

PROTEKSI RELE JARAK (*DISTANCE RELAY*) PADA SALURAN UDARA TEGANGAN TINGGI (SUTT) 150 KV SISTEM KELISTRIKAN LOMBOK

Distance Relay Protection of High Voltage Transmission Line 150 KV Lombok Power System

Risca Arie Wahyuningsih¹, Supriyatna¹, Agung Budi Muljono¹

¹) Jurusan Teknik Elektro, Universitas Mataram. Jl. Majapahit 62, Mataram, 83125 Lombok, Indonesia
Email : risca.arie@gmail.com, supriyatna@unram.ac.id, agungbm@unram.ac.id

ABSTRAK

Sistem kelistrikan Lombok telah mengoperasikan saluran udara tegangan tinggi (SUTT) 150 kV dan hingga saat ini terus mengalami pengembangan. Pembangunan SUTT ini merupakan usaha meningkatkan kualitas serta keandalan suatu sistem kelistrikan. Oleh karena itu, diperlukan proteksi yang baik untuk menjaga keandalan penyaluran energi listrik. Salah satu rele yang digunakan pada proteksi sistem kelistrikan Lombok adalah rele jarak. Rele jarak bekerja sebagai pengamanan utama pada saluran transmisi. Rele ini mengukur besar impedansi gangguan berdasarkan arus dan tegangan yang terdeteksi oleh rele. Penelitian ini menghitung setting impedansi rele jarak pada Z_{1pri} , Z_{2pri} dan Z_{3pri} , kemudian menguji dengan melakukan simulasi hubung singkat menggunakan software ETAP 7.5.

Hasil perhitungan setting rele jarak di Ampenan untuk memproteksi saluran Ampenan - Jeranjang impedansi saluran 3,25 Ω (7,543 km) adalah $Z_{1pri} = 2,6057 \Omega$ (6,0345 km), $t_1 = 0$ detik; $Z_{2pri} = 13,7056 \Omega$ (31,7406 km), $t_2 = 0,4$ detik; $Z_{3pri} = 24,7209 \Omega$ (57,2508 km), $t_3 = 1,2$ detik. Impedansi setting rele lebih besar dari impedansi gangguan yang terdeteksi oleh rele sehingga rele jarak sudah dapat melindungi sistem. Hasil penelitian memperlihatkan grafik koordinasi impedansi dan waktu setting rele jarak pada masing-masing seksi zone proteksi.

Kata kunci : saluran udara tegangan tinggi 150 kV, rele jarak, koordinasi sistem proteksi

ABSTRACT

Lombok power system has been operating 150kV high voltage transmission line and has been developing continuously. High voltage transmission line construction is an effort to improve electrical system quality and reliability. Thus, good protection is needed to maintain distribution reliability of electrical power. One of the relays used in Lombok electrical protection system is a distance relay. Distance relay works as a main protection in transmission system by measuring fault impedance value based on current and voltage which detected by the relay. This study illustrates how to calculate distance relay setting impedance in Z_{1pri} , Z_{2pri} and Z_{3pri} then held a short-circuit simulation in software ETAP 7.5 to examine it.

Setting calculation result of distance relay in Ampenan for Ampenan – Jeranjang line protection, with 3,25 Ω (7.543 km) line impedance, is $Z_{1pri} = 2.6057 \Omega$ (6.0345), $t_1 = 0$ second, $Z_{2pri} = 13.7056 \Omega$ (31.7406), $t_2 = 0.4$ second, $Z_{3pri} = 24.7209 \Omega$ (57.2508), $t_3 = 1.2$ second. Relay's setting impedance is larger than fault impedance detected by the relay, so that distance relay has been able to protect the system. This study may also shows graphic of setting impedance and time coordination from distance relay for every protection area section.

Key word: High voltage transmission line 150 kV, distance relay, protection system coordination

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara berkembang dengan tingkat pertumbuhan ekonomi, industri serta pertumbuhan jumlah penduduk semakin hari semakin meningkat. Tidak dapat dipungkiri bahwa peningkatan tersebut juga mengakibatkan permintaan kebutuhan pasokan listrik di Indonesia terus meningkat. Untuk mengatasi masalah tersebut pemerintah telah menambah jumlah pembangkit di Lombok yaitu pusat Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Jeranjang berkapasitas 2x25 MW yang telah beroperasi pada tahun 2012. Penambahan pembangkit tersebut diharapkan dapat menyediakan listrik yang berkualitas baik untuk industri, instansi pemerintahan, fasilitas umum dan masyarakat dapat terpenuhi dari PT. PLN (Persero).

