

# STUDI PENGARUH *MUTUAL INDUCTANCE* TERHADAP *SETTING RELE* JARAK PADA SALURAN TRANSMISI *DOUBLE CIRCUIT* 150 kV ANTARA GI KAPAL – GI PEMECUTAN KELOD

Ahmad Ridwan<sup>1</sup>, I G. Dyana A.<sup>2</sup>, I W. Arta W.<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

Email : [riidwan.ar@gmail.com](mailto:riidwan.ar@gmail.com)<sup>1</sup>, [dyanaarjana@ee.unud.ac.id](mailto:dyanaarjana@ee.unud.ac.id)<sup>2</sup>, [artawijaya@unud.ac.id](mailto:artawijaya@unud.ac.id)<sup>3</sup>

## ABSTRAK

Penambahan saluran menjadi dua saluran transmisi antara GI Kapal – GI Pemecutan Kelod, mengakibatkan medan listrik yang ditimbulkan berpengaruh terhadap impedansi kedua saluran. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan diketahui bahwa selisih perubahan nilai impedansi terbesar terdapat pada GI Kapal – GI Pemecutan Kelod1 yakni  $1,58+j23,347\Omega$ , sedangkan selisih terkecil terdapat pada GI Pemecutan Kelod – GIS Bandara sebesar  $1,94+j3,59\Omega$ . Jangkauan zone1 GI Kapal – GI Pemecutan Kelod1 semula  $0,907+j5,927\Omega$  (primer) dan  $0,48+j3,16\Omega$  (sekunder), berubah menjadi  $0,504+j2,184\Omega$  (primer) dan  $0,269+j1,165\Omega$  (sekunder). Time actual zone3 GI Kapal – GI Pemecutan Kelod1 semula 1,6s menjadi 1,2s. Sedangkan pada zone3 GI Kapal – GI Pemecutan Kelod2 semula 1,2s menjadi 1,6s.

**Kata Kunci :** *Mutual Inductance, Zone Reach, Setting Rele Jarak*

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Jaringan transmisi memiliki peranan dalam hal penyaluran daya listrik. Jaringan transmisi antara GI Kapal – GI Pemecutan Kelod merupakan jaringan transmisi *double circuit* dengan panjang saluran sekitar 11,2 km. Saluran ini tergolong saluran transmisi pendek dikarenakan memiliki panjang kurang dari 80 km, sehingga pengaruh kapasitansi pada saluran ini sangat kecil dan dapat diabaikan [1]. Pada saluran transmisi digunakan rele jarak sebagai pengamanan utama. Aspek teknis yang dapat mempengaruhi rele jarak adalah *mutual impedance*. Dimana pengaruh *mutual impedance* pada saluran *double circuit* dapat timbul *mutual inductive coupling* [2].

Selain permasalahan tersebut, permasalahan lainnya adalah adanya perubahan saluran dari satu saluran transmisi menjadi dua saluran transmisi. Tahun 2011 saluran ini hanya satu saluran transmisi dengan penghantar ACSR Partridge 135 mm<sup>2</sup> (arus nominal sebesar 400 A). Seiring dengan beban yang meningkat, maka saluran transmisi tersebut ditingkatkan menjadi dua, dengan penghantar ACCC Lisbon 310

mm<sup>2</sup> (arus nominal sebesar 1218 A) dan penghantar TACSR 240 mm<sup>2</sup> (arus nominal sebesar 973 A). Besarnya medan listrik berpengaruh terhadap ke dua saluran tersebut. Dengan adanya medan listrik ini, maka timbul *mutual inductance* (mutual inductance) antara dua saluran. Hal ini dapat mempengaruhi impedansi antara saluran 1 dan saluran 2. Dengan adanya *mutual inductance* (mutual inductance), maka terjadi perubahan pada jangkauan rele jarak. Sehingga pada *setting* rele perlu diperhitungkan untuk mendapatkan *setting* rele yang lebih akurat.

