

Studi Pembagian Beban dan Rekonfigurasi Switching Keypoint pada Jaringan TM 20 kV PWI – 7 GI Purwodadi Berbasis ETAP 12.6.0

Alfin Juniyanto¹, Ida Widiastuti², dan Munaf Ismail³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung
Jl. Kaligawe Raya No.KM, RW.4, Terboyo Kulon, Kec. Genuk, Kota Semarang, Jawa Tengah, 50112
e-mail: alfin.j@std.unissula.ac.id

Abstrak— Penyulang PWI 7 merupakan salah satu dari penyulang Jaringan Tegangan Menengah (JTM) 20 kV milik PT PLN (Persero) UP3 Demak pada Gardu Induk (GI) Purwodadi dengan wilayah mensuplai listrik tiga wilayah yang cukup jauh di Kabupaten Grobogan, Jawa Tengah, yaitu kecamatan Pulokulon, Kradenan, Gabus. Dimana penyulang ini memiliki kepadatan beban sebesar 400,33 A (beban menjelang malam) dengan pembatas OCR (Over Current Relay) dari PMT PWI 7 sebesar 450 A. Dari sisa 12 % dari beban penuh, penyulang PWI 7 hanya menampung sedikit jika membantu manuver penyulang disekitarnya serta jarak saluran yang jauh yaitu 62,94 kms, sehingga nilai tegangan ujung sangat rendah. Pada studi penelitian ini, menjabarkan perencanaan pembagian beban sepanjang $\pm 50\%$ struktur jaringan penyulang lama PWI 7 dengan penambahan penyulang baru KRN 1. Pola pembagian struktur jaringan tersebut juga merubah pola switching keypoint sehingga perlu merekonfigurasi koordinasi proteksi pengaturan OCR (Over Current Relay) dan GFR (Grount Fault Relay) antara penyulang PWI 7 dengan penyulang baru KRN 1. Dengan didukung aplikasi simulasi ETAP 12.6.0 sebagai implementasi analisa dan penentuan pembagian beban dan rekonfigurasi switching keypoint dapat diterapkan di lapangan yang sesuai dengan Kajian Kelayakan Operasi (KKO)

Kata kunci: *Pembagian Beban, Tegangan Ujung, Rekonfigurasi Switching Keypoint, Koordinasi Proteksi, ETAP 12.6.0.*

Abstract— PWI 7 feeder is one of the 20 kV Medium Voltage Network (JTM) feeders belonging to PT PLN (Persero) UP3 Demak at the Purwodadi Substation (GI) with an area that supplies electricity to three areas which are so far away in Grobogan Regency, Central Java, namely Pulokulon sub-district. , Kradenan, Gabus. Where this feeder has a load density of 400.33 A (load at night) with an OCR (Over Current Relay) limiter from CB PWI 7 of 450 A. Of the remaining 12% of full load, PWI 7 feeder only accommodates a little if helps the feeder maneuver the surrounding area and the long channel distance is 62.94 kms, so tip voltage value is very low. In this research study, describes the load breakdown plan along $\pm 50\%$ of the PWI 7 feeder network structure with the addition of a new KRN 1 feeder. The method of breaking the network structure also changes the keypoint switching method. It's necessary to reconfigure the coordination of OCR (Over Current Relay) and GFR settings. (Grount Fault Relay) between PWI 7 feeder and the new feeder KRN 1. With the support of the ETAP 12.6.0 simulation application as an implementation of analysis and determination of load solving and reconfiguration of keypoint switching can be applied in the field in accordance with the Research Of Operational Feasibility

Keywords: *Load Deviding, Tip Voltage, Switching Keypoint Reconfiguration, Protection Coordination, ETAP 12.6.0.*

I. PENDAHULUAN

Studi kasus pada jaringan Distribusi Tegangan Menengah 20 KV di perusahaan PT PLN (Persero) UP3 Demak pada Gardu Induk (GI) Purwodadi pada wilayah unit kerja Wirosari, Grobogan, Jawa Tengah. Yaitu, salah satunya pada penyulang PWI 7 dimana penyulang tersebut mensuplai tiga wilayah kabupaten grobogan yang jauh, yaitu Kecamatan Pulokulon, Kradenan, Gabus. Dimana pada penyulang ini memiliki masalah beban penyulang yang cukup tinggi.

Penyulang PWI 7 memiliki karakteristik kepadatan beban sebesar 400,33 A (beban menjelang malam) dengan pembatas PMT Over Current Rlay (OCR) GI sebesar 450 A. Dari sisa 12 % dari beban penuh, penyulang PWI 7 hanya menampung sedikit apabila membackup atau membantu manuver penyulang disekitarnya. Selain itu, jarak panjang penyulang 3 fasa (main feeder) 20 KV PWI 7 yang ditransfer dari Gardu Induk (GI) Purwodadi cukup jauh yaitu 62,94 kms, sehingga nilai tegangan ujung sangat rendah,. Pada tahun 2020 titik terendah drop tegangan ujung

terukur penyulang PWI 7 sebesar 16,7 KV pada section ujung K2 312/1. Dari permasalahan tersebut PT PLN (Persero) UP3 Demak telah merencanakan pembangunan Gardu Induk (GI) Baru Kradenan yang diajukan tahun 2020 dalam berupaya memperbaiki penyulang di dekat kawasan tersebut yaitu membangun penyulang baru KRN 1.