Pada tahun 2012 sistem kelistrikan Lombok juga telah mengoperasikan saluran udara tegangan tinggi (SUTT) 150 kV. Pembangunan SUTT ini merupakan usaha dalam meningkatkan kualitas serta keandalan suatu sistem kelistrikan. Saluran transmisi udara seringkali mengalami gangguan yang mengakibatkan pemadaman. Gangguan yang terjadi baik berasal dari dalam sistem maupun luar sistem seperti gangguan hubung singkat, gangguan beban lebih, gangguan yang diakibatkan cuaca buruk. Gangguan tersebut dapat mengakibatkan kerusakan pada peralatan serta terganggunya proses penyaluran tenaga listrik. Untuk mencegah dan meminimalisir kerusakan serta kerugian akibat terjadinya gangguan tersebut, maka dibutuhkan suatu sistem proteksi yang andal dan baik. Sistem proteksi berfungsi untuk menjaga kestabilan proses penyaluran tenaga listrik dengan cara mendeteksi terjadinya gangguan atau keadaan tidak wajar pada sistem kemudian memutuskan bagian sistem yang terganggu sehingga bagian yang tidak terganggu dapat terus beroperasi.

Rele jarak difungsikan sebagai pengaman utama pada saluran udara tegangan tinggi (SUTT) 150 kV sistem kelistrikan Lombok. Prinsip dasar rele jarak adalah membaca impedansi berdasarkan besaran arus dan tegangan yang dirasakan untuk menentukan apakah rele harus bekerja atau tidak. Agar dapat bekerja secara baik maka diperlukan koordinasi antar rele baik terhadap rele di terminal aliran lawannya maupun dengan rele seksi berikutnya. Koordinasi rele jarak didasarkan pada parameter saluran transmisi dengan memperhatikan parameter gangguan.

Sejak berdirinya saluran transmisi tegangan tinggi 150 kV pada sistem

kelistrikan Lombok, rele jarak merupakan rele yang berperan sebagai pengaman utama atau *main protection* pada saluran transmisi. Oleh karena itu diperlukan penelitian mengenai koordinasi proteksi rele jarak pada SUTT 150 kV sistem kelistrikan Lombok sehingga diharapkan proteksi bekerja secara cepat dan selektif.

Sistem Transmisi Tenaga Listrik.

Sistem transmisi tenaga listrik adalah bagian yang sangat penting dalam hal menyalurkan tenaga listrik dari pusat pembangkit hingga ke konsumen atau pelanggan. Pemakaian sistem transmisi didasarkan atas besarnya daya yang harus disalurkan dari pusat-pusat pembangkit ke pusat beban dan jarak penyaluran yang cukup jauh antara sistem pembangkit dengan pusat beban tersebut. Sistem transmisi menyalurkan daya dengan tegangan tinggi yang digunakan untuk mengurangi adanya rugi-rugi akibat panjang saluran transmisi (Tobing, 2008).

Komponen-komponen utama dari transmisi jenis saluran udara terdiri dari :

1. Menara transmisi atau tiang transmisi beserta pondasinya
2. Isolator-isolator
3. Kawat penghantar
4. Kawat tanah

Proteksi Sistem Tenaga Listrik.

Tujuan dari sistem proteksi dan rele-rele pengaman adalah agar pemutus-pemutus daya dapat dioperasikan dengan tepat dan hanya peralatan yang terganggu yang dipisahkan secepatnya dari sistem, sehingga kesulitan dan kerusakan yang disebabkan gangguan dapat diminimalisir sekecil mungkin.

Sistem proteksi memiliki fungsi, yaitu :

1. Mengurangi resiko yang ditimbulkan ke level yang aman dengan menghilangkan gangguan atau abnormal sistem sesegera mungkin dan meminimalkan pemutusan operasi pada sistem tenaga.
2. Mendeteksi gangguan/keadaan tidak wajar pada sistem.
3. Memutus bagian sistem yang terganggu sehingga bagian yang tidak terganggu dapat terus beroperasi.

