

ANALISIS PERBAIKAN *DROP VOLTAGE* DENGAN PENGGANTIAN KABEL PENAMPANG DAN EVALUASI KOORDINASI OCR-RECLOSER STUDI KASUS PADA PENYULANG KALISARI 1 DAN 2 GI KALISARI – SEMARANG

Akbar Kurnia Octavianto^{*)}, Karnoto, and Susatyo Handoko

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro,
Jln. Prof. Sudharto, Tembalang, Semarang, Indonesia

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

Abstrak

Suatu sistem tenaga listrik yang baik harus memiliki nilai tegangan yang tidak melebihi batas toleransi serta rugi-rugi daya yang kecil. Batas toleransi yang diperbolehkan untuk suatu nilai tegangan $\pm 5\%$ dari nilai nominalnya. Nilai tegangan yang konstan akan mengoptimalkan unjuk kerja dari peralatan listrik yang digunakan. Sedangkan rugi-rugi daya yang kecil akan menjaga pasokan daya listrik sesuai dengan kebutuhan konsumen, serta dapat mengurangi kerugian finansial yang terjadi selama proses transmisi dan distribusi. Pada penelitian ini akan dilakukan perbaikan kualitas tenaga listrik dengan perbaikan drop tegangan pada jaringan distribusi tegangan menengah sisi 1 fasa dengan penggantian kabel penampang. Proses perbaikan dilakukan dengan kabel yang nilai resistansinya lebih kecil, kemudian dibandingkan hasil drop tegangan sebelum dan sesudah dilakukan perbaikan. Pada penelitian ini pula dibahas koordinasi rele OCR-recloser yang terpasang pada penyulang, Dilakukan beberapa simulasi untuk mengetahui koordinasi tersebut. Proses perbaikan pada penelitian ini disimulasikan dengan menggunakan perangkat lunak ETAP 7.0.0. Dari hasil simulasi drop tegangan didapatkan hasil sebelum dan sesudah perbaikan. Sampel bus yang diambil dibandingkan rata-rata tegangan naik setelah dilakukan perbaikan. pada penyulang Kalisari 1 nilai kenaikan tegangan yang terendah 0.035Kv pada bus 6 dan yang tertinggi 0.131Kv di bus 138, pada penyulang Kalisari 2 kenaikan tegangan dari yang terendah 0.001 Kv pada bus 2 dan yang tertinggi 0.01 Kv di bus 125.

Kata Kunci : drop tegangan, kabel penampang, koordinasi OCR-Recloser, ETAP 7.0.0

Abstract

A good power system must have a value that does not exceed the voltage tolerance and power losses are small. Tolerance limit allowed for a $\pm 5\%$ voltage value of their nominal value. Constant voltage value will optimize the performance of electrical equipment used. While the power loss would keep a small supply of electric power in accordance with the needs of consumers, and can reduce financial losses that occur during the process of transmission and distribution. This research will be improved with the improvement of the quality of electric power distribution network voltage drop on the 1-phase medium voltage cables with section replacement. Process improvements made by cable resistance value is smaller, then compared the results of the voltage drop before and after repairs. In this research also discussed coordination OCR rele-recloser is installed on feeders, Do a simulation to determine the coordination over. The repair process is simulated in this research using ETAP 7.0.0 software. From the simulation results showed the voltage drop before and after repair. Bus samples taken compared to the average voltage rise after repairs. at feeders Kalisari 1 lowest voltage rise value 0.035Kv in bus 6 and the highest 0.131Kv on bus 138, at 2 Kalisari feeder voltage rise from a low of 0.001 in the Kv bus 2 and the highest 0.01 Kv on bus 125.

Keywords: Voltage Drop , cable section, coordinating the OCR-Recloser, ETAP 7.0.0

1. Pendahuluan

Suatu sistem tenaga listrik yang baik harus memiliki nilai tegangan yang tidak melebihi batas toleransi serta rugi-rugi daya yang kecil. Batas toleransi yang diperbolehkan untuk suatu nilai tegangan $\pm 5\%$ dari nilai nominalnya.

Nilai tegangan yang konstan akan mengoptimalkan unjuk kerja dari peralatan listrik yang digunakan oleh konsumen. Sedangkan rugi-rugi daya yang kecil akan menjaga pasokan daya listrik sesuai dengan kebutuhan konsumen, serta dapat mengurangi kerugian finansial yang terjadi selama proses transmisi dan distribusi. Salah

satu proses perbaikan drop tegangan pada jaringan distribusi dapat dilakukan dengan melakukan penggantian kabel penampang penyulang.

Pada penelitian penelitian ini untuk meningkatkan kualitas tenaga listrik yang termasuk drop tegangan melakukan penggantian luas penampang kabel penyulang pada JTM 1 fasa di penyulang kalisari 1 dan kalisari 2 dari GI Kalisari. Berdasarkan teori yang ada semakin panjang jarak penyulang dapat mengakibatkan *drop* tegangan diujung jaringan yang sering dikeluhkan oleh pelanggan maka dari itu perbaikan-perbaikan akan diupayakan sedemikian rupa agar dapat meningkatkan kepuasan pelanggan terhadap layanan PLN. Penggantian kabel yang dimaksud dengan memperbesar luas penampang atau mengubah dengan nilai resistansi kabel yang lebih kecil sehingga nilai drop tegangan dapat berkurang. Untuk meningkatkan kualitas tenaga listrik pada penelitian ini juga dibahas mengenai pengaturan *setting* OCR yang terpasang pada kedua penyulang yaitu kalisari 1 dan kalisari 2. OCR merupakan rele arus lebih yang dipasang pada jaringan distribusi, dengan nilai *setting* yang tepat maka koordinasi peralatan proteksi apabila pada saat terjadi gangguan dapat tertatasi dengan cepat dan optimal. Apabila nilai *setting* pada peralatan proteksi tersebut salah maka dapat mengganggu aliran listrik ke pelanggan yang menjadikan nilai kualitas tenaga listrik jadi berkurang.