Oleh karena itu, keterkaitan dengan adanya perencanaan Gardu Induk (GI) GI baru Kradenan maka dilakukanlah studi penelitian pada tugas akhir ini dalam memperbaiki jaringan lama penyulang PWI 7 dengan Judul, “Studi Pembagian Beban Dan Rekonfigurasi Switching Keypoint Pada Jaringan TM 20 KV PWI – 7 GI Purwodadi Berbasis ETAP 12.6.0”, penulis akan memberikan stimulasi pembagian beban existing penyulang PWI 7 dengan penyulang baru KRN 1. Selain itu, hasil dari pembagian tersebut, membantu mengurangi besaran drop pada tegangan ujung. Dan pembangunan penyulang baru nantinya dilakukan joint feeder pada kontruksi existing pada PWI 7. Selain pembagian beban tersebut, maka juga dilakukan rekonfigurasi ulang koordinasi proteksi pada perangkat Switching Keypoint dari bagian section existing yang dibagi PWI 7 dengan penyulang baru KRN 1. Pada studi penambahan penyulang baru tersebut memakai sumber energi yang diambil pada perencanaan pembangunan Gardu Induk (GI) Baru Kradenan di wilayah PT PLN (Persero) UP3 Demak. Agar dari studi dapat dijadikan hasil acuan yang baik, maka penelitian ini dibantu dengan simulasi Software Engineering ETAP 12.6.0 dalam implementasi analisa teknik kelistrikan dan unjuk kerja sistem kontrol proteksi..

II. STUDI PUSTAKA

A. Sistem Distribusi

Sistem Distribusi[4] adalah bagian dari sistem tenaga listrik yang berada dekat dengan sisi beban atau pelanggan. Sistem distribusi berfungsi untuk mendistribusikan tenaga listrik dari Tegangan Menengah 20 kV (TM) ke Tegangan Rendah (TR) 380/220 V dari pusat saluran Transmisi 150/20 KV. Pada Pelanggan Jaringan Distribusi dibagi menjadi 2 yaitu pelanggan melalui Jaringan Primer (TM 20 kV) dan Jaringan Sekunder (TR 380/220 V) sesuai dengan standar.

B. Koordinasi Proteksi

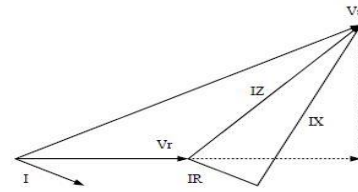
Studi koordinasi peralatan atau sistem proteksi listrik adalah kajian atau analisis untuk menentukan setting rele arus-lebih / Over Current Relay (OCR), Ground Fault Relay (GFR), Directional Relay (DGR), sejenisnya dan pemutus (circuit breaker) yang tujuan utamanya untuk mendapatkan kompromi optimal antara proteksi dan selektivitas. Pembagian Koordinasi dibedakan menjadi 2 (dua), yaitu : Koordinasi Selektif dan Koordinasi Yang Terganggu.

C. Drop Tegangan

Drop tegangan[4][6] ialah nilai tegangan yang hilang pada suatu penghantar. Besarnya drop tegangan dapat dinyatakan baik dalam bentuk satuan volt atau persen. Jatuh tegangan pada saluran distribusi adalah selisih antara tegangan pada sisi kirim (V_s) dan tegangan pada sisi terima (V_r).

$$\text{Dimana : } \Delta V = V_s - V_r \quad (1)$$

Berikut diagram Gambar 2.14 arah phasor pada saluran distribusi:



Gambar 2.1 Diagram Phasor Saluran Distribusi

Apabila perbedaan nilai tegangan tersebut melebihi standar yang ditentukan, maka mutu penyaluran tersebut rendah. Berdasarkan dari standar SPLN 72:1987[6], dimana ditentukan bahwa variasi tegangan menengah, sebagian akibat jatuh tegangan, karena adanya perubahan beban, -2% Untuk sistem Jaringan spindel/gugus dan -5%. Jaringan Radial diatas tanah dan Simpul dari tegangan nominalnya. Pada gambar 2.1 dapat dilihat bahwa persamaan tegangan yang mendasari diagram phasor tersebut adalah:

$$V_s = V_r + I(R \cos \theta + jX \sin \theta) \quad (2)$$

Karena $I(R \cos \theta + jX \sin \theta)$ sama dengan IZ , maka persamaan menjadi:

$$V_s = V_r + IZ \text{ atau } V_s - V_r = IZ \quad (3)$$

Sehingga

$$\Delta V = IZ \quad (4)$$

$$\Delta V = I(R \cos \theta + jX \sin \theta) \quad (5)$$

Maka untuk saluran distribusi primer perhitungan besar drop tegangan pada saluran distribusi primer 3 fasa adalah :

$$\Delta V = \sqrt{3} \cdot I \cdot L(R \cos \theta + jX \sin \theta) \quad (6)$$

Besar persentase susut tegangan pada saluran distribusi primer dapat dihitung dengan :

$$\% \Delta V = \frac{\Delta V}{V_s} \times 100\% \quad (7)$$

Dimana :

ΔV	= Drop Tegangan	(Volt)
$\% \Delta V$	= Persentase Drop Tegangan	(%)
V_s	= Tegangan Sumber	(Volt)
R	= Resistansi Jaringan	(Ω/km)
jX	= Reaktansi Jaringan	(Ω/km)
I	= Arus Saluran	(A)
L	= Panjang Saluran	

$$\cos \theta = 0,85$$

$$\sin^2 \theta = 1 - \cos^2 \theta = 1 - (0,85)^2 = 0,2775$$

$$\sin \theta = 0,526$$

D. Impedansi Hantaran Tegangan Menengah

Impedansi merupakan suatu ukuran sejauh mana rangkaian menghambat suatu aliran listrik, semua bahan tersebut mempunyai tingkat hambatan listrik yang dapat menyebabkan beberapa energi hilang sebagai panas dan juga mengurangi aliran listrik. Impedansi dilambangkan dengan simbol Z dan memiliki satuan *Ohm*. Berikut Tabel 2.2, menunjukkan data impedansi kawat penghantar menurut SPLN 64 : 1985[8].