Karakteristik Sistem Proteksi.

Beberapa karakteristik yang harus dimiliki oleh sebuah sistem proteksi yang baik dan andal antara lain :

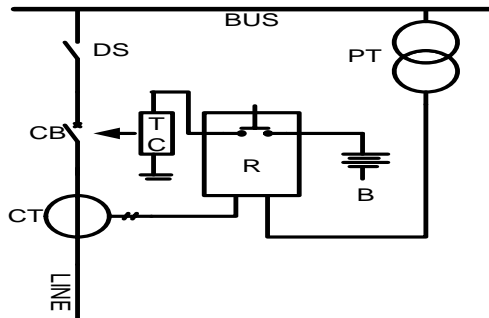
1. Reliabilitas (*Reliability*)
2. Selektivitas (*Selectivity*)
3. Kecepatan operasi (*Speed of Operation*)

4. Sensitivitas (*Sensitivity*)

Peralatan Proteksi Sistem Tenaga Listrik.

Sistem proteksi tenaga listrik terdiri dari beberapa peralatan-peralatan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1 antara lain :

1. Rele proteksi.
2. Pemutus tenaga (PMT).
3. Trafo arus (CT) dan trafo tegangan (PT).
4. Sumber arus searah (batere).
5. Pengawatan (*wiring*).



Gambar 1. Rangkaian peralatan sistem proteksi tenaga listrik (Supriyatna, 2014).

Pola Proteksi Sistem Tenaga Listrik.

Sistem pengaman suatu peralatan dapat mengalami kegagalan operasi (gagal operasi) karena berbagai macam faktor. Berdasarkan hal-hal tersebut maka suatu sistem proteksi dapat dibagi menjadi pengaman utama dan pengaman cadangan (Tim Dikpro Proteksi, 2010).

Rele Jarak (*Distance Relay*).

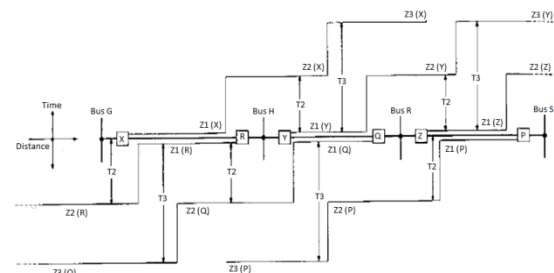
Rele jarak (*distance relay*) merupakan proteksi yang paling utama pada saluran transmisi karena kemampuannya dalam menghilangkan gangguan (*fault clearing*) dengan cepat dan penyetelannya yang relatif mudah. Pada prinsipnya rele jarak adalah mengukur nilai arus dan nilai tegangan pada suatu titik tertentu untuk mendapatkan impedansi saluran dan kemudian membandingkannya dengan suatu nilai *setting* tertentu untuk menentukan apakah rele harus bekerja atau tidak. Jika impedansi yang terukur didalam batas pengaturannya, maka rele akan bekerja. Disebut rele jarak, karena impedansi pada saluran besarnya akan sebanding dengan panjang saluran. Oleh karena itu, rele jarak tidak tergantung oleh besarnya arus gangguan yang terjadi, tetapi tergantung pada jarak gangguan yang terjadi terhadap rele proteksi (Tobing, 2008).

Pemilihan Zone Pengaman pada Rele Jarak.

Saat melakukan koordinasi seperti pada Gambar 2, interval waktu di antara peralatan pengaman harus dijaga untuk memastikan selektivitas operasi peralatan berjalan dengan benar. Pengkoordinasian rele dengan peralatan lainnya perlu memperhatikan *Coordination Time Interval (CTI)*. Nilai CTI antara 0,3 detik sampai 0,4 detik. *Zone* ini menggambarkan seberapa panjang saluran yang diproteksi oleh pengaman jarak. (Aljufri, 2011)

Setelan waktu kerja :

- Zone-1 : Instantaneous
- Zone-2 : 0,4 – 0.8 detik (sesuai kebutuhan)
- Zone-3 : 0,8 –1,6 detik (sesuai kebutuhan)



Gambar 2. Daerah penyetelan rele jarak (Elmore, 1994).

