

STUDI PENGARUH PENYETELAN RELE JARAK PADA SALURAN UDARA TEGANGAN TINGGI 150 KV TERHADAP KAWAT PENGHANTAR HVCRC 1x310 mm² dan ACCC 1x310 mm²

Andri Yulias Saputra¹⁾, Abdul Multi²⁾

Magister Teknik Elektro, Institut Sains dan Teknologi
Nasional, Jakarta, 12630 - Indonesia
email: Andriyulias027@gmail.com ,

amulti@istn.ac.id

ABSTRAK

Gangguan Saluran Transmisi umumnya disebabkan oleh hubungan pendek, beban lebih, surja petir, dan pohon. Rele jarak merupakan salah satu elemen proteksi saluran transmisi, sekaligus sebagai proteksi utama dengan prinsip kerja mengukur besaran impedansi gangguan dan membandingkannya dengan impedansi yang diterapkan. *Setting* rele jarak memiliki daerah cakupan kerja yaitu zona-1, zona-2 dan zona-3. *Setting* harus disesuaikan apabila terdapat penggantian peralatan. Penggantian kawat penghantar saluran transmisi Rantau Prapat – Padang Sidempuan dari jenis ACSR 1 x 240 mm² menjadi jenis HVCRC 1 x 310 mm² dan ACCC 1 x 310 mm² mengakibatkan perlu dilakukannya *setting* ulang agar didapatkan *setting* yang baik. Penelitian ini dilakukan dengan metode kuantitatif yang membutuhkan parameter berupa angka. Berdasarkan perhitungan yang dilakukan didapat nilai *setting* yaitu zona-1 = 41,29257 Ω dengan t_1 = instan, zona-2 = 58,82457 Ω dengan t_2 = 0,8 detik dan zona-3 = 69,34377 Ω dengan t_3 = 1,6 detik.

Kata Kunci : Saluran Transmisi, Gangguan, Kawat Penghantar, Rele jarak, Setting.

ABSTRACT

The faults Overhead line is generally caused by short circuit, overload, lightning surge, and tree. Distance relay is one of the protection equipments over the overhead line, and as the main protection by measuring fault impedance magnitude and comparing it to intended impedance. Distance relay setting has wide working area ranging from zone-1, zone-2, and zone-3. The setting must be adjusted when the equipment replacement exists. The replacement of

overhead line conductor wire of ACSR 1 x 240 mm² into HVCRC 1 x 310 mm² and ACCC 1 x 310 mm² causing the necessity of re-setting adjustment in purpose of obtaining the appropriate one. This thesis is done by quantitative method which needs parameters in term of number. According to the calculation, the setting is obtained that zone-1 = 41,29257 Ω by t_1 = instantaneous, zone-2 = 58,82457 Ω by t_2 = 0,8 second, and zone-3 = 69,34377 Ω by t_3 = 1,6 second.

Keywords : Overhead Line, Fault, Conductor Wire, Distance Relay Setting

1. PENDAHULUAN

Pembangunan SUTT dan SUTET di banyak negara dan Indonesia adalah untuk menyalurkan tenaga listrik dari pusat pembangkit yang jauh ke pusat beban secara ekonomis. Di Indonesia tegangan transmisi yang ada adalah SUTT 150kV, 275kV dan SUTET 500kV dalam sistem transmisi sering mengalami gangguan dikarenakan berada pada ruang terbuka yang biasanya disebabkan oleh hubungan singkat, beban lebih, petir dan pohon.

Hal ini mengakibatkan rawannya saluran transmisi terhadap gangguan ditambah lagi terdapat perubahan kawat penghantar dari jenis ACSR 1 x 240 mm² menjadi jenis HVCRC 1 x 310 mm² dan ACCC 1 x 310 mm² agar kapasitas arus yang dapat disalurkan menjadi lebih besar.

Proteksi rele jarak adalah salah satu skema proteksi paling penting dalam saluran transmisi. Rele jarak dengan tipe yang berbeda digunakan dalam sistem proteksi saluran transmisi dan proses setting zona backup terdapat kesulitan tersendiri. Oleh karena itu, melakukan studi dan perhitungan ulang dari sistem yang sebenarnya akan menjadi salah satu cara untuk mengurangi kesalahan rele jarak dalam bekerja.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Pada umumnya proteksi utama yang banyak digunakan pada saluran transmisi adalah rele jarak sedangkan rele arus lebih biasanya hanya sebagai pengamanan cadangan. Dibanding rele arus lebih, penggunaan rele jarak sebagai perangkat pengamanan saluran transmisi praktis lebih baik karena rele ini tidak begitu terpengaruh oleh besarnya arus gangguan dan lagi pula tidak begitu terpengaruh dengan perubahan sumber daya dan konfigurasi jaringan. Keuntungan menggunakan proteksi dengan relai jarak dibandingkan dengan proteksi arus lebih, terletak pada cakupan daerah gangguan jaringan yang diproteksi yang tidak tergantung pada besar-kecilnya impedansi sumber (Pandjaitan, 2012).