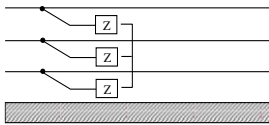
Tabel 2. 1 Impedansi Kawat Penghantar AAAC 20 kV [11]

Penampang Nominal (mm ²)	Jari-jari (mm)	Urut	GMR (mm)	Impedansi Urutan Positif (Ω / km)	Impedansi Urutan Nol (Ω / km)
16	2,2563	7	1,6380	2,0161+j 0,4036	2,1641+j 1,6911
25	2,8203	7	2,0475	1,2903+j 0,3895	1,4384+j 1,6770
35	3,3371	7	2,4227	0,9217+j 0,3790	1,0697+j 1,6665
50	3,9886	7	2,8957	0,6452+j 0,3678	0,7932+j 1,6553
70	4,7193	7	3,4262	0,4608+j 0,3572	0,6088+j 1,6447
95	5,4979	19	4,1674	0,3396+j 0,3449	0,4876+j 1,6324
120	6,1791	19	4,6837	0,2688+j 0,3376	0,4168+j 1,6251
150	6,9084	19	5,2365	0,2162+j 0,3305	0,3631+j 1,6180
185	7,6722	19	5,8155	0,1744+j 0,3239	0,3224+j 1,6114
240	8,7386	19	6,6238	0,1344+j 0,3158	0,2824+j 1,6033

E. Jenis Gangguan Hubung Singkat

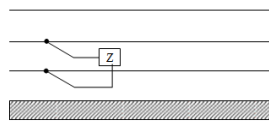
Gangguan hubung singkat[10] yang mungkin terjadi di dalam Jaringan (Sistem Kelistrikan) ada 3, yaitu:

- Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa



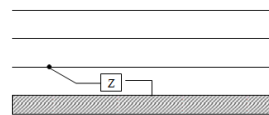
Gambar 2.2 Arus Hubung Singkat 3 Fasa

- Fasa Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa



Gambar 2.3 Arus Hubung Singkat 2 Fasa

- Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah.



Gambar 2.4 Arus Hubung Singkat 1 Fasa

Dari ketiga macam gangguan hubung singkat di atas, Arus gangguannya dihitung dengan menggunakan rumus umum yaitu, dimana:

$$I_{Sh} = \frac{(V)}{Z} \quad (11)$$

I_{Sh} = arus yang mengalir pada hambatan Z
V = tegangan sumber
Z = impedansi jaringan

Nilai ekuivalen dari seluruh impedansi didalam jaringan dari sumber tegangan sampai titik gangguan. Dan dapat ditunjukkan persamaan seperti berikut ini :

$$Z \text{ untuk gangguan 3 fasa } Z = Z_1 \quad (12)$$

$$Z \text{ untuk gangguan 2 fasa } Z = Z_1 + Z_2 \quad (13)$$

Z untuk gangguan 1 fasa ke tanah

$$Z = Z_1 + Z_2 + Z_0 \quad (14)$$

dimana:

Z1 = impedansi urutan positif.
Z2 = impedansi urutan negatif.
Z0 = impedansi urutan nol.

F. Perhitungan Impedansi Sumber

Perhitungan impedansi transformator dinyatakan dalam persamaan

$$X_T = Zt\% \frac{kV^2}{MVA} \quad (22)$$

dengan :

X_T = Reaktansi trafo tenaga (Ω)
kV = Tegangan sisi sekunder 20kV (kV)
MVA = Kapasitas daya trafo tenaga (MVA)
Zt% = (%) persen nilai reaktansi

G. Perhitungan Impedansi Saluran

Perhitungan Impedansi penyulang saluran[12] dapat dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$Z = (R + jX) \cdot \Omega / km \quad (23)$$

H. Perhitungan Impedansi Jaringan Ekuivalen

Perhitungan impedansi ekuivalen ialah perhitungan besarnya nilai impedansi positif (Z1 eq), negatif (Z2 eq) dan nol (Z0 eq) dari titik gangguan sampai ke sumber.

Dimana mencari Impedansi Ekuivalen Positif, maka :

$$Z_{1eq} = Z_{2eq} = X_{T1} + X_{Sc} + Z_{Saluran} \quad (24)$$

sehingga Z1 eq didapatkan

$$Z_{1eq} = Z_{2eq} = X_{T1} + X_{Sc} + Z_{Saluran} \quad (25)$$

Dimana mencari Impedansi Ekuivalen nol , maka :

$$Z_{0eq} = (X_{T0}) + (3R_N) + Z_{Saluran} \quad (26)$$

I. Perhitungan Arus Gangguan Pada Impedansi Jaringan Ekuivalen

Dalam perhitungan arus hubung singkat 3 fasa, impedansi yang digunakan adalah impedansi sesuai persamaan :

$$I_{3fasa} = \frac{(\frac{V_{LL}}{\sqrt{3}})}{Z_{1eq}} \quad (27)$$

Sedangkan perhitungan arus hubung singkat 2 fasa , maka impedansi ekuivalen Z1 eq maka :

$$I_{f2fasa} = \frac{(V_{LL})}{Z_{1eq} + Z_{2eq}} \quad (28)$$

$$I_{f2fasa} = \frac{(V_{LL})}{2 \times Z_{1eq}} \quad (29)$$

Sedangkan perhitungan arus hubung singkat 1 fasa dengan tanah. Perhitungan ini menggunakan persamaan :

$$I_{f1fasa-netral} = \frac{(\frac{V_{LL}}{\sqrt{3}}) * 3}{Z_{1eq} + Z_{2eq} + Z_{0eq}} \quad (30)$$

$$= \frac{(\frac{V_{LL}}{\sqrt{3}}) * 3}{Z_{1eq} + Z_{2eq} + Z_{0eq}} \quad (31)$$

$$= \frac{(\frac{V_{LL}}{\sqrt{3}}) * 3}{(2 \cdot Z_{1eq}) + Z_{0eq}}$$

Jika pada arus gangguan 1 fasa memiliki impedansi pentanahan / Rfault maka

$$I_{f1fn} = \frac{(\frac{V_{LL}}{\sqrt{3}}) * 3}{(2 \cdot Z_{1eq}) + Z_{0eq} + R_{Fault}} \quad (32)$$