Jangkauan Zone 1. Jangkauan ini harus mencakup daerah sejauh mungkin dari saluran yang diamankan tetapi tidak boleh melampaui saluran yang ada didepanya. waktu kerja rele untuk *zone-1* adalah seketika

$$Z_{1pr} = 0,8 \times Z_{LA} \tag{1}$$

Jangkauan Zone 2. Jangkauan ini harus pasti dapat menjangkau sisa saluran yang tidak dapat diamankan *zone-1* (harus mencapai *near end bus*), tetapi tidak boleh melebihi (*overlap*) dengan *zone-2* seksi berikutnya. Waktu kerja rele $t_2=0,4$ sampai dengan 0,8 detik.

$$Z_{2min} = 1,2 \times Z_{LA} \tag{2}$$

$$Z_{2max} = 0,8(Z_{L1} + 0,8 \times Z_{LB}) \tag{3}$$

$$Z_{2T} = 0,8(Z_{LA} + 0,5 \times X_{TB}) \tag{4}$$

Jangkauan Zone 3. Jangkauan ini diusahakan dapat meliputi seluruh saluran seksi berikutnya, (harus mencapai *far end bus* terpanjang). Waktu kerja rele $t_3=1,2$ sampai dengan 1,6 detik.

$$Z_{3min} = 1,2(Z_{LA} + KI \times Z_{LB}) \tag{5}$$

$$Z_{3max1} = 0,8(Z_{LA} + (1,2 \times KI \times Z_{LB})) \tag{6}$$

$$Z_{3max2} = 0,8(Z_{LA} + (0,8 \times KI \times (Z_{LB} + 0,8 \times Z_{LC}))) \tag{7}$$

$$Z_{3T} = 0,8(Z_{LA} + 0,8 \times X_{TB}) \tag{8}$$

Keterangan :

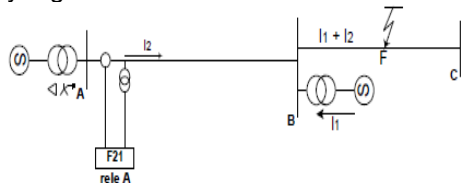
Z_{LA} = impedansi penghantar yang diproteksi.

Z_{LB} = impedansi penghantar berikutnya yang terkecil.
 Z_{LC} = impedansi penghantar berikutnya yang terbesar.
 KI = Faktor *infeed*.

Pengaruh *Infeed Current* terhadap *Distance Relay*.

Infeed merupakan fenomena penambahan atau pengurangan arus yang melalui suatu titik yang tidak dirasakan oleh rele. *Infeed current* akan mempengaruhi besaran impedansi yang dideteksi oleh rele sehingga seolah-olah menjadi lebih besar atau sebaliknya menjadi lebih kecil. Faktor *infeed* ini akan berpengaruh pada penentuan *setting* jangkauan impedansi pada zone 3. (Tim Dikpro Proteksi, 2010)

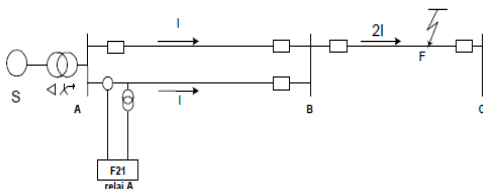
1. Adanya pembangkit pada ujung saluran yang diamankan



Gambar 3 Adanya pembangkit diujung saluran

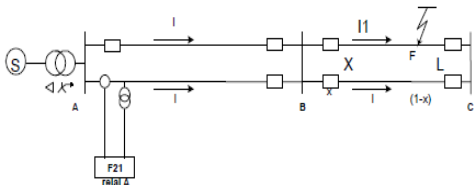
Faktor *infeed* $KI = \frac{(I_1 + I_2)}{I_2}$ (9)

2. Adanya perubahan dari saluran transmisi ganda ke tunggal



Gambar 4 Saluran ganda ke tunggal
 Faktor *infeed*, $KI = 2$

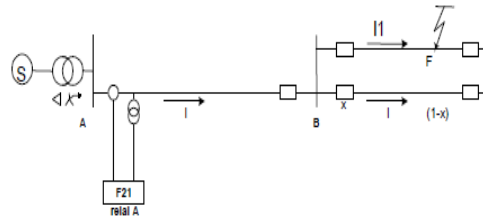
3. Saluran Transmisi Ganda ke Ganda.