2. Metode

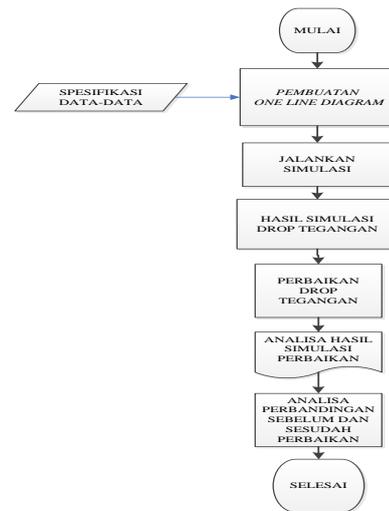
2.1 Metode Pengumpulan Data

Dalam penelitian ini pengumpulan data dilakukan dari *survey* data pada obyek penelitian, yaitu PT. PLN (Persero) Area Semarang dan Rayon Semarang Tengah.

Data-data yang diolah adalah data-data yang diambil dari PT. PLN (Persero) Area Semarang. Setelah data – data diperoleh, langkah selanjutnya adalah melakukan pengolahan data. Pengolahan disini dilakukan 2 simulasi yaitu drop tegangan dan koordinasi OCR recloser.

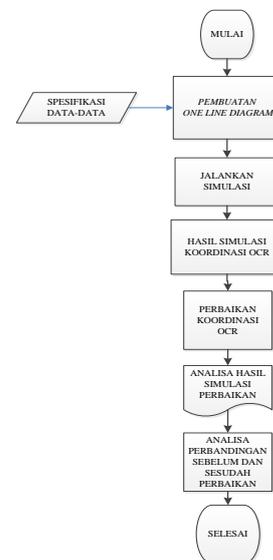
Langkah-langkah untuk Simulasi drop tegangan adalah :

- Eksisting PLN dianalisa untuk mendapatkan tegangan
- Penggantian kabel penampang dari 70 mm menjadi 240mm pada JTM sisi 1 fasa
- Dibandingkan sebelum dan sesudah perbaikan penggantian kabel penampang tersebut



Gambar 1. Diagram alir simulasi drop tegangan menggunakan ETAP

Simulasi pertama dan kedua menggunakan *software* ETAP 7.0.0.. Simulasi yang pertama yaitu analisa *drop* tegangan disimulasikan dengan menggambar topologi jaringan kemudian analisa hasil dan melakukan perbaikan dengan menggunakan penggantian kabel penampang. Untuk yang kedua mengenai analisa koordinasi OCR.



Gambar 2. Diagram alir simulasi koordinasi OCR Recloser menggunakan ETAP

2.2 Data – Data Sistem

2.2.1 Data Kondisi Eksisting Rayon Semarang Tengah

Data jaringan tegangan menengah Rayon Semarang Tengah yang digunakan dalam penelitian ini adalah data eksisting jaringan tegangan menengah Rayon Semarang Tengah pada tahun 2012.

2.2.2 Data Koordinasi *Setting* Rele OCR PMT dan Recloser

Data Koordinasi *setting* rele OCR PMT dan Recloser dibutuhkan untuk mengetahui koordinasi Recloser pada penyulang, nilai *setting* yang digunakan pada simulasi ETAP 7.0.0. Berikut ini adalah data *setting* koordinasi rele OCR dan Recloser.

Tabel 1 Data koordinasi *setting* rele OCRpenyulang Kalisari 1

Koordinasi Steting Rele OCR PMT dan Recloser													
SETTING		INC EXIST	2000	OG EXIST	1000	R1 EXIST	1000	R2 EXIST	1000				
OCR		TRAF0 II		OG EXIST		R1 EXIST		R2 EXIST					
Arus		2000 A		500 A		380 A		350 A					
Kuna		IEC SI		IEC SI		IEC SI		IEC SI					
Tms		0.25		0.27		0.10		0.05					
Moment		### IN		5.5 X IN		3.0 X IN		3.0 X IN					
X Isel	No	Standard	I>>	2000000 A	I>>	5500 A	I>>	3040 A	I>>	3000 A			
		IEC SI	IEC SI	IEC SI	IEC SI	IEC SI	IEC SI	IEC SI	IEC SI	IEC SI	IEC SI	IEC SI	IEC SI

Sumber : PT PLN (Persero) Area Semarang

Tabel 2 Data koordinasi *setting* rele OCRpenyulang Kalisari 2

Koordinasi Steting Rele OCR PMT dan Recloser													
SETTING		INC EXIST	2000	OG EXIST	400	R1 EXIST	1000	R1 EXIST	1000	Letak R1			
OCR		TRAF0 I		KLS 2		R1 EXIST		R1 EXIST					
Arus		2000 A		480 A		300 A		300 A					
Kuna		IEC SI		IEC SI		IEC SI		OFF					
Tms		0.25		0.27		0.10		0.10					
Moment		3.5 X IN		13.8 X IN		2.5 X IN		2.5 X IN					
X Isel	No	Standard	I>>	7000 A	I>>	5500 A	I>>	2500 A	I>>	2500 A			
		IEC SI	IEC SI	IEC SI	IEC SI	IEC SI	IEC SI	IEC SI	IEC SI	IEC SI	IEC SI	IEC SI	IEC SI