III. METODE PENELITIAN

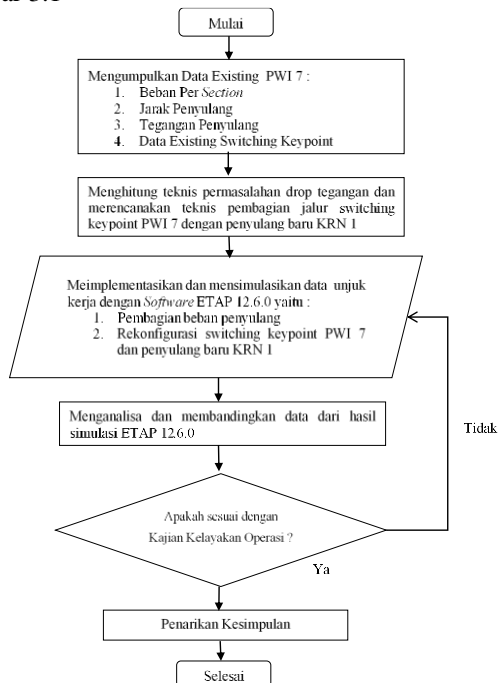
A. Metode Penelitian

Pada metode penelitian ini, penulis menganalisa permasalahan dengan mengumpulkan data pengukuran beban pada penyulang PWI 7, merencanakan perhitungan

pembagian beban penyulang PWI 7 dengan penyulang baru KRN 1 sehingga mendapatkan dampak hasil drop tegangan ujung. Kemudian menjabarkan data existing switching keypoint pada PWI 7 dan setelah itu menghitung pengaturan rekonfigurasi switching keypoint bersamaan struktur penyulang dibagi antara penyulang PWI 7 dengan KRN 1 yang sesuai dengan KKO (Kajian Kelayakan Operasi) [13].

B. Perancangan Penelitian Model Penelitian

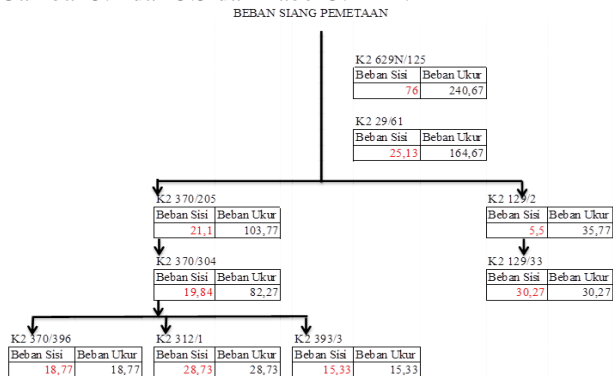
Pada perancangan model penelitian ini, dijabarkan pada Gambar 3.1



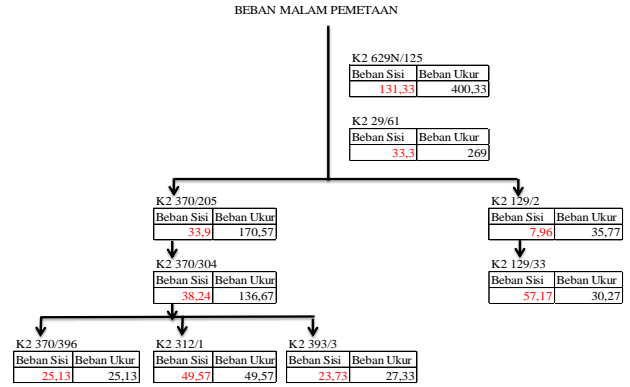
Gambar 3.1 Flowchart Penelitian

C. Studi Pengukuran dan Perhitungan Beban Existing PWI 7

Untuk mengetahui Drop Tegangan maka, diperlukan data pengukuran beban existing PWI 7, dapat dilihat pada Gambar 3.2 dan 3.3 dan Tabel 3.1 ini :



