TMS	0,1	0,1	0,1	0,12
	Iset (A)	350	150	345	104
MJO07	TMS	0,1	0,1	0,1	0,1
	Iset (A)	250	100	345	104

3.4. Analisis Koordinasi Setting Relay OCR, GFR, dan Recloser

Pada Gambar 5 merupakan koordinasi *relay* dari penyulang MJO01 menggunakan “*star-protective device coordination*” pada simulasi ETAP 12.6.0.

Dapat dilihat bahwa hasil *resetting relay* dan *recloser* menunjukkan kerja yang baik dan tidak saling mendahului di mana *recloser* bekerja terlebih dahulu lalu disusul oleh *relay outgoing* dan *relay incoming*.

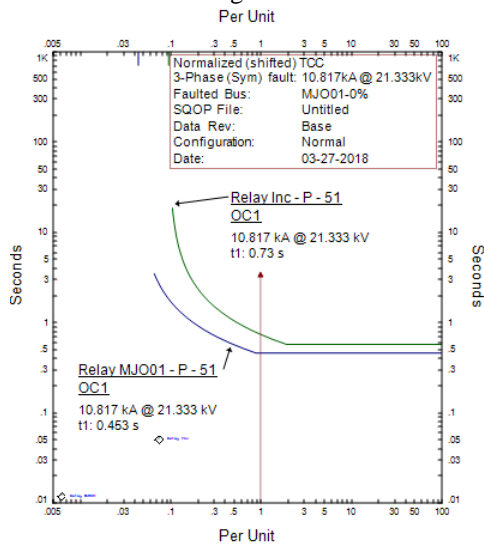


Gambar 5. Simulasi gangguan pada titik 100% MJO01

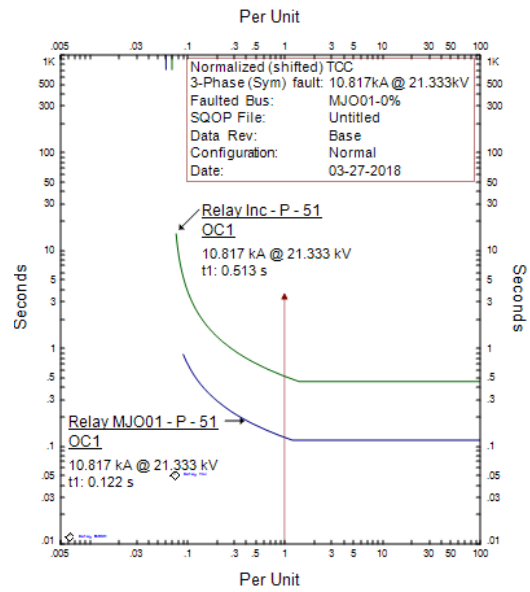
Hasil ini menunjukkan bahwa kinerja koordinasi *relay* dan *recloser* hasil *resetting* baik.

3.5. Perbandingan Kurva Karakteristik Arus terhadap Waktu (*Time Curve Current*)

Berdasarkan data pada Tabel 12 sampai Tabel 14 *setting* proteksi *relay incoming*, *outgoing*, dan *recloser* kondisi *existing* dan *resetting* dapat diketahui perbedaan bentuk koordinasi kurva karakteristik waktu terhadap arus (*Time Curve Current*). Dengan menggunakan ETAP 12.6.0 dapat dihasilkan kurva TCC sebagai berikut.



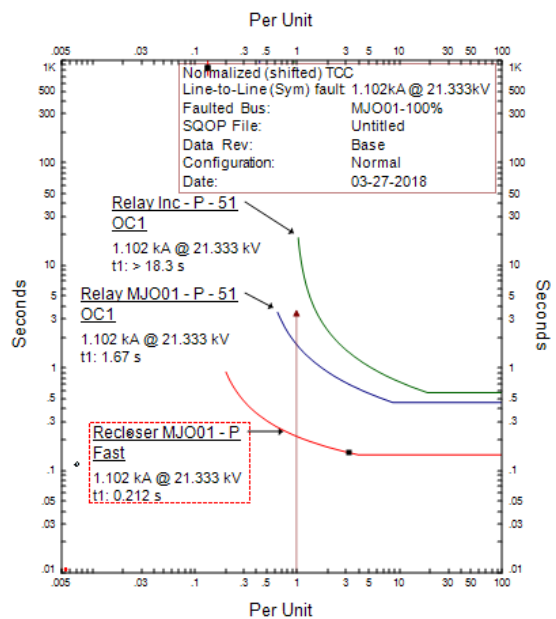
(a)