Sumber : PT PLN (Persero) Area Semarang

2.2.3 Data Impedansi Kabel Jaringan

Tabel 3. Data impedansi kabel jaringan

mm2	AAAC			
	Z1,Z2		Zo	
	R1	jx1	Ro	jxo
1	6.0000	7.0000	8.0000	9.0000
16	2.0161	0.4036	2.1641	1.6911
25	0.9217	0.3790	1.0697	1.6695
50	0.6452	0.3678	0.7932	1.6553
70	0.4608	0.3572	0.6088	1.6447
95	0.3396	0.3449	0.4876	1.6324
120	0.2688	0.3375	0.4168	1.6251
150	0.2162	0.3305	0.3631	1.6180
185	0.1744	0.3239	0.3224	1.6114
240	0.1344	0.3158	0.2824	1.6003

Sumber : SPLN 72-3:1983

2.2.4 Data Impedansi dan Short Circuit GI Kalisari

Tabel 4. Data impedansi dan *short circuit* GI Kalisari

BUS	GI/GITET	Region	Teg KV	Imp.urutan positif	Imp.urutan negatif	Imp.urutan nol	Arus hub singkat Max						
				R1(pu)	X1(pu)	R2(pu)	X2(pu)	Ro(pu)	Xo(pu)	Iph. (kA)	Iph. (MVA)	Iph. (kA)	Iph. (MVA)
1	KALISARI	region3	150	0.001988	0.011659	0.001988	0.011937	0.004862	0.016414	30.76735	7993.592	35.54894	9235.8853
2	KALISARI	region3	150	0.001988	0.011659	0.001988	0.011937	0.004862	0.016414	30.76735	7993.592	35.54894	9235.8853

Sumber : PT PLN (Persero) Area Semarang

3. Hasil dan Analisa

3.1 Simulasi Sistem dengan *Software ETAP 7.0.0*

Simulasi sistem yang dilakukan terdiri dari dua macam, yaitu Simulasi I dan Simulasi II. Simulasi I adalah simulasi drop tegangan dan yang kedua merupakan simulasi koordinasi OCR Recloser dari penyulang Kalisari 1 dan 2.

3.2 Simulasi Drop Tegangan

Dari hasil simulasi diatas maka kita bisa mengambil *sample* data dari bus sebelum dilakukan perbaikan tegangannya. Tabel dibawah merupakan *sample* bus yang diambil yang kemudian nanti digunakan dalam perbandingan setelah terjadinya perbaikan dengan penggantian luas penampang kabel jaringan tegangan menengah 1 fasa.

Tabel 5. hasil simulasi sebelum dan sesudah di penyulang Kalisari 1

NO	NO BUS	TEGANGAN SEBELUM PERBAIKAN (kV)	TEGANGAN SESUDAH PERBAIKAN (kV)	SELISIH (kV)
1	Bus 6	10.675	10.71	0.035
2	Bus 30	10.417	10.462	0.045
3	Bus 40	10.213	10.267	0.054
4	Bus 49	10.027	10.091	0.064
5	Bus 109	9.318	9.423	0.105
6	Bus 134	9.301	9.393	0.092
7	Bus 157	9.307	9.398	0.091
8	Bus 174	9.15	9.244	0.094
9	Bus 203	9.026	9.121	0.095
10	Bus 211	8.991	9.089	0.098
11	Bus 227	8.934	9.039	0.105
12	Bus 236	8.873	8.968	0.095
13	Bus 245	8.691	8.793	0.102
14	Bus 249	8.676	8.787	0.111
15	Bus 266	8.669	8.768	0.099
16	Bus 268	8.672	8.77	0.098
17	Bus 305	8.455	8.557	0.102
18	Bus 311	8.43	8.545	0.115
19	Bus 318	8.406	8.537	0.131
20	Bus 375	8.438	8.535	0.097

Tabel 5 diatas merupakan hasil perbandingan perbaikan *drop* tegangan pada penyulang Kalisari 1. Terlihat pada tabel diatas terjadi kenaikan nilai tegangan dengan kisaran selisih kenaikan yang terendah dengan nilai tegangan dari paling rendah 0.035 pada bus 6 sampai dengan yang tertinggi sekitar 0.131 pada bus 318.

Drop tegangan sebelum dilakukan perbaikan
 $VOLTAGE DROP = \% \text{ Tegangan Pangkal GI} - \% \text{ Tegangan Paling Ujung}$
 $= 102.471 \% (20.494 \text{ kV}) - \% 98.494 \% (19.699 \text{ kV})$
 $= 3.977 \% (0.795 \text{ kV})$

Drop tegangan setelah dilakukan perbaikan
 $VOLTAGE DROP = \% \text{ Tegangan Pangkal GI} - \% \text{ Tegangan Paling Ujung}$
 $= 102.47 \% (20.511 \text{ kV}) - \% 98.49 \% (19.724 \text{ kV})$
 $= 3.98 \% (0.787 \text{ kV})$