Rele jarak adalah rele pengamanan utama pada saluran transmisi. Rele ini menggunakan pengukuran tegangan dan arus untuk mendapatkan impedansi saluran yang diamankan. Rele ini bekerja bila impedansi terukur di dalam batas *setting*. Rele jarak bergantung pada jarak gangguan yang terjadi terhadap

rele dan tidak bergantung pada besarnya arus gangguan yang terjadi (Wisatawan, 2012).

2.1. SALURAN TRANSMISI

Saluran transmisi berfungsi menyalurkan energi dari pembangkit listrik dalam jumlah besar ke tempat lainnya pada tingkat tegangan yang telah dinaikkan diatas tegangan generator, sehingga diperlukan proteksi yang berfungsi mencegah terjadinya kerusakan saluran dan melokalisir gangguan agar tidak meluas dalam sistem. Tegangan terlebih dahulu dinaikkan dikarenakan tegangan generator yang dihasilkan biasanya berkisar di antara 13 kV – 24 kV.

Dengan bantuan transformator tegangan tersebut dinaikkan menjadi 150 kV– 500 kV. Keuntungan dari transmisi dengan tegangan yang lebih tinggi akan menjadi jelas jika dilihat pada kapasitas transmisi (*transmission capability*) yang biasanya dinyatakan dalam *Mega Volt Ampere* (MVA). Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) menyalurkan tenaga listrik menuju Gardu Induk (GI) untuk diturunkan tegangannya kembali menjadi tegangan menengah atau tegangan distribusi primer 20 kV.

Gambar 1. Kawat Penghantar

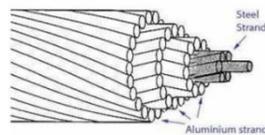
Kawat penghantar berfungsi sebagai media pembawa arus pada SUTT dengan kapasitas arus sesuai dengan spesifikasinya. Kawat penghantar direntangkan pada menara-menara SUTT melalui isolator-isolator sebagai penyekat kawat penghantar dengan menara. Bahan kawat penghantar yang dipergunakan untuk saluran transmisi perlu memiliki sifat seperti konduktivitas tinggi, kekuatan tarik mekanik tinggi, berat jenis rendah, ekonomis serta lentur dan tidak mudah patah. Kawat penghantar pada SUTT seperti ditunjukkan pada gambar 1 merupakan kawat penghantar berkas (*stranded*) atau serabut yang dipilin agar mempunyai kapasitas yang lebih besar dibanding kawat penghantar pejal dan mempermudah dalam penanganannya. Biasanya bahan kawat penghantar yang digunakan terbuat dari Tembaga (Cu), Aluminium (Al) dan Baja (*Steel*).

Kawat penghantar dengan bahan aluminium lebih ringan dari pada kawat penghantar jenis tembaga namun konduktivitas dan kekuatan tarik mekaniknya lebih rendah. Untuk memperbesar kuat tarik mekanik dari kawat aluminium biasanya kawat penghantar aluminium dicampur dengan bahan penghantar lain. Saluran transmisi menggunakan beberapa jenis penghantar berbahan aluminium antara lain :

1. *Aluminium Conductor Steel Reinforced*

Aluminium Conductor Steel Reinforced (ACSR) merupakan kawat penghantar yang bagian dalamnya berupa baja yang mempunyai kuat mekanik tinggi, sedangkan bagian luarnya berupa aluminium yang mempunyai konduktivitas yang tinggi. Karena sifat elektron lebih menyukai bagian luar kawat penghantar dari pada bagian dalamnya, maka sebagian besar SUTT menggunakan kawat penghantar jenis ini.

2. *High Voltage Composite Reinforced Conductor*
High Voltage Composite Reinforced Conductor (HVCRC) seperti ditunjukkan pada gambar 2 dengan desain inovatifnya yaitu inti komposit non-logam menggantikan komponen inti baja dari jenis ACSR.



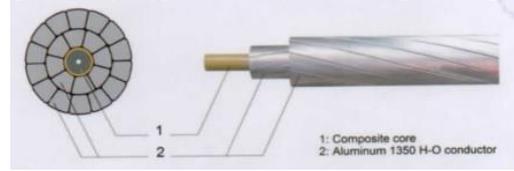
Ini membuat HVCRC memiliki kapasitas hingga dua kali lipat dari ACSR dan membutuhkan biaya yang lebih sedikit.

Gambar 2. Kawat Penghantar Jenis HVCRC

3. Aluminium Conductor Composite Core

Aluminium Conductor Composite Core (ACCC) seperti ditunjukkan pada gambar 3 merupakan kawat penghantar yang bagian dalamnya berupa komposit yang mempunyai kuat mekanik yang tinggi. Hal ini dikarenakan tidak terbuat dari bahan konduktif, maka bahan ini tidak mengalami pemuaian saat dibebani arus. Kawat penghantar ini tidak mengalami korosi sehingga cocok digunakan pada daerah pinggir pantai. Untuk bagian luarnya berupa aluminium yang mempunyai konduktivitas tinggi.