### 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah bagaimana pengaruh *mutual inductance* terhadap *setting* rele jarak pada saluran transmisi *double circuit* 150 kV antara GI Kapal – GI Pemecutan Kelod ?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh *mutual inductance* terhadap *setting* rele jarak pada saluran transmisi *double circuit* 150 kV antara GI Kapal – GI Pemecutan Kelod.

#### 1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan tambahan wawasan terhadap *setting* rele jarak dan untuk mengetahui pengaruh *mutual inductance* terhadap *setting* rele jarak pada saluran transmisi *double circuit* 150 kV antara GI Kapal – GI Pemecutan Kelod.

#### 1.5 Ruang Lingkup dan Batasan Masalah

Ruang lingkup dan batasan masalah dalam penelitian ini adalah :

- 1) Perhitungan nilai *setting* rele jarak dengan adanya pengaruh *mutual inductance* pada saluran transmisi *double circuit* 150 kV antara GI Kapal – GI Pemecutan Kelod.
- 2) Jenis rele jarak yang digunakan adalah jenis rele numerik.

### II. KAJIAN PUSTAKA

Beberapa penelitian terkait dengan rele jarak ini diantaranya yang dilakukan oleh Bhimantara Ari Sugandi (2010) dengan metode analisis perhitungan berjudul “Analisis *Setting* Rele Jarak Pada Sistem SUTT 150 kV Pembangkit Celukan Bawang” [3], penelitian oleh Sang Kompyang Supriana (2014) dengan metode analisis perhitungan berjudul “Studi Pengaruh *Uprating* Saluran Transmisi Tegangan Tinggi 150 kV Terhadap *Setting* Rele Jarak Antara GI Kapal – GI Padang Sambian – GI Pesanggaran” [4], penelitian oleh M. Nordiansyah (2014) dengan metode ANFIS berjudul “*Setting* Rele Jarak Pada Sistem SUTT 150 kV GI Kapal – GI Padang Sambian Menggunakan Metode *Adaptive Neuro – Fuzzy Inference System* (ANFIS)” [5], serta penelitian oleh S.G. Srivani, Chandrasekhar Reddy Atla, dan K.P. Vittal (2008) dengan metode simulasi pada PSCAD / EMTDC berjudul “*Comparative Evaluation of Adaptive and Conventional Distance Relay for Parallel Transmission Line with Mutual Coupling*” [6]. Berdasarkan beberapa penelitian tersebut, maka pada penelitian ini dilakukan penelitian tentang pengaruh *mutual inductance* terhadap *setting* rele jarak pada saluran transmisi *double circuit* 150 kV antara GI Kapal – GI Pemecutan Kelod.

Rele jarak adalah rele pengaman utama pada saluran transmisi. Rele jarak dibagi dalam beberapa *Zone*, diantaranya

*Zone1*, *Zone2*, dan *Zone3*. Rele Jarak mengukur tegangan pada titik rele dan arus gangguan yang terlihat dari rele, dengan membagi besaran tegangan dan arus. Seperti yang ditunjukkan pada persamaan 1 [7] :

$$Z_f = V_f / I_f \quad \text{.....(1)}$$

Pada *setting* rele jarak, impedansi adalah parameter pokok yang digunakan. Seperti yang ditunjukkan pada persamaan 2 [8] :

$$Z = R + j(X_L + X_C) \quad \text{.....(2)}$$

Untuk mencari total impedansi pada saluran transmisi dapat dihitung dengan persamaan 3 [8] :

$$Z = [R + j(X_L + X_C)] \times L \quad \text{.....(3)}$$

Sedangkan perhitungan *mutual inductance* pada saluran *double circuit* dapat diperoleh dengan persamaan 4, 5, dan 6 [8] :

$$R_m = \frac{R1.R2}{R2+R1} \quad \text{.....(4)}$$

$$X_m = \frac{X1.X2}{X2+X1} \quad \text{.....(5)}$$

$$Z_m = (R_m + jX_m) \times L \quad \text{.....(6)}$$

Induktansi merupakan sifat suatu rangkaian listrik yang dapat menyebabkan timbulnya ggl di dalam rangkaian sebagai akibat perubahan arus yang melewati rangkaian tersebut (*self inductance*) atau akibat perubahan arus yang melewati rangkaian lainnya (*mutual inductance*) [9]. Dalam *setting* rele jarak, terlebih dahulu ditetapkan nilai impedansi di sistem tenaga primer. Sehingga impedansi sekunder dapat dihitung dengan persamaan 7 [8] :

$$Z_s = Z_p \times \left( \frac{CT_{ratio}}{PT_{ratio}} \right) \quad \text{.....(7)}$$