Gambar 5 Saluran ganda ke ganda

Faktor *infeed*, $KI = \frac{(2L - X)}{L}$ (10)

4. Saluran transmisi tunggal ke ganda



Gambar 6 Saluran tunggal ke ganda

Faktor *infeed* $KI = \frac{(2L - X)}{2L}$ (11)

METODE PENELITIAN

Metode Penelitian

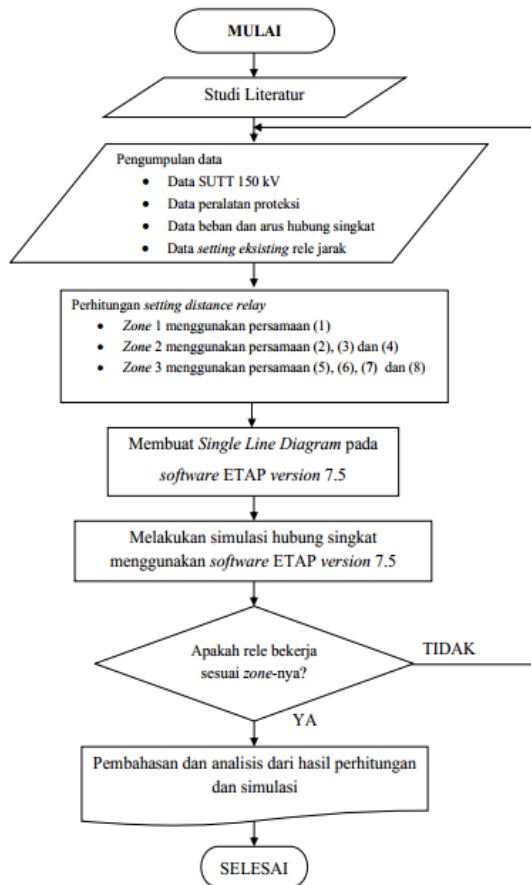
Penelitian ini melakukan penentuan besar *setting* rele agar terjadi koordinasi proteksi pada SUTT 150 kV sistem kelistrikan Lombok.

Data Penelitian

Sumber data penelitian ini menggunakan data sekunder yang diperoleh dari PT. PLN (Persero) APDP Mataram, meliputi data sebagai berikut:

1. Data saluran udara tegangan tinggi (SUTT) 150 kV sistem kelistrikan Lombok.
 - Jenis konduktor atau penghantar.
 - Kapasitas hantar arus (KHA).
 - Panjang saluran transmisi.
 - Impedansi saluran.
2. Data peralatan proteksi :
 - CT dan PT.
 - Rele proteksi.
 - Transformator daya.
3. Data beban dan arus hubung singkat sistem.
4. Data *setting eksisting distance relay*.

Langkah-langkah dalam penelitian ini dijelaskan dalam diagram alir berikut



Gambar 7. Diagram alir penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

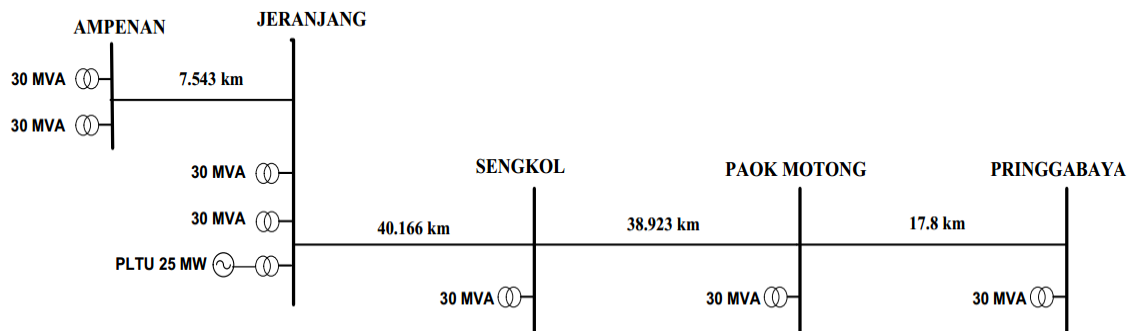
Konfigurasi sistem tenaga listrik yang digunakan untuk koordinasi setelan rele jarak saluran udara tegangan tinggi berdasarkan konfigurasi sistem kelistrikan Lombok 150 kV terlihat pada Gambar 8.