Gambar 3.2 Pemetaan Beban Siang

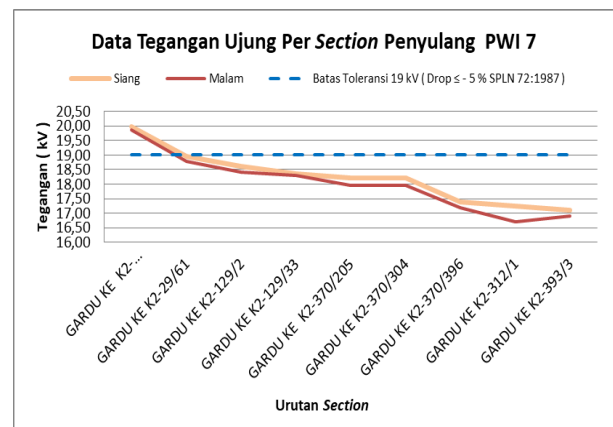


Gambar 3.3 Pemetaan Beban Malam

Tabel 3.1 Tabel Parameter Beban, Penampang dan Jarak Section PWI 7

NO	SECTION	I Rata ²		Panjang (kms)	Ukuran Penampang (mm)	Tegangan Kirim per Section (KV)	
		Siang	Malam			Siang	Malam
1	GARDU KE K2-629N/127	76,00	131,33	13,10	3x240	19,99	19,85
2	GARDU KE K2-29/61	25,13	33,30	23,91	3x240	18,95	18,77
3	GARDU KE K2-129/2	5,50	7,96	27,59	3x240	18,60	18,40
4	GARDU KE K2-129/33	30,27	57,17	29,57	3x240	18,35	18,30
5	GARDU KE K2-370/205	21,10	33,90	32,53	3x240	18,10	17,96
6	GARDU KE K2-370/304	19,84	38,24	38,47	3x240	18,10	17,95
7	GARDU KE K2-370/396	18,77	25,13	43,99	3x240	17,40	17,20
8	GARDU KE K2-312/1	28,73	49,57	38,95	3x240	17,10	16,70
9	GARDU KE K2-393/3	15,33	23,73	43,83	3x240	17,10	16,90

Sehingga dari hasil tersebut muncul dapat dilihat pada pola Gambar 3.4 Grafik karakteristik drop tegangan PWI 7



Gambar 3.4 Grafik karakteristik drop tegangan PWI 7

D. Perancangan Pembagian Beban Penyulang PWI 7 dengan Penyulang Baru KRN 1 Gardu Induk (GI) Kradenan

Pada studi perancangan ini dimana penulis menjabarkan pembagian dan perhitungan beban dalam membagi beban penyulang PWI 7 yang dapat dilihat pada Gambar 3.5

- Penentuan Setting Keypoint PWI 7

Tabel 3.7 Hasil perhitungan setting proteksi Recloser PWI 7/ 72

Parameter Setting	OCR	GFR
I Set	360	104,8
Tipe Kurva	Standar Inverse	Standar Inverse
TMS	0,058	0,154
Instant Highset	5069,07	1417,45
Tipe kurva	Instant	Instant
T set	0,1 s	0,1 s

G. Perancangan Rekonfigurasi Keypoint Penyulang Baru KRN 1

- Menghitung Impedansi Sumber dan Trafo Di Penyulang Baru KRN 1

Tabel 3.8 Hasil Impedansi Sumber dan Trafo Di Penyulang Baru KRN 1

Jenis Impedansi	Nilai Impedansi (Ω)
X_{sc}	0,1124
X_{T1}	0,8

- Menghitung Impedansi Saluran Pada Penyulang Baru KRN 1

Tabel 3.9 Hasil Impedansi Saluran Pada Penyulang Baru KRN 1

Nama Section	Jarak (km)	Impedansi saluran positif / negatif	Impedansi saluran nol
PWI 7 - 72	0,56	0,0752 + j 0,176	0,203 + j 0,90608
Ujung Jaringan	17,74	2,384 + j 5,602	6,441 + j 28,703

- Menghitung Impedansi Ekuivalen Penyulang Baru KRN 1

Tabel 3.10 Hasil Impedansi Ekuivalen Pada Penyulang Baru KRN 1

Nama Section	Jarak (km)	Impedansi saluran positif / negatif	Impedansi saluran nol
PWI 7 - 72	0,56	0,0752 + j 1,0884	20,183 + j 3,00608
Ujung Jaringan	17,74	2,384 + j 6,5144	26,421 + j 30,803

- Menghitung Arus Hubung Singkat Pada Penyulang Baru KRN 1

Tabel 3.11 Hasil Perhitungan Arus gangguan di Section KRN 1

Nama Section	Arus gangguan 3 fasa (A)	Arus Gangguan 1 fasa (A)
K2 129/60	10583,92	1650,86
Ujung Jaringan	1664,57	209,92

- Penentuan Setting Penyulang Baru KRN 1

Tabel 3.12 Hasil perhitungan setting proteksi Recloser K2 129/60

Parameter Setting	OCR	GFR
I Set	360	104,96
Tipe Kurva	Standar Inverse	Standar Inverse
TMS	0,039	0,078
Instant Highset	10583,92	1650,86
Tipe kurva	Instant	Instant
T set	0,1 s	0,1 s

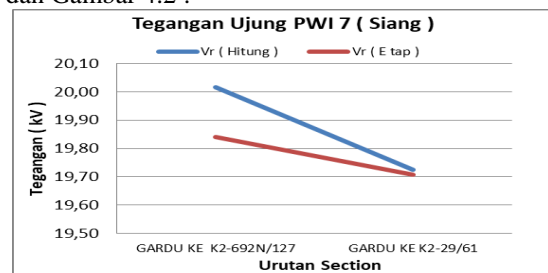
IV. HASIL PENGUJIAN DAN ANALISIS

A. Hasil Analisa Pembagian Beban Penyulang PWI 7 & Penyulang Baru KRN 1 Via ETAP 12.6.0

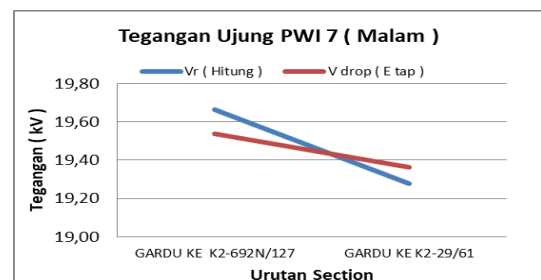
Tabel 4.1 Hasil Uji Coba Tegangan Ujung PWI 7 Via ETAP 12.6.0