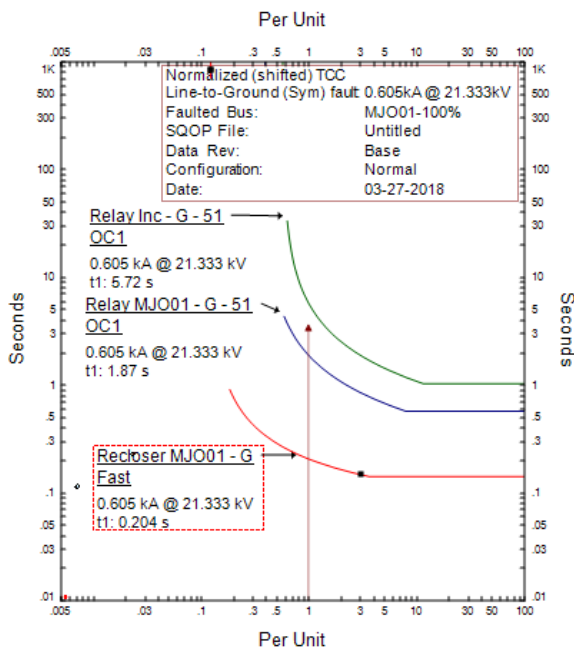
(b)

Gambar 6. Kurva karakteristik arus hubung singkat 3 fasa pada 0% MJO01

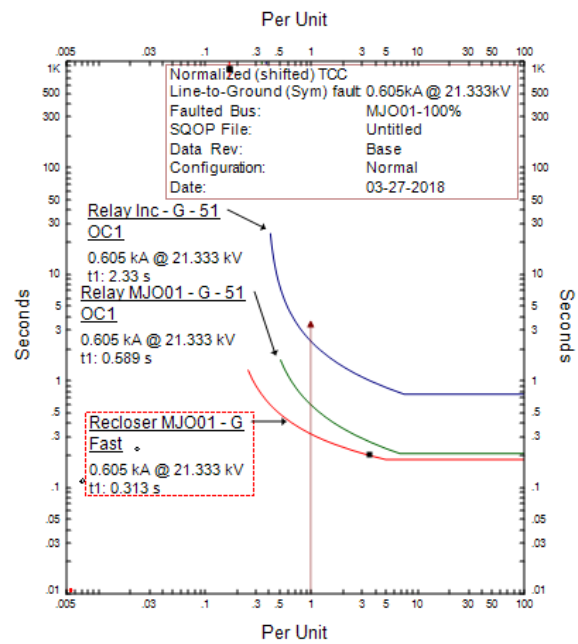
- (a) Kurva OCR Existing
- (b) Kurva OCR Resetting



(a)



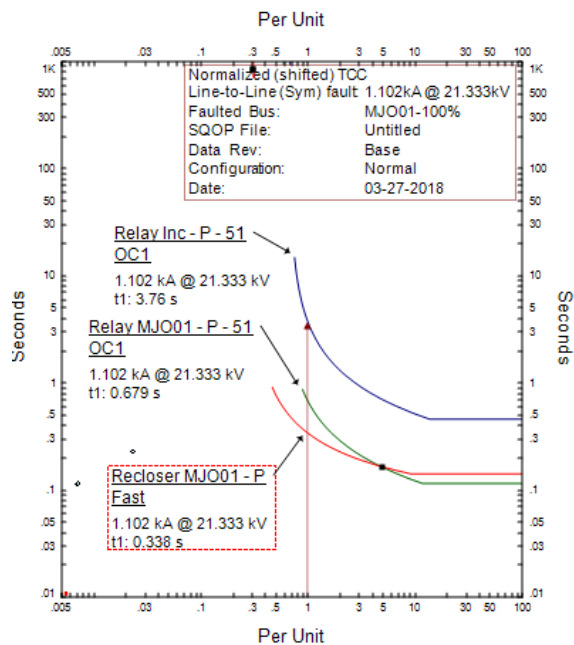
(b)



(b)

Gambar 7. Kurva karakteristik arus hubung singkat pada titik 100% MJO01 kondisi existing
(a) Kurva OCR
(b) Kurva GFR

Gambar 8. Kurva karakteristik arus hubung singkat pada titik 100% kondisi resetting
(a) Kurva OCR
(b) Kurva GFR



(a)

Pada gambar 6 (a) dan gambar 6 (b) kita dapat membandingkan kerja OCR saat terjadi gangguan 3 fasa di titik 0% pada kondisi *existing* dan *resetting*. Dapat kita lihat bahwa waktu operasi dari hasil *resetting* lebih baik dan cepat dibandingkan *existing*. Hasil *resetting* juga telah memenuhi *Standard IEC* untuk *grading time* 0,3-0,5 detik. Pada Gambar 7 dan Gambar 8 kita dapat membandingkan kerja OCR dan GFR saat terjadi gangguan pada titik 100%. Dapat kita lihat bahwa keduanya bekerja dengan baik dalam arti tidak saling mendahului, namun hasil *resetting* memberikan waktu operasi yang lebih cepat saat terjadi gangguan.