Data saluran udara tegangan tinggi untuk perhitungan setelan proteksi rele jarak sistem kelistrikan Lombok berdasarkan data dari PT. PLN APDP Mataram. dapat dilihat pada Tabel 1.

Rele Jarak 150 kV Ampenan – Jeranjang. Gambar 9 menunjukkan diagram satu garis saluran yang akan diproteksi yaitu saluran Ampenan –Jeranjang.

Merek/Tipe Rele : Toshiba/GRZ100-201A
 Arus nominal : 1 A
 Lokasi : Ampenan
 Proteksi : Jeranjang
 KHA : 580 A
 POLA : PUTT

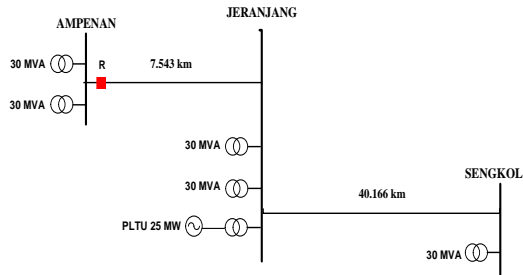
1. Penghantar yang diproteksi,
 $ZLA1 = 1,033 + j3,089 \Omega$
 $ZLA0 = 2,559 + j7,108 \Omega$
2. Penghantar di depan yang terkecil impedansinya,
 $ZLB1 = 5,503 + j16,448 \Omega$
 $ZLB0 = 13,629 + j37,850 \Omega$



Gambar 8. Diagram satu garis sistem kelistrikan Lombok 150 kV

Tabel 1. Impedansi penghantar saluran udara tegangan tinggi (SUTT) 150 kV

No. Sal.	SUTT 150 kV	Panjang Saluran (km)	Impedansi penghantar (Ω)		
			Urutan positif	Urutan negatif	Urutan nol
1	Jeranjang-Ampenan	7,543	1,033 + j3,089	1,033 + j3,089	2,559 + j7,108
2	Jeranjang-Sengkol	40,166	5,503 + j16,448	5,503 + j16,448	13,629 + j37,850
3	Sengkol-Paokmotong	38,923	5,332 + j15,939	5,332 + j15,939	13,208 + j36,676
4	Paokmotong-Pringgabaya	17,800	2,4386 + j7,289	2,4386 + j7,289	6,04 + j16,773