Tabel 6. hasil simulasi sebelum dan sesudah di penyulang Kalisari 2

NO	NO BUS	TEGANGAN		SELISIH (kV)
		SEBELUM PERBAIKAN (kV)	SESUDAH PERBAIKAN (kV)	
1	Bus 7	11.273	11.275	0.002
2	Bus 10	11.208	11.209	0.001
3	Bus 22	11.127	11.129	0.002
4	Bus 25	11.106	11.107	0.001
5	Bus 40	10.852	10.853	0.001
6	Bus 58	10.859	10.86	0.001
7	Bus 70	10.849	10.85	0.001
8	Bus 79	10.841	10.842	0.001
9	Bus 94	10.718	10.719	0.001
10	Bus 105	10.697	10.705	0.008
11	Bus 110	10.667	10.675	0.008
12	Bus 118	10.643	10.651	0.008
13	Bus 125	10.627	10.637	0.01
14	Bus 136	10.622	10.629	0.007
15	Bus 143	10.609	10.617	0.008
16	Bus 152	10.591	10.599	0.008
17	Bus 158	10.581	10.589	0.008
18	Bus 164	10.576	10.585	0.009
19	Bus 170	10.573	10.582	0.009
20	Bus 178	10.567	10.577	0.01

Tabel diatas merupakan hasil perbandingan sebelum dan sesudah perbaikan pada penyulang Kalisari 2. Pada penyulang kalisari 2 dilihat dari tabel diatas kenaikan yang terjadi tidak sebesar di penyulang kalisari 1. Hal ini disebabkan karena jarak yang tidak terlalu jauh dari sumber tegangan berbeda halnya dengan penyulang Kalisari 1.

Untuk penyulang Kalisari 2 kenaikan tegangan dari yang terendah yaitu 0.001 kV pada bus 2 dan yang tertinggi dengan kenaikan sebesar 0.01 Kv di bus 125.

Drop tegangan sebelum dilakukan perbaikan
 $VOLTAGE\ DROP = \% \text{ Tegangan Pangkal GI} - \% \text{ Tegangan Paling Ujung}$
 $= 104.1 \% (20.82\text{ kV}) - \% 102.915 \% (20.583\text{ kV})$
 $= 1.185 \% (0,237\text{ kV})$

Drop tegangan setelah dilakukan perbaikan
 $VOLTAGE\ DROP = \% \text{ Tegangan Pangkal GI} - \% \text{ Tegangan Paling Ujung}$

$= 104.1 \% (20.82\text{ kV}) - \% 102.92 \% (20.585\text{ kV})$
 $= 1.18 \% (0,235\text{ kV})$

Dalam pembahasan diatas yang didapat adalah perbaikan *drop* tegangan yang dilakukan dengan penggantian luas penampang kabel penghantar terbukti dan sesuai dengan teori yang ada, yaitu semakin kecil nilai impedansi maka semakin besar tegangan yang dihasilkan, kemudian dengan demikian untuk mengurangi resistansi saluran pada jaringan distribusi, kita dapat mengganti jenis bahan penghantar yang digunakan dengan bahan yang nilai resistivitasnya rendah serta memperbesar luas permukaan penghantar.

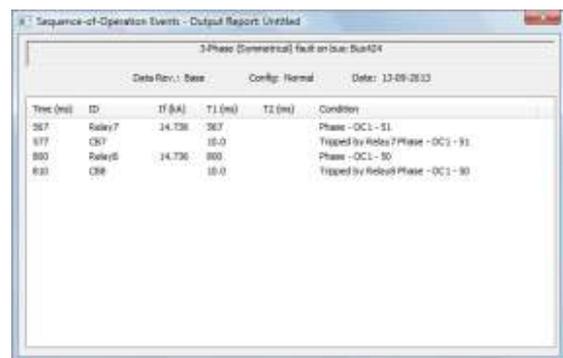
3.3 Simulasi Koordinasi OCR dan Recloser

Berdasarkan data gambar *single line* diagram dari PLN seperti gambar-gambar sebelumnya, maka didapatkan gambaran mengenai peralatan-peralatan proteksi yang berada di penyulang. Pada pembahasan penelitian kali ini membahas mengenai peralatan listrik yang berada di

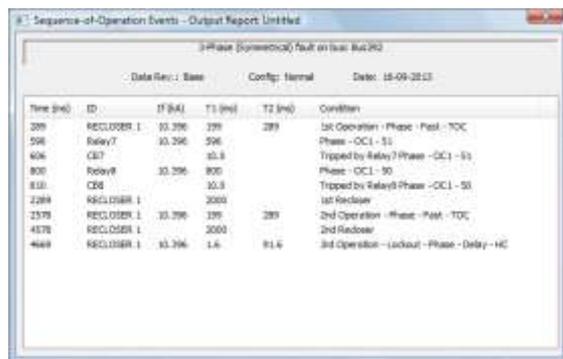
penyulang Kalisari 1 dan penyulang Kalisari 2 berupa peralatan proteksi.

Pembahasan studi kasus penelitian ini akan membahas sistem koordinasi rele proteksi OCR dan Recloser di penyulang Kalisari 1 dan Kalisari 2 GI kalisari Semarang. Proses yang dilakukan dengan melakukan simulasi koordinasi sistem proteksi tersebut menggunakan *software* ETAP 7.0.0. Data yang didapatkan dari PLN Area Semarang digunakan dalam proses *input* data dalam ETAP yang kemudian disimulasikan. Kemudian melakukan perhitungan manual *setting* nilai TMS yang kemudian disimulasikan kembali di ETAP. Hasil kedua simulasi untuk selanjutnya dibandingkan untuk mendapatkan koordinasi yang baik. Kemudian melakukan perbandingan *setting* TMS PLN dan hasil hitung manual.