NO	SECTION	I Rata ^2		Panjang (kms)	V drop (Hitung)		V drop (Etap)		GAP % Deviasi		
		Siang	Malam		Siang	Malam	Siang	Malam	siang	malam	
PWI - 1											
1	GARDU KE K2-692N/125	76,00	131,33	13,10	20,02	19,66	19,841	19,539	0,88	0,64	
2	GARDU KE K2-29/61	25,13	33,30	23,91	19,72	19,28	19,707	19,362	0,09	-0,43	
KRN - 1											
1	GARDU KE K2-129/60	5,50	7,96	0,56	20,499	20,498	20,244	20,205	1,26	1,45	
2	GARDU KE K2-370/205	21,10	33,90	4,63	20,451	20,422	20,108	19,972	1,71	2,25	
3	GARDU KE K2-370/304	19,84	38,24	10,67	20,348	20,223	20,108	19,972	1,19	1,26	
4	GARDU KE K2-370/396	18,77	25,13	16,19	20,201	20,026	20,07	19,922	0,65	0,52	
SEGMENT 1											
5	GARDU KE K2-129/33	30,27	57,17	1,04	20,483	20,469	20,191	20,14	1,44	1,63	
SEGMENT 2											
6	GARDU KE K2-312/1	28,73	49,57	13,31	19,840	19,561	20,076	19,917	-1,18	-1,79	
SEGMENT 3											
7	GARDU KE K2-393/3	15,33	23,73	23,70	19,859	19,659	20,061	19,886	-1,01	-1,14	

Hasil formulasi Load Flow untuk penyulang PWI 7 dan KRN 1 menunjukkan optimalisasi tegangan dimasing section tidak kurang dari 19 kV . GAP % Deviasi selisih antara nilai hitung dengan nilai ETAP tidak terlalu jauh dan yang didapatkan nilai tertinggi sebesar 2,25 % dan terendah sebesar -1,79 %. Pada hasil perhitungan manual nilai tegangan ujung (Vr) pada section ujung K2 29/61 sebesar 19,72 kV (Siang) dan 19,28 (Malam). Sedangkan hasil tegangan ujung (Vr) ETAP pada section ujung K2 29/61 nilai tegangan ujung sebesar 19,707 kV (Siang) dan 19,362 (Malam). Data tersebut dapat dilihat pada grafik Gambar 4.1 dan Gambar 4.2 .



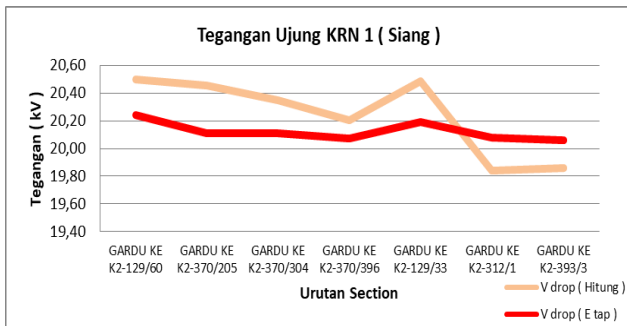
Gambar 4.1 Grafik Tegangan Ujung PWI 7 (Siang Hari) Setelah Pecah Beban



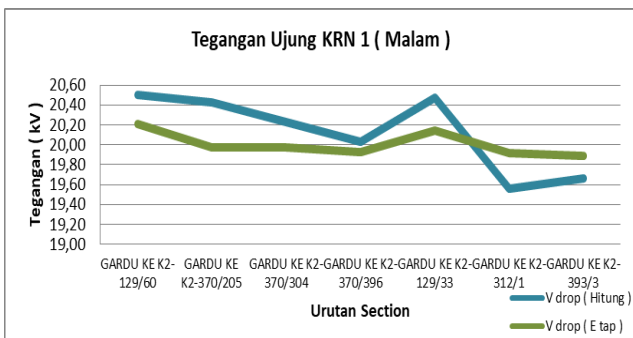
Gambar 4.2 Grafik Tegangan Ujung PWI 7 (Malam Hari) Setelah Pecah Beban

Pada hasil formulasi untuk penyulang baru KRN 1 hasil tegangan ujung yang diperoleh dari hasil hitungan dan ETAP, menunjukkan bahwa tegangan ujung tidak kurang

dari 19 kV atau - 5 % toleransi susut tegangan (SPLN 72:1987) dari tegangan nominal 20 kV[14]. Dapat dilihat pada Gambar 4.3 dan Gambar 4.4 grafik karakteristik tegangan ujung pada tiap section.



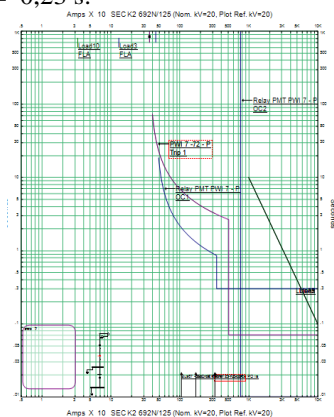
Gambar 4.3 Grafik Tegangan Ujung KRN 1 (Siang Hari)



Gambar 4.4 Grafik Tegangan Ujung KRN 1 (Malam Hari)

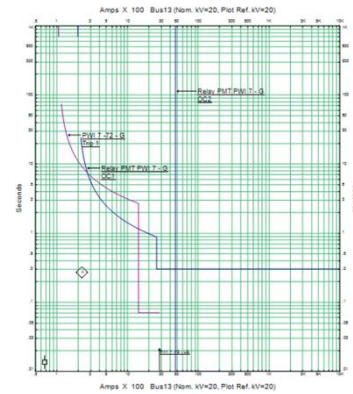
B. Analisa Pengujian Rekonfigurasi Switching Keypoint Penyulang PWI 7 Via ETAP 12.6.0

Dari hasil perancangan tersebut muncullah grafik karakteristik tipe pola kurva antara PMT PWI 7 dan Recloser PWI7/72, dapat dilihat Gambar 4.15 dimana pada relay OCR Recloser PWI7/72 berjenis NuLec Schneider N27 ini, pada saat bekerja adanya gangguan fasa tingkat rendah, sensibitas relay dalam menerima lebih sensitif, namun ketika adanya arus gangguan $I_{\text{shortsirkuit}} \approx \infty$ (tak terhingga) pada invers time hasil respon time lebih unggul PMT PWI 7 berjenis Areva P123 dengan selisih nilai $T_{\text{different}} = 0,23$ s.



