

Pengaruh Pengaturan Rele Jarak Terhadap Proteksi Utama pada Penghantar SUTET 500kV

Moh. Wahyu Aminullah¹, Dyah Utari Yusa Wardhani^{2*}

¹Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Tridinanti, Indonesia

²Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Politeknik Negeri Sriwijaya, Indonesia

*e-mail: m.wahyuaminullah@gmail.com, dyah.utari.yusa@polsri.ac.id

ABSTRAK

SUTET 500 kV Muara Enim merupakan Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi menuju Gardu Induk Tegangan Ekstra Tinggi 500 kV New Aur Duri. Saluran transmisi ini berkapasitas 2 x 500 MVA. Pemasangan Distance Relay pada GITET 500 kV Muara Enim berperan penting sebagai proteksi pada pengoperasian tersebut. Tujuan Penelitian ini adalah melakukan perhitungan nilai setting Distance Relay yang sangat diperlukan dalam pengoperasian untuk meminimalisir penghantar yang mengalami kegagalan sistem proteksi. Data perhitungan pengaturan Rele jarak meliputi saluran penghantar, perbandingan Trafo arus dan Trafo daya. Kapasitas daya 500 MVA terpasang pada Transformator. Hasil perhitungan menunjukkan pada Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi 500 kV dengan panjang saluran 271,37 km dari Muara Enim ke New Aur Duri memiliki arus hubung singkat terbesar 7.375 A yang merupakan arus hubung singkat satu fasa ke tanah. Setelah arus trafo diturunkan menghasilkan Setting distance relay sebesar 1,8 A

Kata kunci: Pengaturan Rele, Rele Jarak, Saluran Transmisi, Arus Hubung Singkat, Proteksi

Effect of Distance Relay Settings on Main Protection on 500kV SUTET Conductors

ABSTRACT

SUTET 500 kV Muara Enim is an Extra High Voltage Air Line to the New Aur Duri 500 kV Extra High Voltage Substation. This transmission line has a capacity of 2 x 500 MVA. Installation of Distance Relay on GITET 500 kV Muara Enim plays an important role as protection in this operation. The purpose of this study is to calculate the value of the Distance Relay setting which is very necessary in operation to minimize conductors that experience failure of the protection system. The calculation data for the distance relay setting includes the delivery line, the comparison of the current transformer and the power transformer. 500 MVA power capacity installed in Transformer. The calculation results show that the 500 kV Extra High Voltage Air Line with a line length of 271.37 km from Muara Enim to New Aur Duri has the largest short-circuit current of 7.375 A which is a single-phase short-circuit current to ground. After the transformer current is lowered, it produces a distance relay setting of 1.8 A.

Keywords: Relay Setting, Distance Relay, Transmission line, Short circuit current, Protection

Correspondence author : Dyah Utari Yusa Wardhani, Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Politeknik Negeri Sriwijaya, Indonesia.

E-Mail: dyah.utari.yusa@polsri.ac.id

I. PENDAHULUAN

Sistem transmisi merupakan sistem penyaluran energi listrik dari satu tempat menuju tempat lain, misalnya dari stasiun pembangkit menuju gardu induk. Rele jarak (*distance relay*) berfungsi sebagai pengaman pada saluran transmisi. Hal ini karena kemampuannya yang mempermudah mencari titik ketika ada gangguan[1]. Pembangunan SUTET 500 kV Muara Enim yang berlokasi di Desa Pagar Dewa, Muara Enim dan GITET 500 kV New Aur Duri yang berlokasi di Desa Bertam, Muaro Jambi untuk menunjang suplai listrik di Sumatera Selatan. Panjang lintasan Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi 500 kV menuju Gardu Induk Tegangan Ekstra Tinggi 500 kV New Aur Duri sekitar lebih kurang 271,37 km.

Rele Jarak merupakan sebagai proteksi pada penghantar. Perhitungan nilai *setting Relay Distance* diperlukan pada pengoperasiannya sehingga dapat meminimalisir kegagalan proteksi [2]. Tujuan Penelitian ini adalah mengetahui pengaruh pengaturan rele jarak dan melakukan perhitungan nilai setting Relay Distance yang sangat diperlukan dalam pengoperasian sehingga dapat meminimalisir kegagalan proteksi pada penghantar.