Dari gambar *one line* diagram diatas kemudian dilakukan *running* program pada ETAP dengan cara menempatkan letak gangguan di dalam gambar *one line* diagram tersebut.



Gambar 3. Hasil *running* koordinasi rele pada Penyulang Kalisari 1 variasi 1 PLN



Gambar 4. Hasil *running* koordinasi rele pada Penyulang Kalisari 1 variasi 2 PLN

Hasil *running* simulasi diatas menunjukkan hasil koordinasi rele proteksi Recloser dengan data *eksisting* dari PLN Area Semarang. Diketahui bahwa gangguan terjadi di titik depan PMT Outgoing. Berikut hasil laporan dari ETAP dari koordinasi diatas.

Time (ms)	ID	F (A)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
480	Relay7	14.897	400		Phase - OC1 - S0
480	CB7		10.0		Tripped by Relay7 Phase - OC1 - S0
880	Relay8	14.897	800		Phase - OC1 - S0
880	CB8		10.0		Tripped by Relay8 Phase - OC1 - S0

Gambar 5. Hasil *running* koordinasi rele pada Penyulang Kalisari 2 variasi 1 PLN

Time (ms)	ID	F (A)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
209	RECLOSER 1	6.876	189	289	1st Operation - Phase - Fault - TOC
209	RECLOSER 2	0.0			1st Recloser
408	Relay7	6.876	400		Phase - OC1 - S0
418	CB7		10.0		Tripped by Relay7 Phase - OC1 - S0
578	RECLOSER 1	6.876	189	289	2nd Operation - Phase - Fault - TOC
588	Relay8	6.876	1846		Phase - OC1 - S1
5878	CB8		10.0		Tripped by Relay8 Phase - OC1 - S1

Gambar 6. Hasil *running* koordinasi rele pada Penyulang Kalisari 2 variasi 2 PLN

Perlu diketahui juga penyulang Kalisari 1 dan Kalisari 2 memiliki perbedaan dalam jumlah recloser. Recloser pada penyulang kalisari 2 hanya berjumlah 1 buah dan penyulang Kalisari 1 memiliki 2 buah recloser. Perbedaan jumlah ini karena dinilai dari segi jarak. Jarak penyulang Kalisari 1 lebih panjang sehingga memiliki 2 buah recloser untuk mengatasi gangguan yang jauh.

3.4 Perhitungan Nilai *Setting* TMS

Perhitungan nilai *setting* TMS secara manual dibutuhkan untuk membandingkan nilai TMS data dari PLN dan perhitungan manual sendiri. Perhitungan yang dilakukan berdasarkan perhitungan TMS yang sudah ada. Dibawah ini akan ditampilkan contoh perhitungan *setting* TMS pada penyulang kalisari 1.

Tabel 7. Hasil perhitungan nilai impedansi dan arus gangguan Kalisari 1

No	Nilai	Kalisari 1		
		GI-Recloser 1 (1 km)	Recloser 1 - 2 (1.75km)	Rec 2 - Ujung (4.9Km)
1	Z1 (pu)	0.0005148	0.000900926	0.002522592
2	Z2 (pu)	0.0005148	0.000900926	0.002522592
3	Z0 (pu)	0.0024419	0.004273449	0.011965657
4	Ifault 3 fasa (A)	14802.4338	10256.17628	6646.573094
5	Ifault 1 fasa (A)	9172.954843	5671.242979	3385.791095
6	Ifault Fasa-fasa (A)	12819.28371	8882.109207	5756.101147
7	Ifault 2 fasa (A)	13242.55833	9095.453074	5866.908068

Tabel 8. Hasil perhitungan nilai impedansi dan arus gangguan Kalisari 2

No	Nilai	Kalisari 2	
		GI-Recloser 1 (3.35 km)	Recloser 1 - 2 (1.65km)
1	Z1 (pu)	0.001724629	0.000849444
2	Z2 (pu)	0.001724629	0.000849444
3	Z0 (pu)	0.008180602	0.004029252
4	Ifault 3 fasa (A)	14650.95312	5976.529455
5	Ifault 1 fasa (A)	9042.72093	3000.595493
6	Ifault Fasa-fasa (A)	12688.0976	5175.826335
7	Ifault 2 fasa (A)	13102.27333	5271.694354

Dilihat dari hasil perhitungan nilai impedansi dan nilai arus gangguan dari penyulang Kalisari 1 dan 2 diatas maka dapat didapatkan nilai setting TMS yang akan ditampilkan contoh perhitungannya dibawah ini.

Perhitungan Setting TMS Penyulang Kalisari 1

1. Recloser 2

$$i \text{ setting} = 1.2 \times I \text{ beban puncak} = 1.2 \times 314 = 376.8 \text{ A}$$

$$TMS \text{ Rec } 2 = \frac{\left(\frac{If \text{ Rec } 2}{Iset \text{ r}2}\right)^{\alpha} - 1}{\beta} \times t = 0.048$$

$$T \text{ Rec } 2 = \frac{TMS \text{ Rec } 2 \times \beta}{\left(\frac{If \text{ Rec } 2}{Iset \text{ r}2}\right)^{\alpha} - 1} = 0.09$$

2. Recloser 1

$$i \text{ setting} = 1.2 \times I \text{ beban puncak} = 1.2 \times 530.3 = 636.6 \text{ A}$$

$$TMS \text{ Rec } 1 = \frac{\left(\frac{If \text{ Rec } 2}{Iset \text{ r}1}\right)^{\alpha} - 1}{\beta} \times t \text{ rec } 2 + 0.4 = 0.226$$

$$T \text{ Rec } 1 = \frac{TMS \text{ Rec } 1 \times \beta}{\left(\frac{If \text{ Rec } 1}{Iset \text{ r}1}\right)^{\alpha} - 1} = 0.487$$