Gambar 4.5 Pola Kurva Keypoint PWI 7 – Fasa Mode

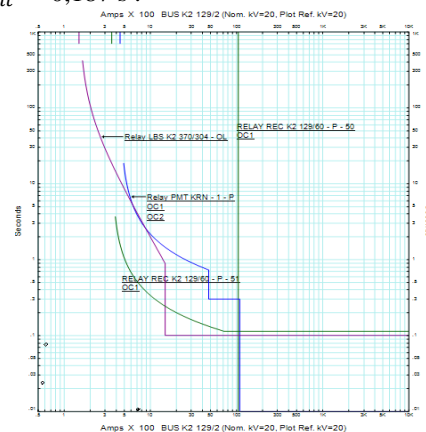
Berbeda pada saat gangguan tanah, pada Gambar 4.6, respon time pada sisi Recloser PWI 7/72 lebih unggul / cepat namun jika ada kegagalan fungsi maka PMT PWI 7 mampu meng-cover arus gangguan sisi Recloser PWI 7 / 72



Gambar 4.6 Pola Kurva Keypoint PWI 7 – Ground Mode

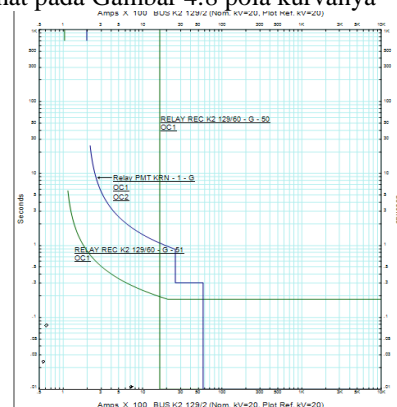
C. Analisa Pengujian Rekonfigurasi Switching Keypoint Penyulang Baru KRN 1 Via ETAP 12.6.0

Hasil uji kinerja PMT KRN 1 dan beberapa keypoint membentuk pola kurva berurutan, terlihat pada Gambar 4.7 dimana LBS K2 370 bekerja pada posisi pertama dalam meng-cover arus lebih, dan disusul recloser K2 129/60 dengan $T_{\text{different}} = 0,0171$ s. Kemudian setelah dari recloser K2 129/60 disusul relay PMT KRN dengan $T_{\text{different}} = 0,187$ s .



Gambar 4.7 Pola Kurva Keypoint KRN 1 – Fasa Mode

Sedangkan untuk kinerja gangguan tanah, LBS K2 370/304 tidak memiliki sinyal kurva dikarenakan berfungsi sebagai *Overload Relay* (OLR), kemudian pada urutan *response time Recloser* K2 129/60 lebih awal kerja / Open Trip jika ada arus gangguan dan kemudian diikuti PMT KRN 1. Dapat dilihat pada Gambar 4.8 pola kurvanya



Gambar 4.8 Pola Kurva Keypoint KRN 1 – Ground Mode

D. Hasil Analisa Kelayakan Operasi Rekonfigurasi Switching Keypoint PWI 7 dan Penyulang Baru KRN 1

Tabel 4.2 Urutan Koordinasi Proteksi Pada Penyulang PWI 7 dan Penyulang Baru KRN 1

NO	Wilayah Arus Gangguan	Perangkat Proteksi PWI 7		Perangkat Proteksi Penyulang Baru KRN 1			Ket.
		Recloser PWI 7/60	PMT PWI 7	LBS K2 370/304	Recloser PWI K2 129/60	PMT KRN 1	
PWI 7							(✓) = Terealisasi Kerja Relay (-) = Tidak Terealisasi Kerja Relay
1	Section PMT PWI 7	-	✓	-	-	-	
2	Section REC PWI 7/72	✓	✓	-	-	-	
3	section K2 12/61	✓	-	-	-	-	
KRN 1 (Penyulang Baru)							
1	Section PMT KRN 1	-	-	-	-	✓	
2	Section REC K2 129/60	-	-	-	✓	✓	
3	Section K2-129/2	-	-	-	✓	✓	
4	Section K2-129/33	-	-	-	✓	✓	
5	Section K2-370/205	-	-	-	✓	✓	
6	Section LBS K2-370/304	-	-	✓	✓	✓	
7	Section K2-312/1	-	-	✓	✓	-	
8	Section K2-393/3	-	-	✓	✓	-	
9	Section K2-370/396	-	-	✓	✓	-	

Sehingga dari hasil tabel 4.2 diatas dari hasil acuan aplikasi ETAP bahwasanya penerapan rekonfigurasi parameter dari perhitungan dan hasil uji coba simulasi proteksi telah memenuhi kelayakan operasi apabila diterapkan di kondisi lapangan didalam perencanaan rekonfigurasi jaringan TM 20 KV pada jaringan PWI 7 dan penyulang baru KRN 1