Pembagian *zone* pada rele jarak bertujuan untuk memperoleh koordinasi dalam mengamankan sistem dari berbagai gangguan yang dapat terjadi. Pada zona pertama adalah 80% dari panjang saluran yang diamankan, zona kedua adalah 120% dari panjang saluran yang diamankan, dan zona ketiga adalah 220% dari panjang saluran yang diamankan [10]. Ketentuan setiap *zone* dapat diperoleh dengan persamaan 8, 9, dan 10 berikut ini :

- a) *Time actual* dan *setting* pada zona 1

$$\text{Zone 1 reach} = 0,8 \times Z_{AB}$$

$$T_1 = 0 \text{ detik.....(8)}$$

- b) *Time actual* dan *setting* pada zona 2

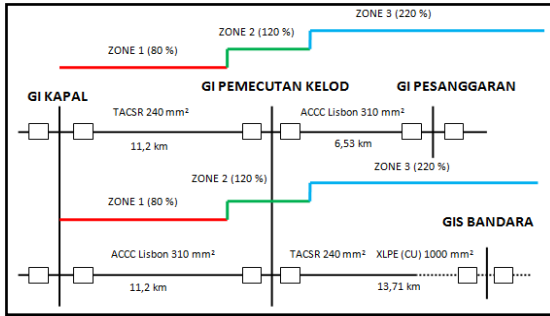
$$\text{Zone 2 reach} = 1,2 \times Z_{AB}$$

$$T_2 = 0,4 \text{ s/d } 0,8 \text{ detik.....(9)}$$

- c) *Time actual* dan *setting* pada zona 3

$$\text{Zone 3 reach} = 1,2 \times (Z_{AB} + Z_{BC})$$

$T_3 = 1,2 \text{ s/d } 1,6 \text{ detik}$  ..... (10)  
 Skema proteksi pada saluran transmisi *double circuit* 150 kV antara GI Kapal – GI Pemecutan Kelod ditunjukkan pada gambar 1 :



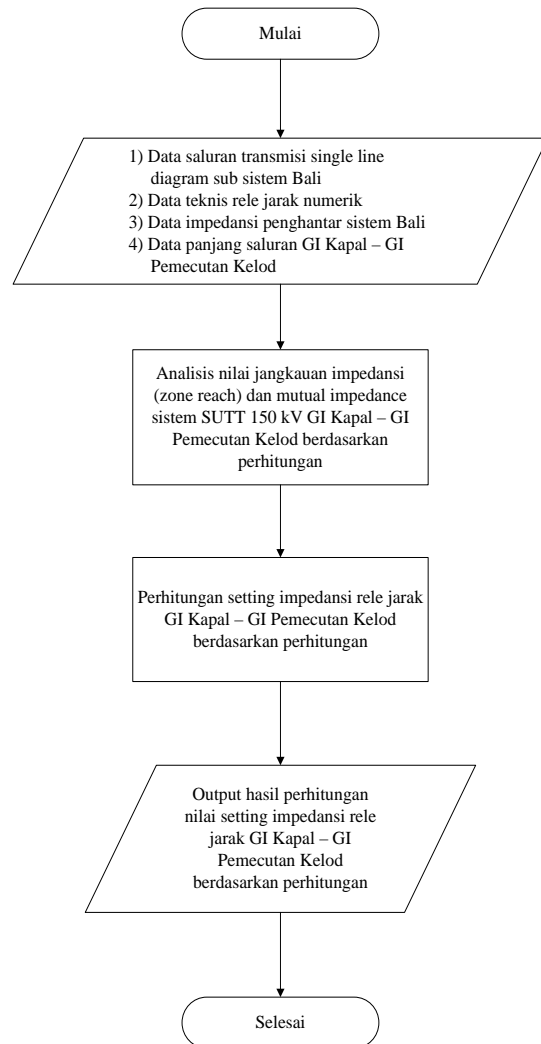
Gambar 1 Skema Proteksi Saluran Transmisi GI Kapal – GI Pemecutan Kelod