3. PMT Outgoing

$$i \text{ setting} = 1.2 \times I \text{ beban puncak} = 1.2 \times 582.2 = 698.64 \text{ A}$$

$$TMS \text{ Out} = \frac{\left(\frac{If \text{ Rec } 1}{Iset \text{ Out}}\right)^{\alpha} - 1}{\beta} \times t \text{ rec } 2 + 0.4 = 0.3988$$

$$T \text{ Out} = \frac{TMS \text{ Out} \times \beta}{\left(\frac{If \text{ Out}}{Iset \text{ Out}}\right)^{\alpha} - 1} = 0.886$$

4. PMT Incoming

$$i \text{ setting} = 4 \times I \text{ base} = 4 \times 1732.05 = 6928.203 \text{ A}$$

$$TMS \text{ Inc} = \frac{\left(\frac{If \text{ Out}}{Iset \text{ Out}}\right)^{\alpha} - 1}{\beta} \times t \text{ out} + 0.4 = 0.5788$$

$$T \text{ Inc} = \frac{TMS \text{ Inc} \times \beta}{\left(\frac{If \text{ Inc}}{Iset \text{ Inc}}\right)^{\alpha} - 1} = 5.296$$

Perhitungan nilai TMS tersebut merupakan nilai *setting* TMS pada recloser 1. Dalam hal ini terjadi perbedaan dari Penyulang Kalisari 1 dan 2 yaitu pada penyulang Kalisari 1 terdapat 2 recloser sedangkan pada penyulang Kalisari 2 terdapat 1 recloser. Tabel dibawah merupakan tampilan

perhitungan nilai *setting* penyulang Kalisari 1 dan 2. Dengan tabel tersebut kita dapat mengetahui pula nilai *setting* TMS dari PENyulang Kalisari 2.

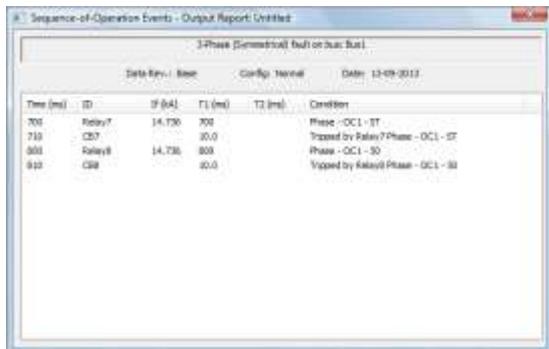
Tabel 9. perhitungan nilai *setting* TMS penyulang Kalisari 1 dan Kalisari 2

No	Letak Setting	Kalisari 1	Kalisari 2
1	TMS Recloser 2 (s)	0.0487	0
2	TMS Recloser 1 (s)	0.226	0.19
3	TMS PMT Outgoing (s)	0.3988	0.318
4	TMS PMT Incoming (s)	0.5788	0.555

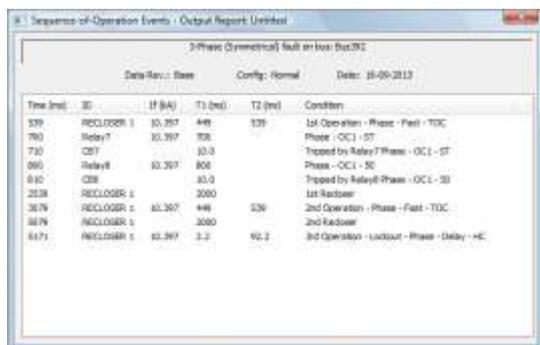
Tabel 9 diatas merupakan hasil *setting* nilai TMS di penyulang Kalisari dan kalisari 2. Terlihat dari tabel diatas nilai perhitungan sudah benar yaitu semakin jauh semakin besar nilai *setting* nya. Perhitungan manual diatas diperlukan untuk membandingkan dengan nilai *setting* dari PLN yang sudah ditentukan.

3.5 Simulasi Hasil Hitung

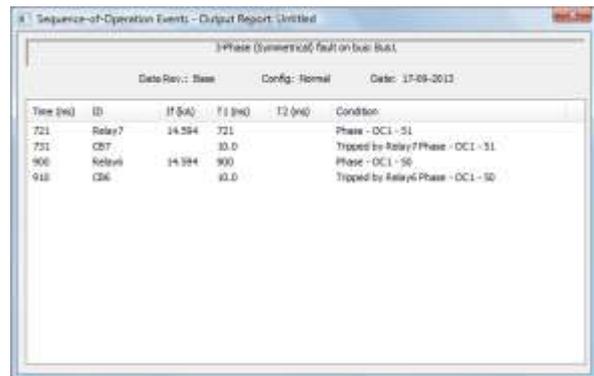
Gambar dibawah merupakan hasil *report* dari ETAP untuk hasil simulasi perhitungan. Terlihat dari nilai arus dan waktu sudah benar sesuai dengan koordinasi proteksi yang baik.