Rele jarak akan bekerja dengan cara membandingkan impedansi gangguan yang terukur dengan impedansi setting, dengan ketentuan bila impedansi gangguan lebih kecil dari pada impedansi



Gambar 3. Kawat Penghantar Jenis ACCC

2.2. RELE JARAK
 Rele jarak (*distance relay*) adalah rele penghantar yang prinsip kerjanya berdasarkan pengukuran impedansi penghantar. Impedansi yang dirasakan oleh rele adalah hasil bagi tegangan dan arus dari sebuah sirkuit. Jika impedansi yang terukur di dalam batas setting, maka rele akan bekerja. Disebut rele jarak karena impedansi pada saluran besarnya akan sebanding dengan panjang saluran. Oleh karena itu, rele jarak tidak bergantung pada besarnya arus gangguan yang terjadi, tetapi tergantung pada jarak gangguan yang terjadi terhadap rele jarak. Syarat utama dari rele jarak adalah dapat menentukan dan mengukur letak arah gangguan yang terjadi, apakah terletak di dalam atau diluar jangkauan.

setting rele maka rele akan bekerja. Sebaliknya, bila impedansi gangguan lebih besar dari pada impedansi setting rele maka rele tidak akan bekerja.

Dapat dilihat pada gambar 4 bahwa rele dihubungkan pada titik R dan rele terdapat dua kumparan yaitu kumparan kerja dan kumparan penahan. Pada kumparan kerja mengalir arus gangguan (I_f) dan pada kumparan penahan diterapkan tegangan (V_f) yang berbanding lurus dengan arus gangguan (I_f) dan tegangan gangguan (V_f). Rele jarak menerima masukan arus gangguan sekunder yang setara dengan arus gangguan primer dan masukan tegangan sekunder yang setara dengan hasil kali arus gangguan primer dan impedansi saluran sampai ke titik gangguan F yaitu ($V_f = I_f \times Z_f$). Jadi bila nilainya dibawah batas tertentu dari tegangan dan arus, maka kopel kerjanya lebih besar dari kopel penahan dan rele bekerja menutup kontakannya, namun bila nilainya di atas dari ratio tertentu dari tegangan dan arus, maka kopel penahannya lebih besar dari kopel kerjanya, dengan demikian rele tidak bekerja atau kontakannya tetap terbuka ($k_2 V^2 < k_1 I^2$).

2.2.1. Prinsip Kerja Rele Jarak

Prinsip kerja rele jarak adalah dengan cara mengukur tegangan pada titik rele dan arus gangguan yang terlihat dari rele, dengan membagi besaran tegangan arus, maka impedansi sampai titik terjadinya gangguan dapat dilakukan. Perhitungan impedansi dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut :

$$Z_f = \frac{V_f}{I_f} \dots\dots\dots(1)$$

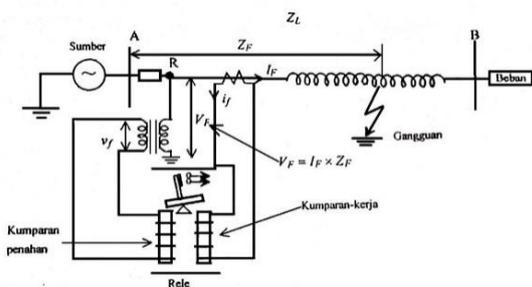
Dimana :

- Z_f : Impedansi gangguan (Ω)
- V_f : Tegangan gangguan (V)
- I_f : Arus gangguan (A)

2.2.2. Zona Proteksi Rele Jarak

Prinsip dasar proteksi rele jarak didasarkan atas karakteristik pengukuran jarak gangguan yang bisa di setting lebih dari satu zona proteksi. Zona ini menggambarkan seberapa panjang saluran yang diproteksi oleh rele jarak. Zona pada rele jarak terbagi tiga :

- Zona-1
 Jangkauan zona ini mencakup 80% - 85% dari impedansi saluran, dikarenakan mempertimbangkan faktor kesalahan CT, VT, rele dan faktor keamanan. Zona ini bekerja tanpa waktu tunda.
- Zona-2
 Umumnya di-setting dengan jangkauan 115% - 120% impedansi saluran dimana bekerja dengan waktu tunda 300 ms – 800 ms.
- Zona-3
 Zona-3 di-setting dengan jangkauan mencapai impedansi saluran 2 GI di depannya dengan waktu tunda maksimum 1600 ms.



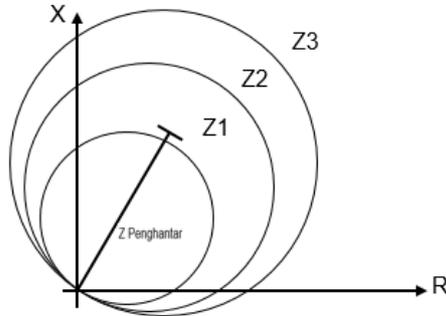
Gambar 4. Alur Kerja Rele Jarak

- Zona-3 Reverse Rele jarak di-setting dengan jangkauan 10% dari impedansi saluran dengan waktu tunda 1600 ms.