### III. METODOLOGI PENELITIAN

Analisis data dalam penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahapan diantaranya :

- 1) Analisis nilai jangkauan impedansi (*zone reach*) dan *mutual impedance* sistem SUTT 150 kV GI Kapal – GI Pemecutan Kelod berdasarkan perhitungan.
- 2) Perhitungan *setting* impedansi rele jarak GI Kapal – GI Pemecutan Kelod berdasarkan perhitungan.
- 3) Menampilkan hasil perhitungan nilai *setting* impedansi rele jarak GI Kapal – GI Pemecutan Kelod berdasarkan perhitungan.

Berdasarkan penjelasan tahapan penelitian di atas, alur analisis dapat ditampilkan dalam bentuk *flowchart* seperti pada gambar 2 :



Gambar 2 Alur Analisis *Setting* Rele Jarak GI Kapal – GI Pemecutan Kelod

### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan perhitungan diketahui bahwa impedansi saluran tanpa diperhitungkan *mutual inductance* terbesar terdapat pada saluran transmisi antara GI Pemecutan Kelod – GIS Bandara dengan nilai impedansi total yakni  $5,91 + j21,58 \Omega$  dan  $0,56 + j1,34 \Omega$ . Impedansi terkecil terletak pada saluran transmisi antara GI Pemecutan Kelod – GI Pesanggaran dengan nilai impedansi total yakni  $2,96 + j 21,6 \Omega$ . Sedangkan impedansi saluran dengan diperhitungkan *mutual inductance* terbesar terdapat pada saluran transmisi antara GI Pemecutan Kelod – GIS Bandara dengan nilai *mutual impedansi* total yakni  $4,53 + j 19,33 \Omega$ .

Impedansi terkecil terletak pada saluran transmisi antara GI Pemecutan Kelod – GI Pesanggaran dengan nilai *mutual* impedansi total yakni  $2,16 + j 9,2 \Omega$ . Dengan demikian diketahui bahwa terdapat perubahan nilai impedansi pada saluran transmisi dengan adanya pengaruh *mutual inductance*, seperti yang ditunjukkan pada tabel 1.

Perbandingan nilai impedansi total dengan selisih terbesar terdapat pada saluran transmisi GI Kapal – GI Pemecutan Kelod 1 dengan selisih nilai impedansi sekitar  $1,58 + j23,347 \Omega$  atau sekitar 62,58%. Dan selisih nilai impedansi total terkecil terdapat pada GI Pemecutan Kelod – GIS Bandara dengan selisih nilai impedansi sekitar  $1,94 + j 3,59 \Omega$  atau sekitar 17,13%, seperti pada tabel 2 :

Tabel 1 Perbandingan nilai impedansi

NO	Gardu Induk	Nilai Impedansi ( $\Omega$ )					
		Tanpa Mutual			Dengan Mutual		
		Z1 = Z2	Z0	Ztotal	Z1m = Z2m	Z0m	Zmtotal
1	Kapal - Pemecutan Kelod 1	1,134 + j 7,409	2,814 + j 22,2286	5,08 + j 37,047	0,63 + j 2,73	2,3 + j 8,2	3,5 + j 13,7
2	Kapal - Pemecutan Kelod 2	1,4212 + j 4,3422	3,10128 + j 13,0267	5,94 + j 21,71	0,63 + j 2,73	2,3 + j 8,2	3,5 + j 13,7
3	Pemecutan Kelod - Pesanggaran	0,6609 + j 4,32	1,64 + j 12,96	2,96 + j 21,6	0,394 + j 1,842	1,373 + j 5,52	2,16 + j 9,2
4	Pemecutan Kelod - GIS Bandara	1,4701 + j 4,583	3,5248 + j 13,75	6,47 + j 22,92	0,827 + j 3,866	2,88 + j 11,6	4,53 + j 19,33