Gambar 7. Hasil *running* koordinasi rele pada Penyulang Kalisari 1 variasi 1 Hitung



Gambar 8. Hasil *running* koordinasi rele pada Penyulang Kalisari 1 variasi 2 Hitung



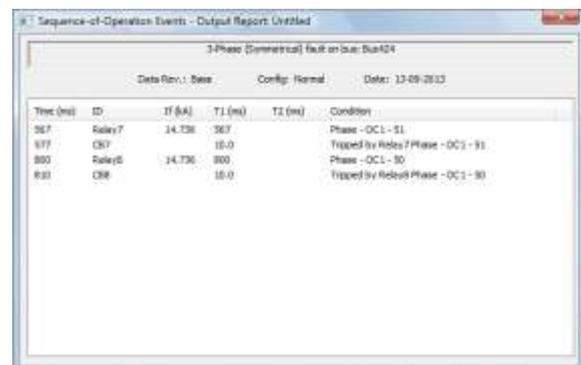
Gambar 9. Hasil *running* koordinasi rele pada Penyulang Kalisari 2 variasi 1 Hitung



Gambar 10. Hasil *running* koordinasi rele pada Penyulang Kalisari 2 variasi 2 Hitung

3.6 Perbandingan *Setting* TMS PLN dan Perhitungan dengan simulasi ETAP

Perbandingan nilai *setting* yang dimaksud adalah melihat hasil *report* yang dihasilkan dari *software* ETAP 7.0.0. dengan perbandingan tersebut hasil *report* nya yang akan dianalisa. Perbandingan dilakukan untuk melihat hasil perhitungan manual dan data dari PLN. Berikut dibawah akan ditampilkan hasil *report* dari hasil simulasi dengan data *eksisting* dari PLN.



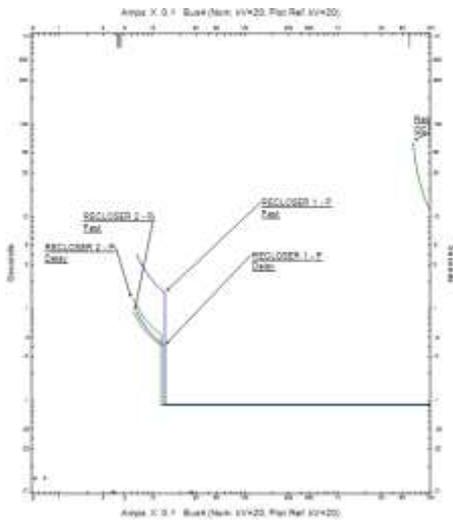
Gambar 11. Hasil laporan koordinasi proteksi di ETAP penyulang Kalisari 1 *eksisting* PLN

Time (ms)	ID	T (ms)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
700	Relay7	14.736	100		Phase - OC1 - 3T
710	CB7	14.736	30.0		Tripped by Relay7Phase - OC1 - 3T
800	Relay8	14.736	800		Phase - OC1 - 3D
810	CB8	14.736	30.0		Tripped by Relay8Phase - OC1 - 3D

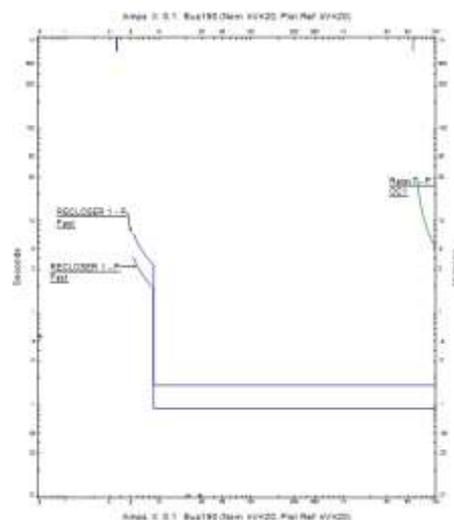
Gambar 12. Hasil laporan koordinasi proteksi di ETAP penyulang Kalisari 1 Hitung

Time (ms)	ID	T (ms)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
721	Relay7	14.584	721		Phase - OC1 - 3I
731	CB7	14.584	30.0		Tripped by Relay7Phase - OC1 - 3I
900	Relay8	14.584	900		Phase - OC1 - 3D
910	CB8	14.584	30.0		Tripped by Relay8Phase - OC1 - 3D

Gambar 15. Hasil laporan koordinasi proteksi di ETAP penyulang Kalisari 2 Hitung



Gambar 13 Grafik koordinasi proteksi di ETAP penyulang Kalisari 1 Hitung



Gambar 16 Grafik koordinasi proteksi di ETAP penyulang Kalisari 2 Hitung

Dilihat dari hasil *report* pada *software* ETAP perbandingan antara hasil koordinasi OCR terlihat nilai arus gangguan sama tetapi yang berbeda adalah nilai waktunya dengan relay yang sama yaitu relay 7 simulasi *eksisting* PLN yaitu 567 ms dan pada simulasi hitung yaitu 800 ms. Dari nilai tersebut didapatkan nilai dari *eksisting* PLN dapat dikatakan lebih cepat dalam waktu pemutusannya.

Dilihat dari hasil *report* pada *software* ETAP perbandingan antara hasil koordinasi OCR terlihat nilai arus gangguan sama tetapi yang berbeda adalah nilai waktunya dengan relay yang sama yaitu relay 7 simulasi *eksisting* PLN yaitu 400 ms dan pada simulasi hitung yaitu 800 ms. Dari nilai tersebut didapatkan nilai dari *eksisting* PLN dapat dikatakan lebih cepat dalam waktu pemutusannya.