Sistem Proteksi Rele Jarak

Rele jarak merupakan perangkat pengaman saluran transmisi yang praktis lebih baik dibandingkan dengan rele arus lebih. Hal ini dikarenakan rele jarak tidak terpengaruh oleh besar arus gangguan, perubahan sumber daya, dan konfigurasi jaringan. Keunggulan system proteksi rele jarak meliputi system proteksi non unit yang murah dan dapat diandalkan [3]. Kinerja rele jarak dapat diukur dari tingkat akurasi capaian dan waktu kerja rele. Akurasi capaian merupakan perbandingan nilai aktual capaian dalam ohm dengan nilai setelan impedansi rele yang dinyatakan dalam ohm.

Trafo Arus

Trafo Arus merupakan peralatan yang digunakan untuk pengukuran besaran arus pada instalasi tenaga listrik pada sisi primer (Tegangan Ekstra Tinggi, Tegangan Tinggi dan Tegangan Menengah) berskala besar dengan melakukan transformasi dari besaran arus yang besar menjadi besaran arus yang kecil.[4].

Trafo Tegangan

Sistem proteksi Ekstra High Voltage pada Trafo tegangan menggunakan jenis kapasitif trafo tegangan yang memiliki inti dan kapasitas sesuai dengan kebutuhan sistem proteksi. Penerapannya dipasang pada setiap bay penghantar sehingga dapat menjaga kehandalan sistem proteksi[5].

Rele Jarak

Rele jarak merupakan rele impedansi. Prinsip dasar pengukuran proteksi jarak adalah dengan membandingkan hasil pengukuran tegangan dan arus yang mengalir pada saluran tersebut. Pengoperasian rele ini tergantung pada besarnya arus atau daya dalam rangkaian terproteksi. Relai jarak pada dasarnya adalah ohmmeter dan beroperasi setiap kali impedansi zona lindung turun di bawah nilai yang telah ditentukan sebelumnya[6].

System impedance ratio (SIR) merupakan perbandingan antara impedansi sumber dibelakang titik rele dengan impedansi saluran yang diproteksi.

$$SIR = Z_s/Z_L \quad (1)$$

Zona Proteksi

Pendekatan adaptif untuk pengaturan zona ketiga rele jarak. Metode ini menggunakan pendekatan dekomposisi mode variasi untuk menguraikan sinyal arus akhir lokal menjadi mode yang berbeda. Sinyal yang diekstraksi dari mode ketiga digunakan untuk menghitung indeks energi. Impedansi semu dan indeks energi digunakan untuk mendeteksi gangguan simetris dan asimetris di zona ketiga rele jarak[7].

Proteksi jarak dalam jaringan transmisi rentan terhadap malfungsi selama power swing. Relai jarak memiliki fungsi Pemblokiran Ayunan Daya yang mencegah relai beroperasi selama ayunan daya. Namun, selama ayunan daya, relai akan dapat mengidentifikasi dan menghapus kesalahan apapun[8]. Algoritma optimasi yang disebut algoritma siklus air tingkat penguapan yang dimodifikasi diusulkan untuk menemukan solusi optimal untuk masalah koordinasi rele arus lebih terarah [9].

Sistem pengujian saluran transmisi overhead 400 kV disimulasikan dalam Paket MATLAB/SIMULINK dan pemodelan numerik diimplementasikan dalam MATLAB untuk mengevaluasi efektivitas algoritma yang diusulkan. Teknik yang diusulkan diuji di bawah beberapa kondisi stres yang mungkin menghadapi relai jarak konvensional[10].

Metode pengaturan yang ditingkatkan dari IED pelindung jarak untuk saluran transmisi seri-kompensasi. Metode pengaturan konvensional ditingkatkan melalui studi kesalahan yang komprehensif menggunakan perangkat lunak PSS/E. Dibandingkan dengan relai komersial yang menggunakan kombinasi elemen arus lebih arah fase dan elemen tegangan dengan fungsi proteksi jaraknya sendiri untuk perlindungan saluran kompensasi seri sehingga metode pengaturan yang diusulkan dapat melindungi saluran kompensasi seri secara efektif dan sederhana[11].

Tegangan pada rangkaian impedansi tertutup merupakan tegangan *open circuit* pada sistem tenaga tersebut. Titik R merupakan lokasi rele. I_R dan V_R merupakan arus dan tegangan yang diukur dan dirasakan oleh rele. Z_S merupakan impedansi sumber dan Z_L merupakan impedansi sesuai dengan posisi mereka terhadap rele.

$$V_R = I_R \cdot Z_L \quad (2)$$

$$I_R = \frac{V}{Z_S + Z_L} \quad (3)$$

$$V_R = \frac{Z_L}{Z_S + Z_L} \quad (4)$$

Prinsip dasar proteksi jarak berdasarkan karakteristik pengukuran jarak gangguan yang dapat disetel atas lebih dari satu zona proteksi. Misalnya Zona 1 dengan waktu trip sesaat, kemudian proteksi Zona 2, Zona 3, dan seterusnya berturut-turut dengan waktu trip yang lebih lambat.