Tabel 2 Selisih dan Persentase Nilai Impedansi

NO	Gardu Induk	Nilai Impedansi ( $\Omega$ )			Persentase		
		Z1 = Z2	Z0	Ztotal	Z1 = Z2	Z0	Ztotal
1	Kapal - Pemecutan Kelod 1	0,504 + j4,679	0,514 + j14,0286	1,58 + j23,347	62,79%	62,65%	62,58%
2	Kapal - Pemecutan Kelod 2	0,7912 + j1,6122	0,801 + j4,8267	2,44 + j8,01	39,31%	36,54%	37,20%
3	Pemecutan Kelod - Pesanggaran	0,2669 + j2,478	0,267 + j7,44	0,8 + j12,4	57,92%	57,09%	56,99%
4	Pemecutan Kelod - GIS Bandara	0,6431 + j0,717	0,6448 + j2,15	1,94 + j3,59	20,01%	15,81%	17,13%

Pada perhitungan *setting* rele jarak diketahui pula bahwa dengan adanya pengaruh *mutual inductance* pada saluran transmisi *double circuit*, terdapat perubahan *zone reach* nilai impedansi rele jarak. Salah satunya pada saluran transmisi GI Kapal – GI Pemecutan Kelod 1, semula *zone reach* nilai

impedansi rele jarak pada *zone 1* adalah  $0,907 + j5,927$  (primer) dan  $0,48 + j3,16$  (sekunder). Dengan adanya *mutual inductance zone reach* nilai impedansi rele jarak saluran GI Kapal – GI Pemecutan Kelod1 berubah menjadi  $0,504 + j2,184$  (primer) dan  $0,269 + j1,165$  (sekunder). Selain itu, terdapat pula perubahan *time actual* pada daerah cakupan *zone 3* saluran transmisi GI Kapal – GI Pemecutan Kelod 1 dan GI Kapal – GI Pemecutan Kelod 2. Semula *setting time actual zone 3* pada GI Kapal – GI Pemecutan Kelod 1 yakni 1,6 detik, setelah diperhitungkan *mutual inductance* berubah menjadi 1,2 detik. Sebaliknya pada *setting time actual zone 3* GI Kapal – GI Pemecutan Kelod 2 semula adalah 1,2 detik, setelah *mutual inductance* diperhitungkan maka berubah menjadi 1,6 detik, seperti yang ditunjukkan pada tabel 3 dan 4.

Tabel 3 Setting Rele Jarak Tanpa Diperhitungkan *Mutual Inductance*

NO	Gardu Induk	Setting Rele Jarak								
		Zone 1		T1 (s)	Zone2		T2 (s)	Zone3		T3 (s)
		80%			120%			220%		
		Primer	Secunder		Primer	Secunder		Primer	Secunder	
1	Kapal - Pemecutan Kelod 1	0,907+ j5,927	0,48 + j3,16	0	1,85 + j8,9	0,99 + j4,7	0,4	3,12 + j14,39	1,66 + j7,67	1,33 + j5,54
2	Kapal - Pemecutan Kelod 2	1,137+ j3,474	0,606 + j1,85	0	1,56 + j6,239	0,83 + j3,33	0,4	2,5 + j10,4	1,33 + j5,54	1,33 + j5,54

Tabel 4 Setting Rele Jarak Dengan Diperhitungkan *Mutual Inductance*

NO	Gardu Induk	Setting Rele Jarak								
		Zone 1		T1 (s)	Zone2		T2 (s)	Zone3		T3 (s)
		80%			120%			220%		
		Primer	Secunder		Primer	Secunder		Primer	Secunder	
1	Kapal - Pemecutan Kelod 1	0,504+ j2,184	0,269 + j1,165	0	1,03 + j4,66	0,551 + j2,48	0,4	1,748+ j7,92	0,932 + j4,22	1,0
2	Kapal - Pemecutan Kelod 2	0,504+ j2,184	0,269 + j1,165	0	0,756+ j3,363	0,403 + j1,79	0,4	1,229+ j5,49	0,65 + j2,926	1,0