Time (ms)	ID	T (ms)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
400	Relay7	14.897	400		Phase - OC1 - 3D
410	CB7	14.897	15.0		Tripped by Relay7Phase - OC1 - 3D
880	Relay8	14.897	880		Phase - OC1 - 3D
890	CB8	14.897	15.0		Tripped by Relay8Phase - OC1 - 3D

Gambar 14. Hasil laporan koordinasi proteksi di ETAP penyulang Kalisari 2 *eksisting* PLN

4. Kesimpulan

Berdasarkan pengujian dan analisa yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut Pada simulasi *drop* tegangan penyulang Kalisari 1 sebelum perbaikan didapatkan nilai *drop* tegangan sebesar 1.072 kV (5,359 %) dan setelah perbaikan didapatkan nilai *drop* tegangan sebesar 1,045 KV (5,229 %). Pada simulasi *drop* tegangan penyulang Kalisari 2 sebelum perbaikan didapatkan nilai *drop* tegangan sebesar 0,258 KV (1.29 %) dan setelah perbaikan didapatkan nilai *drop* tegangan sebesar 0,336 KV (1.27 %). Penggantian luas penampang kabel dapat menjadi salah satu cara dalam perbaikan *drop* tegangan.

Hasil koordinasi kerja OCR-Recloser pada penyulang Kalisari 1 dan Kaliari 2 *eksisting* PLN bekerja sesuai dengan waktu TMS yang ditentukan. Hasil koordinasi nilai arus gangguan antara *eksisting* dan perhitungan sama, hanya waktu pemutusannya yang berbeda. Dalam penelitian ini masih dapat dikembangkan lagi sebagai berikut Dalam perbaikan *drop* tegangan dapat dilakukan dengan pemasangan kapasitor bank atau dengan pengaturan tap pada trafo di gardu induk. Dapat dilakukan perhitungan *setting* TMS dengan perbedaan persen jarak dari titik lokasi pelatitan proteksi.

Referensi

- [1]. Ariwibowo,C, *Trafo Distribusi pada JTM 20 KV di PT PLN Persero UPJ Semarang Selatan*
- [2]. Dewayana, R.K, *Proyeksi Kebutuhan dan Penyediaan Energi Listrik di Jateng Menggunakan Perangkat Lunak LEAP*, PENELITIAN S-1, Universitas Diponegoro, Semarang, 2009.
- [3]. Pradana,A.P, *Perkiraan Konsumsi Energi Listrik, Saidi SAifi, dan Rugi-rugi Energi Listrik Pada Jaringan APJ Cilacap Tahun 2012-2016*, penelitian S-1, Universitas Diponegoro, Semarang, 2011.
- [4]. Kelompok Kerja Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik dan Pusat Penelitian Sains dan Teknologi Universitas Indonesia, *Kriteria Disain Enjinerig Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik*, PT PLN (Persero), 2010
- [5]. Darmanto, Nugroho Agus. Handoko, Susatyo. 2006. "Analisis Koordinasi OCR – Recloser Penyulang Kaliwungu 03", Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik., Universitas Diponegoro, Indonesia.
- [6]. Rahardjo, *Merencanakan Pengembangan Sistem Kelistrikan PLN kedepan Secara Lebih Baik dan Lebih Efisien*, PT PLN (Persero) Distribusi Jateng DIY, 2006.
- [7]. Karimata, P., *Kursus Perencanaan Sistem Ketenagalistrikan Jenjang I (Dasar) Distribution Load Planning – Model DKL versi 3.2*, Direktorat Transmisi dan Distribusi PT PLN (Persero), 2005.
- [8]. Kelompok Kerja Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik dan Pusat Penelitian Sains dan Teknologi Universitas Indonesia, *Standard Konstruksi Jaringan Tegangan Menengah Tenaga Listrik*, PT PLN (Persero) , 2010
- [9]. Suhadi , *SMK Teknik Distribusi Tenaga Listrik Jilid I*, Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Umum Dirjen Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah Departemen Pendidikan Nasional , 2008
- [10]. Suswanto, D. A., *Klasifikasi Jaringan Distribusi*, Buku Ajar BAB II
- [11]. Sulasno, *Teknik dan Sistem Tenaga Distribusi Tenaga Listrik Edisi I*, Badan Penerbit Universitas Diponegoro, Semarang, 2001.
- [12]. Suhadi , *SMK Teknik Distribusi Tenaga Listrik Jilid II*, Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Umum Dirjen Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah Departemen Pendidikan Nasional , 2008
- [13]. Priyono, Sugeng. 2005. "Koordinasi Sistem Proteksi Trafo 30 MVA di Gardu Induk 150 kV Krapyak", Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Indonesia.
- [14]. Kelompok Kerja Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik dan Pusat Penelitian Sains dan Teknologi Universitas Indonesia, *Konstruksi Sambungan Tenaga Listrik*, PT PLN (Persero), 2010
- [15]. Setyaatmoko, Franky Dwi. 2011. "Studi Arus Gangguan Hubung Singkat Menggunakan Pemodelan ATP/EMTP pada Jaringan Transmisi 150 kV di Sulawesi Selatan", Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh November, Indonesia.
- [16]. Laksana, Eka Setya. 2011. "Analisis Koordinasi Sistem Pengaman *Incoming* dan Penyulang *Transformator* 3 di GI Sukolilo Surabaya", Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh November, Indonesia.
- [17]. Saadat, Hadi. 1999. "Power System Analysis". McGraw Hill.
- [18]. Stevenson, William D. 1996. "Analisis Sistem Tenaga Listrik". Erlangga.
- [19]. Marsudi, Djiteng,"Operasi Sistem Tenaga Listrik",Edisi kedua, Graha Ilmu,Yogyakarta, 2006.