Ciri-cirinya Mempunyai sifat *non directional*. Dapat mengatasi gangguan tanah *high resistance* bila jangkauan *resistive* di-setting cukup besar.

2.2.3. Karakteristik Rele Jarak

1. Karakteristik Mho

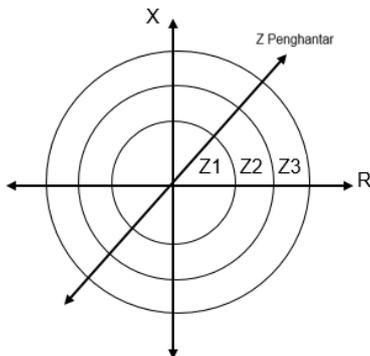


Gambar 5. Karakteristik Mho

Ciri-cirinya titik pusatnya bergeser sehingga mempunyai sifat *directional*. Mempunyai keterbatasan untuk mengatasi gangguan tanah *high resistance*.

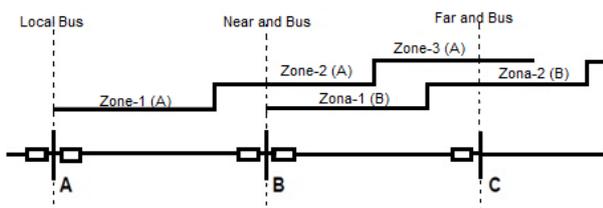
2. Karakteristik Impedance

Ciri-cirinya Mempunyai lingkaran dengan titik pusatnya di tengah, sehingga mempunyai sifat *non directional*. Dilengkapi dengan elemen arah yaitu rele *directional*. Mempunyai keterbatasan mengatasi gangguan tanah *high resistance*.



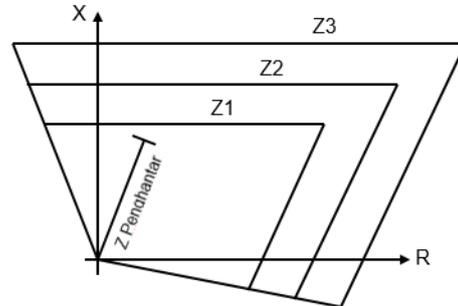
Gambar 6. Karakteristik Impedansi

3. Karakteristik Reactance



Gambar 7. Karakteristik Reaktansi

4. Karakteristik Quadrilateral



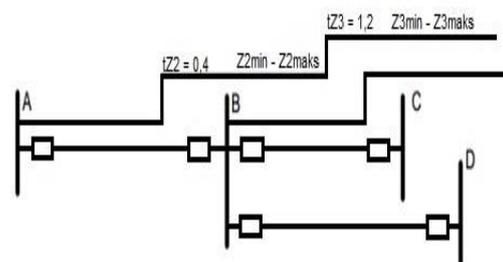
Gambar 8. Karakteristik Quadrilateral

Ciri-cirinya Merupakan kombinasi dari tiga macam komponen yaitu *reactance*, berarah dan *resistive*.

Dapat mengatasi gangguan tanah *high resistance* dengan *setting* jangkauan yang besar dan kurang dari 50% impedansi beban.

Rele jarak tanggap terhadap besaran masukan yang merupakan fungsi dari jarak sirkuit listrik antara lokasi rele dan titik gangguan. Impedansi dari saluran transmisi berbanding lurus dengan panjangnya. Rele jarak sebagai *main protection* bekerja untuk gangguan-gangguan yang terjadi antara lokasi rele hingga ke titik yang ditentukan. Kerja rele jarak ditentukan oleh perbandingan antara tegangan dan arus pada lokasi rele dan waktu kerjanya meningkat secara otomatis sejalan dengan meningkatnya perbandingan tersebut. Rele jarak mengukur tegangan pada titik rele dan arus gangguan yang terlihat dari rele dengan cara membagi besaran tegangan dan arus, sehingga impedansi sampai titik terjadinya gangguan dapat ditentukan.

2.2.4. Filosofi Pemilihan Zona Pengaman Rele Jarak



Gambar 9. Zona Setting Rele Jarak

Rele jarak akan bekerja dengan cara membandingkan impedansi gangguan yang terukur dengan impedansi *setting* dengan ketentuan, nilai impedansi gangguan lebih kecil dari pada impedansi

setting maka rele jarak akan memberikan perintah trip ke PMT. Prinsip ini memberikan selektifitas pengamanan yaitu dengan mengatur korelasi antara jarak dan waktu tunda rele. Penyetelan zona-1 dengan waktu tunda t_{z1} , zona-2 dengan waktu tunda t_{z2} dan zona-3 dengan waktu tunda t_{z3} .