## V. SIMPULAN

- 1) Saluran transmisi *double circuit* 150 kV antara GI Kapal – GI Pemecutan Kelod timbul *mutual inductance*. Hal ini berpengaruh pada perubahan nilai impedansi saluran transmisi. Tanpa *mutual inductance*, impedansi total saluran GI Kapal – GI Pemecutan Kelod 1 sebesar  $5,08+j37,047 \Omega$ . Selisih perubahan nilai impedansi karena *mutual inductance* pada saluran ini sebesar  $1,58+j23,347 \Omega$  atau sekitar 62,58 %. Sedangkan tanpa *mutual inductance* impedansi total saluran GI Pemecutan Kelod – GIS Bandara sebesar  $6,47+j22,92 \Omega$ , selisih perubahan nilai impedansi dikarenakan *mutual inductance* pada saluran ini sebesar  $1,94+j3,59 \Omega$  atau sekitar 17,13%.
- 2) Perubahan nilai impedansi dikarenakan *mutual inductance* juga berpengaruh terhadap *zone reach* nilai impedansi rele jarak. Pada saluran transmisi GI Kapal – GI Pemecutan Kelod 1 semula *zone reach* nilai impedansi rele jarak pada *zone1* sebesar  $0,907 + j5,927$  (primer) dan  $0,48 + j3,16$  (sekunder), berubah menjadi  $0,504 + j2,184$  (primer) dan  $0,269+j1,165$  (sekunder).
- 3) Terdapat pula perubahan *time actual* pada *zone 3* saluran GI Kapal – GI Pemecutan Kelod 1 dan 2. *Time actual* pada *zone 3* GI Kapal – GI Pemecutan Kelod 1 semula 1,6 detik menjadi 1,2 detik. Sedangkan *Time actual* pada daerah cakupan *zone 3* GI Kapal – GI Pemecutan Kelod 2 semula 1,2 detik menjadi 1,6 detik.

## VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sujatmiko,H,Analisis Kerugian Daya Pada Saluran Transmisi Tegangan Ekstra Tinggi 500 kV Di PT PLN (Persero) Penyaluran & Pusat Pengaturan Beban (P3B) Jawa Bali Regional Jawa Tengah & DIY Unit Pelayanan Transmisi Semarang,*Jurnal Teknik Elektro*,2009:Volume1.
- [2] Syafar,Studi Keandalan Distance Relay Jaringan 150 kV GI Tello – GI Pare – Pare, *Jurnal Media Elektrik*,2010:Volume 5.
- [3] Sugandi,Bhimantara Ari. 2010. "Analisis Setting Rele Jarak Pada Sistem SUTT 150 kV Pembangkit Celukan Bawang" (*tugas akhir*). Denpasar : Universitas Udayana.
- [4] Supriana,Sang Kompyang. 2014. "Studi Pengaruh Uprating Saluran Transmisi Tegangan Tinggi 150 kV Terhadap Setting Rele Jarak Antara GI Kapal – GI Padang Sambian – GI Pesanggaran" (*tugas akhir*). Denpasar : Universitas Udayana.
- [5] Nordiansyah,M. 2014. "Setting Rele Jarak Pada Sistem SUTT 150 kV GI Kapal – GI Padang Sambian Menggunakan Adaptive Neuro – Fuzzy Inference System (ANFIS)" (*tugas akhir*). Denpasar : Universitas Udayana.
- [6] Srivani,dkk,Comparative Evaluation of Adaptive and Conventional Distance Relay for Parallel Transmission Line with Mutual Coupling,*International Science Index*.2008:Volume 2.
- [7] Tobing,C.N.H.Rele Jarak Sebagai Proteksi Saluran Transmisi.Depok : Departemen Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia,2008.
- [8] Samuel,dkk,Koordinasi Setting Rele Jarak Pada Transmisi 150 kV PLTU 2 SULUT 2 x 25 MW,*Jurnal Teknik Elektro-FT UNSRAT*.2012
- [9] Anindita,Mutual Induktansi Kawat Hantar Listrik.2013
- [10] PLN,Pelatihan O & M Relai Proteksi Jaringan.2006