Hal ini juga terjadi saat dilakukan simulasi gangguan pada penyulang MJO05 dan MJO07.

Secara keseluruhan dapat disimpulkan bahwa hasil *resetting* memberikan koordinasi kerja dan keandalan dari *relay* dan *recloser* lebih baik dibandingkan kondisi *existing*.

4. Kesimpulan

Hasil *resetting* relay proteksi, pada sisi incoming hasil perhitungan kondisi *resetting* dan kondisi existing memiliki perbedaan, di mana untuk TMS OCR *resetting* = 0,2 dan TMS OCR existing = 0,25, untuk TMS GFR *resetting* = 0,325 dan TMS GFR existing = 0,45. Hasil *resetting* relay proteksi, pada sisi outgoing hasil perhitungan kondisi *resetting* dan kondisi existing memiliki perbedaan, di mana untuk *resetting* pada penyulang MJO01 untuk TMS OCR = 0,05 dan TMS GFR = 0,09, pada penyulang MJO05 untuk TMS OCR = 0,08 dan TMS GFR = 0,18, pada penyulang MJO07 untuk TMS OCR = 0,07 dan TMS GFR = 0,09. Sedangkan untuk kondisi existing seluruh penyulang memiliki TMS OCR = 0,2 dan TMS GFR 0,25. Hasil *resetting* recloser hasil perhitungan dan kondisi existing memiliki perbedaan, di mana pada penyulang MJO01 untuk TMS OCR *resetting* = 0,05 dan TMS OCR existing = 0,05, untuk TMS GFR *resetting* = 0,07 dan TMS GFR existing = 0,05. Pada penyulang MJO05 untuk TMS OCR *resetting* = 0,1 dan TMS OCR existing = 0,1, untuk TMS GFR *resetting* = 0,12 dan TMS GFR existing = 0,1. Pada penyulang MJO07 untuk TMS OCR *resetting* = 0,1 dan TMS OCR existing = 0,1, untuk TMS GFR *resetting* = 0,1 dan TMS GFR existing = 0,1. Dari analisis yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa hasil *resetting* relay dan recloser lebih baik dibandingkan kondisi existing di mana hasil *resetting* memiliki waktu operasi relay yang lebih cepat, nilai grading time yang sesuai dengan *Standard* IEC, serta memiliki keandalan yang tinggi di mana pada arus gangguan terkecil sekalipun, relay dan recloser tetap bekerja.

Referensi

- [1]. Sulasno, Ir. 2001. "Teknik dan Sistem Distribusi dan Tenaga Listrik". Badan Penerbit Universitas Diponegoro. Semarang
- [2]. J. Lewis Blackburn, Thomas J. Domin. "Protective Relaying-Principles and Applications". CRC Press. 2007
- [3]. Thekla N. Boutsika a, Stavros A. Papathanassiou 2007. "Short-Circuit Calculations In Networks With Distributed Generation" National Technical University of Athens, Greece
- [4]. Manohar Singh, B. K. Panigrahi, and A.R. Abhyankar. "Optimal Overcurrent Relay Coordination in Distribution System", IEEE. 2011.
- [5]. M. H. Hussain, S. R. A. Rahim, I. Musirin. "Optimal Overcurrent Relay Coordination: A Review", Malaysia. MUCET 2012
- [6]. Gardu Induk Mojosongo : 2017, "Data Single line Diagram dan Data Trafo II Gardu Induk Mojosongo"
- [7]. APP Salatiga 2017, "Data MVAsc, Data *Setting* Relay Incoming Gardu Induk Mojosongo Boyolali"
- [8]. PT. PLN (Persero) Area Klaten: 2017, "Data Beban tiap feeder, Data *setting* relay Outgoing dan recloser tiap feeder, Data kabel (penghantar) Gardu Induk Mojosongo Boyolali"
- [9]. IEC 60255, "Overcurrent Protection for Phase and Earth Faults".
- [10]. SPLN 52-3 : 1983, "Pola Pengamanan Sistem, Bagian Tiga : Sistem Distribusi 6 kV dan 20 kV". Indonesia. 1983.