- Pemilihan Zona-1

Proteksi oleh zona-1 tidak mencakup seluruh dari panjang saluran tetapi hanya 80% saja. Hal ini dikarenakan mempertimbangkan faktor *error* dari CT, PT, rele dan data saluran. Sehingga asumsi kesalahan total $\pm 20\%$. Untuk menghindari rele bekerja tidak pada zona yang diproteksinya, maka zona-1 di-setting :

$$Z_1 = 0,8 \times Z_{L1} \dots\dots\dots(2)$$

Dimana :

- Z_1 : impedansi saluran zona-1 (Ω)
- Z_{L1} : impedansi saluran diproteksi (Ω)

- Pemilihan Zona-2

Jangkauan zona-2 harus mencakup hingga busbar di depannya (*near and bus*) namun tidak *overlap* dengan zona-2 rele jarak di seksi berikutnya. Dengan mengasumsikan faktor *error* seperti pada setting zona-1 sekitar 20%, maka setting-an minimum dan maksimum zona-2 sebagai berikut :

$$Z_{2min} = 1,2 \times Z_L \dots\dots\dots(3)$$

$$Z_{2maks} = 0,8 \times (Z_{L1} + (0,8 \times Z_{L2})) \dots\dots\dots(4)$$

Dimana :

- Z_{L1} : impedansi saluran yang diproteksi (Ω)
- Z_{L2} : impedansi saluran berikutnya yang terpendek (Ω)

Jika pada saluran berikutnya terdapat beberapa cabang, untuk mendapatkan selektifitas yang baik maka setting Z_{2maks} diambil dengan nilai impedansi penghantar (Ω).

Untuk keadaan dimana $Z_{2maks} > Z_{2min}$, maka setting zona-2 diambil dengan $tZ2$ sebesar 0,4 s. jika saluran yang diamankan jauh lebih panjang dari saluran seksi berikutnya maka akan terjadi $Z_{2maks} < Z_{2min}$. Pada keadaan demikian, untuk mendapatkan selektifitas yang baik, $tZ2$ dinaikkan satu tingkat menjadi 0,8 s. Namun bila pada GI di depannya terdapat trafo daya, maka jangkauan zona-2 sebaiknya tidak melebihi impedansi trafo.

$$Z_{2TR} = 0,8 \times (Z_{L1} + (0,5 \times X_{TR})) \dots\dots\dots(5)$$

Dimana :

- Z_{L1} : saluran transmisi yang diproteksi(Ω)
- X_{TR} : impedansi trafo daya (Ω)

- Pemilihan Zona-3

Jangkauan zona-3 harus mencakup dua busbar GI di depannya yang terjauh (*far and bus*) dengan tujuan sebagai pengaman cadangan seluruh saluran seksi

berikutnya sehingga setting-an zona-3 mencapai ujung saluran dan tidak *overlapping*. Zona-3 dapat di-setting sebagai berikut :

$$Z_{3min} = 1,2 \times (Z_{L1} + Z_{L3}) \dots\dots\dots(6)$$

$$Z_{3maks} = 0,8 \times (Z_{L1} + (1,2 \times Z_{L3})) \dots\dots\dots(7)$$

Dimana :

- Z_{L1} : impedansi saluran yang diamankan (Ω)

- Z_{L3} : impedansi saluran berikutnya yang terpendek setelah Z_{L2} (Ω)

Jika pada GI di depannya terdapat trafo daya, maka cakupan zona-3 sebaiknya tidak melebihi impedansi Z_{TR} :

$$Z_{3TR} = 0,8 \times (Z_{L1} + (0,8 \times X_{TR})) \dots\dots\dots(8)$$

Dimana :

- Z_{L1} : impedansi saluran yang diamankan (Ω)
- X_{TR} : impedansi trafo daya (Ω)

- Pemilihan Zona – 3 Reverse

Penggunaan zona-3 *reverse* pada sistem yang terdapat di Sumatera Utara sudah tidak digunakan lagi pada penerapan setting rele baru. Setting zona-3 *reverse* digunakan untuk memproteksi busbar. Setting zona-3 *reverse* maksimum 10% dari impedansi penghantar yang terkecil. Untuk rele jarak yang tidak mempunyai *range* sampai dengan 10% maka dipilih setting minimum. Kecuali untuk pola *blocking scheme* disesuaikan dengan kebutuhan 20% - 25% dari impedansi saluran yang diproteksi.

Reaktansi Trafo

Sebelum mencari nilai reaktansi trafo dalam Ohm, terlebih dahulu harus mencari nilai Ohm 100% untuk trafo pada level tegangan 150 kV.

$$X_{TR} = \frac{Z\% \times 150^2}{S} \dots\dots\dots(9)$$

Dimana :

- X_{TR} : reaktansi trafo (Ω)
- S : kapasitas daya trafo (MVA)
- $Z\%$: impedansi (%)

Pemilihan Impedansi Sekunder

Impedansi sekunder dapat dicari dengan menggunakan rumus di bawah ini :

$$Z_S = \frac{CT}{PT} \times Z_P \dots\dots\dots(2.10)$$

Dimana :

- Z_S : impedansi sisi primer (Ω)
- Z_P : impedansi sisi sekunder (Ω)
- CT : trafo arus (A)
- PT : trafo tegangan (V)

3. PERHITUNGAN

Pada Bay Line Rantau Prapat – Padang Sidempuan merupakan segmen yang menggunakan rele jarak sebagai proteksi utama. Rele jarak juga digunakan sebagai proteksi cadangan guna mengamankan seksi di depan yang terdapat 386 menara penyangga SUTT. Segmen ini pada awalnya menggunakan konduktor jenis ACSR 1 x 240mm² namun diganti menjadi jenis HVCRC 1 x 310 mm² dari tower 1 Rantau Prapat – tower 230A dan Jenis ACCC dari tower 230A – Padang Sidempuan untuk mendapatkan kapasitas kawat penghantar yang lebih besar.