Zona Proteksi terbagi atas :

1. Penyetelan Zona 1

Zona 1 merupakan daerah proteksi rele jarak yang paling penting dan kritis dibanding zona proteksi lain. Akurasi pengukuran terhadap daerah proteksi Zona 1 sepanjang saluran harus dilakukan dengan tingkat ketelitian dan kecepatan kerja yang tinggi. Cakupan daerah proteksi rele elektromekanikal maupun rele static dapat dilakukan hingga 80% Panjang saluran. Relai jarak numerik menggunakan cakupan proteksi yang dapat disetel sampai 85%. Margin keamanan dibuat sebesar 15-20% sehingga dapat memastikan proteksi Zona 1 tidak akan bekerja pada zona capaian lebih saluran yang diproteksi.

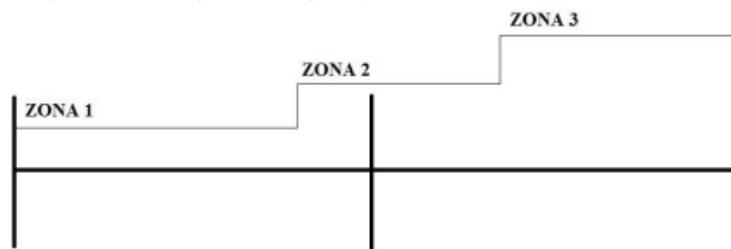


2. Penyetelan Zona 2

Zona 2 meliputi daerah proteksi rele mulai ujung akhir proteksi Zona 1 hingga sisa saluran yang tidak tercakup termasuk sebagian saluran berikutnya. Setelan capaian rele proteksi Zona 2 harus dibuat minimal 120% dari impedansi saluran yang dilindungi.

3. Penyetelan Zona 3

Elemen proteksi Zona 3 dapat disetel sebagai proteksi cadangan terhadap kemungkinan kegagalan elemen proteksi pada Zona 1 dan 2. Dalam prakteknya elemen proteksi zona 3 sering disetel tanpa elemen arah sehingga cakupan proteksi dapat diperluas untuk mengamankan gangguan di belakang rele (Sebagai cadangan)[12].

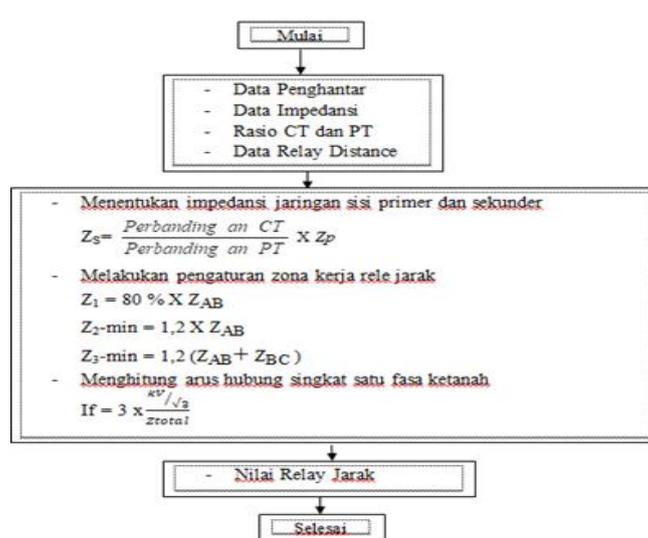


Gambar 1. Zona Proteksi rele jarak

Distance relay dilengkapi dengan teleproteksi berfungsi mengirim dan menerima sinyal dari gardu induk yang satu ke gardu induk lain untuk dapat memberikan perintah trip seketika[6]. Hal ini bertujuan untuk bekerja selektif dan instant pada daerah proteksi. *Permissive Underreach Transfer Trip Scheme* (PUTT) merupakan pola teleproteksi secara umum yang digunakan.

II. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini dilakukan pengaturan rele jarak pada penghantar SUTET 500kV. Adapun prosedur pengaturan relejarak dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Prosedur Pengaturan Rele Jarak

1. Sistem 500 kV Muara Enim menuju New Aur Duri

Pada setting rele jarak ini menggunakan 3 zona dalam menghitung nilai impedansi saluran dan jarak jangkauannya. Pembagian zona meliputi Rele jarak Zona 1, Rele jarak Zona 2, dan Rele jarak Zona 3.