V. KESIMPULAN

- Berdasarkan penjabaran pola masalah beban penyulang PWI 7 memiliki kepadatan beban tertinggi sebesar 400,33 A (menjelang malam) dan 240,67 A (siang hari) dengan memiliki drop terendah pada tegangan ujung sebesar 16,7 kV (malam hari) dan 17,10 kV (siang hari) di section ujung K2 312/1
- Hasil analisa pembagian beban penyulang PWI 7 dan penyulang KRN 1 berdasarkan nilai hitung manual dan nilai Load flow via ETAP 12.6.0, keduanya mampu memperbaiki tegangan ujung yang nilainya lebih dari/ > $V_{min} = 19$ kV atau jauh dari - 5 % toleransi drop tegangan (SPLN 72:1987) dan GAP % deviasi selisih antara nilai hitung dengan nilai ETAP tidak terlalu jauh dengan nilai tertinggi sebesar 2,25 % dan terendah sebesar -1,79 %. Sehingga bisa dipastikan kedua penyulang memenuhi KKO (Kajian Kelayakan Operasi).
- Dari hasil koordinasi proteksi via ETAP 12.6.0 bahwa rekonfigurasi switching keypoint pada penyulang PWI 7 dengan penyulang baru KRN 1 telah memenuhi syarat Kajian Kelayakan Operasi (KKO) dalam mengamankan jaringan di masing – masing section .

REFERENSI

- D. O. Andryana, “Studi Perencanaan Koordinasi Proteksi Mempertimbangkan Busur Api Pada Sistem Kelistrikan PT. Semen Indonesia Aceh Menggunakan Standar IEEE 1584-2002,” *J. Tek. ITS*, vol. 6, no. 1, 2017, doi: 10.12962/j23373539.v6i1.21309.
- A. Saadah, “STUDI PERENCANAAN PEMBANGUNAN PENYULANG BARU UNTUK PEMBAGIAN BEBAN PENYULANG SAHANG 1 DAN RAYA 17 PT PLN (PERSERO) ULP SIANTAN Ayati,” *Progr. Stud. Tek. Elektro Jur. Tek. Elektro Fak. Tek. Univ. Tanjungpura*, vol. 2, no. No 1, p. 14, 2020, [Online]. Available: <https://jurnal.untan.ac.id/index.php/jteuntan/article/view/43319>.
- I. Abdullah, “Evaluasi Setting Relay Ocr , Gfr Dan Recloser Pasca Rekonfigurasi Jaringan Distribusi Pada Trafo 2 Gardu Induk Srandol Semarang Menggunakan Etap 12 . 6 . 0,” *Proc. Semin. Nas. Tek. Elektro (FORTEI 2016)*, p. Aryanto, T. (2013) ‘Frekuensi Gangguan Terhadap Ki, 2016, [Online]. Available: <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/transient/article/view/15883>.
- Ir Sulasno, *Teknik Dan Sistem Distribusi Tenaga Listrik*. Semarang: BP UNDIP : Semarang, 2001.
- M. J. MUBAROK, “PERBAIKAN DROP TEGANGAN PADA JARINGAN TEGANGAN MENENGAH AAAC MENGGUNAKAN SIMULASI ETAP 12.6 PADA PENYULANG KUDUS 03Title,” *Progr. Stud. Tek. Elektro, Fak. Teknol. Ind. Univ. Islam Sultan Agung Semarang*, 2019, [Online]. Available: <http://repository.unissula.ac.id/16183/>.
- SPLN 72 : 1987, “Spesifikasi Desain untuk Jaringan Tegangan Menengah (JTM) dan Jaringan Tegangan Rendah (JTR), Lampiran Surat Keputusan Direksi PLN No.060/DIR/87 tanggal 4 Juli 1987,” *Spln 72 1987*, p. 15, 1987, [Online]. Available: <http://www.pln-litbang.co.id/perpustakaan>.
- SULASNO, *Analisa sistem tenaga listrik*. Semarang: Satya Wacana, 1993.
- PERUSAHAAN UMUM LISTRIK NEGARA, “SPLN 64 : 1985,” *Dep. Pertamb. dan Energi*, p. 64, 1985, [Online]. Available: <http://www.pln-litbang.co.id/perpustakaan>.
- B. Agustian, “Rekonfigurasi Jaringan Untuk Menekan Tegangan Jatuh Pada Feeder Kudus 16 Menggunakan Aplikasi Etap 12.6,” *Progr. Stud. Tek. Elektro, Fak. Teknol. Ind. Univ. Islam Sultan Agung Semarang*, 2021.
- K. Sadewa, “Desain dan Prototipe Sistem Deteksi Gangguan Impedansi Tinggi pada SUTM 20 kV dengan Sistem Pelaporan Gangguan Menggunakan Komunikasi Data Modul ...,” *Inst. Teknol. Sepuluh Nop.*, 2017, [Online]. Available: <http://repository.its.ac.id/48267/>.
- PT PLN UDIKLAT SEMARANG, *Proteksi Sistem Tenaga Listrik*, Jenjang I. SEMARANG: PT PLN (PERSERO) JASA PENDIDIKAN DAN PELATIHAN UNIT DIKLAT SEMARANG, 2007.
- A. RIDHOAJI, “PENENTUAN LETAK DAN KOORDINASI RECLOSER - SECTIONALIZER PADA PENYULANG 20 KV BANTUL 02 DISIMULASIKAN DENGAN ETAP,” *Progr. Stud. Tek. Elektro, Fak. Teknol. Ind. Univ. Islam Sultan Agung Semarang*, 2019, [Online]. Available: <http://repository.unissula.ac.id/17604/>.
- PT PLN (Persero) P2B JAWA BALI, *Kesepakatan Bersama Pengelolaan Sistem Proteksi Trafo - Penyulang 20 kV*, 1st ed. Jakarta: PT PLN (Persero) P2B JAWA BALI, 2012.