3.1. Data Saluran Udara Tegangan Tinggi 150kV

Tabel 1. Spesifikasi Konduktor ACSR

No.	Parameter	Nilai
1	Jenis Konduktor	ACSR 2 x 435 mm ²
2	Jumlah Sirkuit	2
3	Impedansi Urutan Positif	0,03630 + j 0,23359 Ω
4	Impedansi Urutan Negatif	0,43034 + j 1,42489 Ω
5	CCC	918 A

Tabel 2. Spesifikasi Konduktor HVCRC

No.	Parameter	Nilai
1	Jenis Konduktor	HVCRC 1 x 310 mm ²
2	Jumlah Sirkuit	2
3	Impedansi Urutan Positif	0,09645 + j 0,40657 Ω
4	Impedansi Urutan Negatif	0,24645 + j 1,21971 Ω
5	CCC	1251 A

Tabel 3. Spesifikasi Konduktor ACCC

No.	Parameter	Nilai
1	Jenis Konduktor	ACCC 1 x 310 mm ²
2	Jumlah Sirkuit	2
3	Impedansi Urutan Positif	0,09774 + j 0,40054 Ω
4	Impedansi Urutan Negatif	0,24774 + j 1,15482 Ω
5	CCC	1250 A

Tabel 4. Spesifikasi Proteksi Rantau Prapat – Padang Sidempuan

Komponen	Spesifikasi
Rele	Rele Jarak GE D60
Skema	PUTT
Karakteristik	Quadrilateral
CT	800 / 1 Amper
VT	150000 / 100 Volt

Tabel 5. Data Perhitungan PLN Dengan Kawat Penghantar Baru

Zona	Impedansi (Ω)	Waktu (s)
Zona – 1	41.72042	0
Zona – 2	60.10048	0,8
Zona – 3	71.22116	1,6

3.2. Perhitungan Impedansi Saluran

Impedansi Saluran Bay Rantau Prapat – Padang Sidempuan

$$L_1 = 124,19 \text{ km}$$

$$\text{Rantau Prapat – Tower 230A} = 74,33 \text{ km (HVCRC)}$$

$$\text{Tower 230A – Padang Sidempuan}$$

$$= 49,86 \text{ km (ACCC)}$$

$$\begin{aligned} Z_{L1} &= \{((0,09645 + j 0,40657) \times 74,33) + \\ &\quad (0,09774 + j 0,40054) \times 49,86)\} \\ &= \{(7,16912 + j 30,22034) + \\ &\quad (4,87331 + j 19,97092)\} \\ &= 12,0423 + j 50,19126 \Omega \end{aligned}$$

$$Z_{L1} = 51,61572 \angle 76,50801^\circ \Omega$$

$$\begin{aligned} Z_{L0} &= \{((0,24645 + j 1,21971) \times 74,33) + \\ &\quad ((0,24774 + j 1,15482) \times 49,86)\} \\ &= \{(18,31862 + j 90,66104) + \\ &\quad (12,35231 + j 57,57932)\} \\ &= 30,67093 + j 148,45424 \Omega \end{aligned}$$

$$Z_{L0} = 151,58946 \angle 78,32682^\circ \Omega$$

Impedansi Saluran Padang Sidempuan – New Padang Sidempuan

$$L_2 = 3,5 \text{ km}$$

$$\begin{aligned} Z_{L2} &= \{(0,03630 + j 0,23359) \Omega / \text{km} \times \\ &\quad 3,5 \text{ km}\} \\ &= 0,12705 + j 0,81756 \Omega \end{aligned}$$

$$Z_{L2} = 0,82737 \angle 81,1668^\circ \Omega$$

Impedansi Saluran Padang Sidempuan – Gunung Tua

$$L_3 = 49,88 \text{ km}$$

$$Z_{L3} = \{(0,09774 + j 0,40054) \Omega / \text{km} \times$$

$$\begin{aligned}
 & 49,88 \text{ km } \} \\
 & = 4,87527 + j 19,97893 \Omega \\
 Z_{L3} & = 20,56516 \angle 76,28665^\circ \Omega
 \end{aligned}$$

Reaktansi Trafo 150/20 kV GI Padang Sidempuan .