2. Perhitungan Rele Jarak

- a. Menentukan Perbandingan CT dan PT. Menentukan impedansi sisi sekunder (Z_S) dengan cara mengetahui nilai perbandingan antara Trafo Arus dan Trafo Tegangan.
- b. Perhitungan Impedansi urutan positif, negatif, dan nol
- c. Perhitungan nilai Arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah
- d. Menghitung Setelan Rele Jarak

Rele jarak pada penelitian ini merupakan rele jarak yang berlokasi pada SUTET Muara Enim dengan bay penghantar 500 kV arah ke GITET New Aur Duri. Prinsip pengukuran rele jarak adalah membandingkan arus gangguan yang dirasakan oleh rele terhadap tegangan dititik atau lokasi rele yang terpasang sehingga impedansi saluran transmisi dari lokasi rele hingga ke titik gangguan dapat diukur.

a. Rele Jarak Zona 1

Rele jarak Zona 1 dapat disetel 80% dari panjang saluran yang diproteksi. Hal ini dilakukan dengan pertimbangan margin keamanan 15-20% jika adanya kesalahan masih dalam batas toleransi. Adapun menghitung impedansi zona 1 menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Z_1 = 80\% \times Z_{AB} \tag{5}$$

Dimana :

Z_1 = Zona 1

Z_{AB} = Impedansi saluran yang diproteksi

- 1) Rele Jarak Zona 2

Rele jarak proteksi Zona 2 disetel 120% dari impedansi saluran yang dilindungi. Cakupan proteksi Zona 2 meliputi sisa saluran transmisi yang tidak dapat diamankan pada Zona 1. Zone 2 harus di setel dengan waktu tunda. Umumnya waktu penundaan pada Zona 2 berkisar antara 0,2 - 0,3 S, tetapi waktu yang lebih lama mungkin diperlukan jika Zona 2 mencapai yang lebih lambat dari perlindungannya. Hal ini bertujuan menjaga rele tidak trip secara mendadak.

b. Rele Jarak Zona 3

Zona 3 dapat berfungsi sebagai proteksi cadangan untuk transmisi berikutnya. Hal ini dilakukan pada penyetalan zona 3 sehingga ujung seluruh saluran dapat tercapai dan menghindari terjadi overlapping. Jangkauan ini biasanya diatur ke 1,2 kali impedansi line.

3. Arus Hubung Singkat

- a. Arus Hubung Singkat 1 fasa ke tanah
- b. Arus Gangguan 2 fasa
- c. Arus Gangguan 3 fasa
- d. Menentukan Letak Gangguan

Jarak Gangguan = Impedansi yang dibaca rele x PT/CT x L_1



Z_{L1}

4. Konversi Nilai Notasi Fasor

$$a + jb = \sqrt{a^2 + b^2} \angle \tan^{-1} \left(\frac{b}{a} \right)$$

Mengacu pada tabel beban hasil perhitungan yang sesuai dengan kebutuhan PLN dan setelah itu akan ditambahkan margin 10% dari kapasitas yang telah dihitung. Berdasarkan hasil perhitungan diatas maka didapatkan kapasitas yang diperlukan untuk baterai 48V DC.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN(TIMES NEW ROMAN 11PT CAPITAL BOLD)

Adapun penghantar yang digunakan saluran transmisi 500 kV Muara Enim menuju New Aur Duri adalah ACSR/AS 450-A1/SA1A-54/7 dengan panjang saluran sepanjang 271,37 km. Berikut besar impedansi saluran jenis kabel tersebut:

Tabel 1. Data jenis penghantar yang digunakan SUTET Muara Enim – New Aur Duri

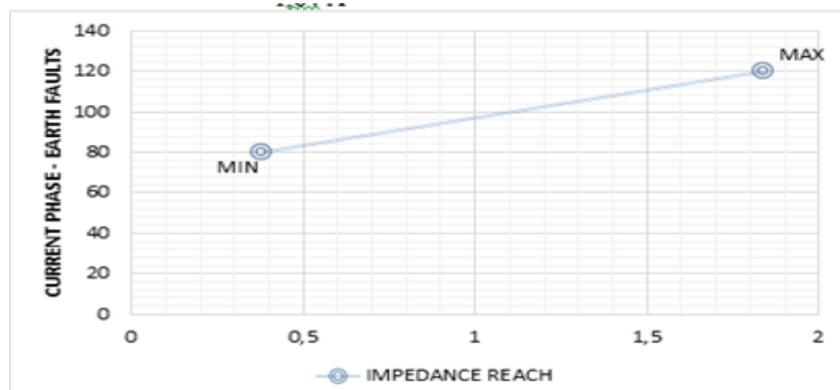
Penghantar Transmisi	Tipe konduktor	Impedansi Saluran (Ω/km)	Panjang Saluran (km)
SUTET 500kV Muara Enim-GITET 500kV New Aur Duri	4 x ACSR/AS450-A1/SA1A-54/7	0,01803 + j0,2383	271,37
GITET 500kV New Aur Duri-Sumsel 8	2 x ACSR/AS 450-A1/SA1A-54/7	0,0142 + j0,174	243,43

Tabel 2. Data Trafo

	Ratio	Rating Tegangan
Trafo Arus	4000/1 A	500 kV
Trafo Daya	500000/1 A	500 kV

Tabel 3. Hasil Perhitungan Setting Relay Distance Per Zona

Relay per Zona	Z sebenarnya (Ω/km)	Z impedansi Sekunder/Z Hasil (Ω)
1	0,01803 + j0,2383	64,85
2	0,01803 + j0,2383	97,28
3	0,0142 + j0,2745	181,42



Gambar 3. Grafik Impedance Reach – Current Phase – Earth Faults

IV. KESIMPULAN

Hasil perhitungan menunjukkan arus hubung singkat terbesar pada Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi 500 kV Muara Enim menuju New Aur Duri dengan panjang saluran transmisi sebesar 271,37 km adalah arus hubung singkat satu fasa ke tanah sebesar 7.374,9 A. Selanjutnya untuk arus hubung singkat dua fasa sebesar 4.382,76 A, dan arus hubung singkat 3 fasa sebesar 4.456,7 A. Sedangkan pengaturan rele jarak menghasilkan 1,8 A melalui nilai arus hubung singkat satu fasa ke tanah setelah diturunkan dengan arus trafo maksimum. Hal ini menunjukkan bahwa untuk rele yang akan dipasang berkapasitas 5 A.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Samaulah, *Dasar-dasar Sistem Proteksi Tenaga Listrik*. Palembang: Universitas Sriwijaya, 2004.
- [2] C. C. E. M. Trickey, *Protective Relay Application Guide Third Edition*. England: GEA Measurement, 1987.
- [3] B. Pandjaitan, *Praktik-praktik Proteksi Sistem Tenaga Listrik*. Yogyakarta: Andi, 2013.
- [4] PT. PLN (Persero) Pusat, *Buku Pedoman Pemeliharaan Transformator Arus*. Jakarta, 2014.
- [5] PT. PLN (Persero) Pusat, *Buku Pedoman Proteksi dan Kontrol Penghantar*. Jakarta: Pusat Pendidikan Latihan, 2014.
- [6] V. K. M. and R. Mehta, *Principles of Powers System*. S. Chand & Company Ltd, 2015.
- [7] K. Venkatanagaraju, M. Biswal, and R. C. Bansal, "Adaptive distance relay algorithm to detect and discriminate third zone faults from system stressed conditions," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 125, no. June 2020, p. 106497, 2021.
- [8] L. M. A. El-Sayed, D. K. Ibrahim, M. I. Gilany, and A. F. El'Gharably, "Enhancing distance relay performance using wide-area protection for detecting symmetrical/unsymmetrical faults during power swings," *Alexandria Eng. J.*, vol. 61, no. 9, pp. 6869–6886, 2022.
- [9] A. Korashy, S. Kamel, E. H. Houssein, F. Jurado, and F. A. Hashim, "Development and application of evaporation rate water cycle algorithm for optimal coordination of directional overcurrent relays," *Expert Syst. Appl.*, vol. 185, no. July, p. 115538, 2021.
- [10] I. B. M. Taha, A. E. ELGelaby, E. S. Ahmed, and H. A. Abd el-Ghany, "Generalized voltage estimation of TCSC-compensated transmission lines for adaptive distance protection," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 130, no. February, p. 107018, 2021.

- [11] W. S. Seo, M. S. Kim, S. H. Kang, J. S. Yoon, and C. H. Hwang, "An improved setting method of the distance protective IEDs for series-compensated transmission lines based on a case study approach," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 188, no. October 2019, p. 106554, 2020.
- [12] SPLN T5 002 - 2, *Pola Proteksi Saluran Transmisi 275 & 500 kV*. Jakarta.