PAUWELS TRAF0

$$X_{T1} = \frac{0,1229 \times 150^2}{30} = 92,17 \Omega$$

CG POWER

$$X_{T2} = \frac{0,129 \times 150^2}{60} = 48,37 \Omega$$

UNINDO

$$X_{T3} = \frac{0,1169 \times 150^2}{60} = 43,83 \Omega$$

Rasio CT dan VT

$$CT = \frac{800}{1}$$

$$VT = \frac{150}{0,1}$$

$$n = \frac{CT}{VT} = 0,533$$

Perhitungan Setting Zona – 1, Zona – 2 dan Zona – 3

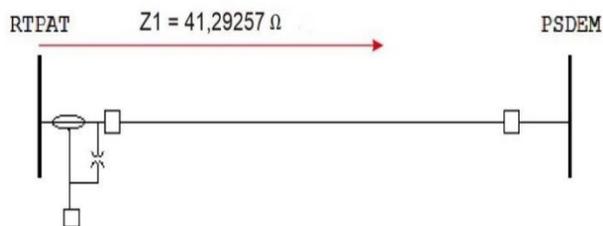
Zona – 1

$$\begin{aligned}
 \text{Zona-1} & = 0,8 \times Z_{L1} \\
 & = 0,8 \times 51,61572 \Omega \\
 & = 41,29257 \Omega
 \end{aligned}$$

$$Z_{1P} = \text{Zona-1}$$

$$\begin{aligned}
 Z_{1S} & = Z_{1P} \times n \\
 & = 41,29257 \Omega \times 0,533 \\
 & = 22,00893 \Omega
 \end{aligned}$$

Untuk setting waktu zona-1 adalah instan.



Gambar 10. Proteksi Zona-1

Zona – 2

$$\begin{aligned}
 \text{Zona-2 min} & = 1,2 \times Z_{L1} \\
 & = 1,2 \times 51,61572 \Omega
 \end{aligned}$$

$$\text{Zone-2 min} = 61,93886 \Omega$$

$$\begin{aligned}
 \text{Zone-2 maks} & = 0,8 (Z_{L11} + (0,8 \times Z_{L2})) \\
 & = 0,8 (51,61572 \Omega + (0,8 \times 0,82737 \Omega)) \\
 & = 41,82209 \Omega Z_{2TR}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & = 0,8 (Z_{L11} + (0,5 \times X_{T3})) \\
 & = 0,8 (51,61572 + (0,5 \times 43,83)) \\
 & = 58,82457 \Omega
 \end{aligned}$$

$$Z_{2P} = Z_{2TR}$$

$$\begin{aligned}
 Z_{2S} & = Z_{2P} \times n \\
 & = 58,82457 \Omega \times 0,533 \\
 & = 31,35349 \Omega
 \end{aligned}$$

Zona – 3

$$\begin{aligned}
 \text{Zona-3 min} & = 1,2 \times (Z_{L1} + Z_{L3}) \\
 & = 1,2 \times (51,61572 \Omega + 20,56516 \Omega) \\
 & = 86,61705 \Omega
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Zona-3 maks} & = 0,8 \times (Z_{L11} + (1,2 \times Z_{L3})) \\
 & = 0,8 \times (51,61572 + (1,2 \times 20,56516)) \\
 & = 61,03512 \Omega
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Z_{3TR} & = 0,8 (Z_{L11} + (0,8 \times X_{T3})) \\
 & = 0,8 (51,61572 + (0,8 \times 43,83)) \\
 & = 69,34377 \Omega
 \end{aligned}$$

$$Z_{3P} = Z_{3TR}$$

$$\begin{aligned}
 Z_{3S} & = Z_{3P} \times n \\
 & = 69,34377 \Omega \times 0,533 \\
 & = 36,96022 \Omega
 \end{aligned}$$

Setting Waktu

$$T_1 = 0 \text{ detik (instan)}$$

$$T_2 = 0,8 \text{ detik (} Z_{2\text{min}} > Z_{2\text{maks}} \text{)}$$

$$T_3 = 1,6 \text{ detik (} Z_{3\text{min}} > Z_{3\text{maks}} \text{)}$$

Rele jarak menggunakan setting zona dan waktu dalam melokalisir gangguan. Rele jarak akan memberikan perintah trip ke PMT apabila impedansi yang terbaca lebih kecil dari pada nilai yang di-setting. Dari perhitungan di atas diperoleh hasil perhitungan impedansi saluran dan setting zona-1, zona-2 dan zona-3. Dalam melakukan setting rele jarak terdapat beberapa faktor yang harus diperhatikan, yaitu impedansi kawat penghantar serta penentuan jarak segmen yang diproteksi maupun segmen setelahnya, dimana kedua hal ini mempengaruhi selektifitas rele dalam menentukan zona kerjanya. Data setting impedansi rele jarak ini menggunakan data PT. PLN (Persero) P3B Sumatera UPT Pematang Siantar. Hasil perhitungan di atas disajikan pada table 3.6 di bawah ini.

Tabel 6. Hasil Perhitungan Impedansi dengan Kawat Penghantar Baru

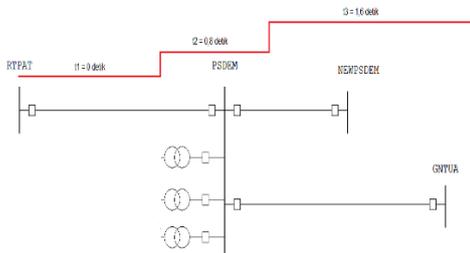
Dari data di atas diketahui bahwa zona yang ditentukan terdapat perbedaan dengan data

Zona	Impedansi (Ω)				
	Min	Maks	Trf	Primer	Sekunder
Zona-1	-	-	-	41,29257	22,00893
Zona-2	61,93886	41,82209	58,82457	58,82457	31,35349
Zona-3	86,61705	61,03512	69,34377	69,34377	36,96022

perhitungan setting PLN. PT. PLN (Persero) P3B

Sumatera UPT Pematang Siantar . *Setting* waktu menggunakan ketentuan yang terdapat pada pedoman proteksi dan kontrol penghantar PT. PLN (Persero). Dari hasil perhitungan di atas ditentukan waktu setting untuk zona 1 rele jarak bekerja tanpa waktu tunda dengan jangkauan terbatas pada segmen penghantar GI Rantau Prapat - GI Padang Sidempuan. Zona-2 rele di-*setting* dengan waktu tunda 0,8 detik, hal ini karena segmen yang diproteksi memiliki jarak saluran 124,19 km dan ini lebih panjang dari pada segmen selanjutnya ($Z_{2min} > Z_{2maks}$), untuk itu *setting* waktu dinaikkan satu tingkat. Untuk zona-3 terdapat hal serupa, dimana $Z_{3min} > Z_{3maks}$ sehingga waktu di-*setting* 1,6 detik.

Tabel 7.Perbandingan Hasil Perhitungan Impedansi



Gambar 11.Setting Waktu Kerja Rele Jarak

Setting waktu yang didapat dari hasil perhitungan dan data dari PT. PLN (Persero) tidak memiliki perbedaan, dapat dilihat pada table 4.8 di bawah ini.

Tabel 8.Perbandingan *Setting* Waktu Hasil Perhitungan dengan Data PLN

Waktu	Perhitungan(detik)	PLN(detik)
t_1	Instan	Instan
t_2	0,8	0,8
t_3	1,6	1,6

4. KESIMPULAN

1. Penentuan *setting* rele jarak untuk zona-1 sepanjang 80% saluran, zona-2 sepanjang 120% dari panjang saluran yang diproteksi dan zona-3 di *setting* hingga mencapai dua busbar di depan saluran yang diproteksi. Namun *setting* harus memperhatikan zona *setting* rele terhadap 50% X_{TR} dan tidak boleh melampauinya.
2. Hasil perhitungan *setting* impedansi dan waktu kerja rele jarak pada Saluran Udara Tegangan Tinggi 150 kV Rantau Prapat – Padang Sidempuan untuk $Z_1 = 41,29257 \Omega$ dengan t_{z1} tanpa waktu

tunda, $Z_2 = 58,82457 \Omega$ dengan $t_{z2} = 0,8$ dan $Z_3 = 69,34377$ dengan $t_{z3} = 1,6$. Terdapat perbedaan pada impedansi *setting* namun tidak ada perbedaan pada *setting* waktu kerja rele.

Setting yang benar adalah *setting* yang menggunakan parameter sesuai dengan kondisi dilapangan. Pada penelitian ini, digunakan dua jenis penghantar berbeda sebagai parameter dalam perhitungan sesuai dengan *drum schedule reconductoring*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan selesainya penulisan jurnal ini saya mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan motivasi dan bimbingan:

1. Prof. Dr. Masbach R T Siregar, APU

Zona	Impedansi Perhitungan (Ω)	Data PLN (Ω)
Zona-1	41,29257	41.72042
Zona-2	58,82457	60.10048
Zona-3	69,34377	71.22116

2. Dr. Ir. H. Abdul Multi, MT
3. Fatwa Fadila Muhammad, ST.

DAFTAR REFENSI

- [1] Basri, Hasan. (2003). *Proteksi Sistem Tenaga Listrik*, Jakarta: ISTN.
- [2] Fauzany, Rizal Akbar., Arjana , Gede Dyana ., & Partha , Gede Indra .(2019). Analisis *Resetting* Rele Jarak Akibat *Uprating* Konduktor Gis Pesanggaran - GI Sanur. Jurnal SPEKTRUM Vol. 6. No.2.
- [3] GE Multilin Inc. (2013). *D60 Line Distance Protection System*. Canada.
- [4] IEEE. (2015). *Guide for Protective Relay Applications to Transmission Lines*. New York.
- [5] Karyana. (2013). *Pedoman dan Petunjuk Sistem Proteksi Transmisi dan Gardu Induk Jawa Bali*. Jakarta: PT. PLN (Persero).
- [6] Marsudi, Djiteng. (2006). *Operasi Sistem Tenaga Listrik*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- [7] Pandjaitan, Bonar. (2012). *Praktik – praktik Proteksi Sistem Tenaga Listrik*. Yogyakarta: Andi Offset.
- [8] PT. PLN (Persero). (2014). *Buku Pedoman Pemeliharaan Proteksi dan Kontrol Penghantar*. Jakarta.