Gambar 9. Diagram satu garis saluran Ampenan - Jeranjang

3. Penghantar di depan yang terbesar impedansinya,

$$ZLC1 = 5,503 + j16,448 \Omega$$

$$ZLC0 = 13,629 + j37,850 \Omega$$

Zone-1

$$Z1pri = 0,8 \cdot ZLA1$$

$$= 0,8 \times (1,033 + j3,089)$$

$$= 0,8264 + j2,4712 \Omega$$

$$|Z1pri| = 2,6057 \Omega (6,0345 \text{ km})$$

$$t1 = 0 \text{ detik}$$

Zone-2

$$Z2min = 1,2 \cdot ZLA1$$

$$= 1,2 \times (1,033 + j3,089)$$

$$= 1,2396 + j3,7068 \Omega$$

$$|Z2min| = 3,9086 \Omega$$

$$Z2max = 0,8(ZLA1 + 0,8 \cdot ZLB1)$$

$$= 0,8 \times ((1,033 + j3,089) + 0,8 \times (5,503 + j16,448))$$

$$= 4,348 + j12,9979 \Omega$$

$$|Z2max| = 13,7059 \Omega$$

$$Z2T = 0,8(ZLA1 + j0,5 \cdot XT1)$$

$$= 0,8 \times ((1,033 + j3,089) + j0,5 \times (92,632))$$

$$= 0,8264 + j39,524 \Omega$$

$$|Z2T| = 39,5326 \Omega$$

$$Z2pri = 4,348 + j12,9979 \Omega$$

$$|Z2pri| = 13,7059 \Omega (31,7413 \text{ km})$$

$$t2 = 0,4 \text{ detik}$$

Zone-3

$$Z3min = 1,2 \times (ZLA1 + ZLB1)$$

$$= 1,2 \times ((1,033 + j3,089) + (5,503 + j16,448))$$

$$= 7,8432 + j23,444 \Omega$$

$$|Z3min| = 24,7215 \Omega$$

$$Z3max1 = 0,8 \times (ZLA1 + (1,2 \cdot KI \cdot ZLB1))$$

$$= 0,8 \times ((1,033 + j3,089) + (1,2 \times 1 \times (5,503 + j16,448)))$$

$$= 6,1093 + j18,3613 \Omega$$

$$|Z3max1| = 19,256 \Omega$$

$$Z3max2 = 0,8 \times (ZLA1 + (0,8 \times KI(ZLB1 + 0,8 \cdot ZLC1)))$$

$$= 0,8 \times ((1,033 + j3,089) + (0,8 \times 1 \times ((5,503 + j16,448) + 0,8 \times (5,503 + j16,448))))$$

$$= 7,1658 + j21,4193 \Omega$$

$$|Z3max2| = 22,586 \Omega$$

$$Z3T = 0,8(ZLA1 + j0,8 \cdot XT1)$$

$$= 0,8 \times ((1,033 + j3,089) + j0,8 \times (92,632))$$

$$= 0,826 + j61,7557 \Omega$$

$$|Z3T| = 61,761 \Omega$$

$$Z3pri = 7,8432 + j23,444 \Omega$$

$$|Z3pri| = 24,7215 \Omega (57,2522 \text{ km})$$

$$t3 = 1,2 \text{ detik}$$

Hasil perhitungan setting distance relay gardu induk (GI) Ampenan - Jeranjang dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Setting distance relay Ampenan - Jeranjang

Zone	zone 1	zone 2	zone3
Impedansi primer (Ω)	2,6057	13,7056	24,7209
Setelan waktu (detik)	0	0,4	1,2

Pengujian Setting Rele Jarak Terhadap Gangguan Hubung Singkat.

Dalam melakukan pengujian, dilakukan perbandingan antara impedansi setting rele yang terpasang terhadap impedansi gangguan hubung singkat yang terjadi. Skenario yang dilakukan dengan mensimulasikan gangguan, dengan lokasi gangguan sebesar 25%, 50%, 75% dan 100%.

Hasil simulasi saat jarak gangguan 25%, 50%, 75% dan 100% pada saluran udara tegangan tinggi 150 kV Ampenan – Jeranjang dapat dilihat pada Tabel 3 menunjukkan nilai tegangan gangguan (V_f), arus gangguan (I_f) dan impedansi gangguan (Z_f).

Tabel 3. Perhitungan impedansi dirasakan rele saat gangguan hubung singkat SUTT 150kV Ampenan – Jeranjang

Jarak Gangguan (%)	Jenis Gangguan	V _f (kV)	I _f (kA)	Z _{f primer} (Ω)	Z _{setting primer} (Ω)	Ket.	Zone Operate
25	Tiga Fasa	1,440	1,120	0,742	2,6057	Operate	Zone 1
	Satu Fasa Tanah	1,530	1,190	0,742	2,6057	Operate	Zone 1
50	Tiga Fasa	2,860	1,110	1,488	2,6057	Operate	Zone 1
	Satu Fasa Tanah	2,930	1,100	1,538	2,6057	Operate	Zone 1
75	Tiga Fasa	4,250	1,100	2,231	2,6057	Operate	Zone 1
	Satu Fasa Tanah	4,210	1,010	2,407	2,6057	Operate	Zone 1
100	Tiga Fasa	5,610	1,090	2,972	13,7056	Operate	Zone 2
	Satu Fasa Tanah	5,370	0,927	3,345	13,7056	Operate	Zone 2

Berdasarkan Tabel 3 dilihat bahwa Impedansi setting rele lebih besar dari impedansi gangguan yang terbaca oleh rele sehingga rele jarak sudah dapat melindungi sistem.

Hasil perhitungan setelan rele jarak dan perhitungan impedansi yang dirasakan rele saat terjadi hubung singkat dapat dilihat pada Tabel 4 dan Tabel 5.

Tabel 4. Hasil perhitungan *setting* rele jarak pada SUTT 150 kV sistem kelistrikan Lombok

No.	Saluran		Zone 1		Zone 2		Zone 3	
	Dari	Ke	Zprimer (Ω)	td (detik)	Zprimer (Ω)	td (detik)	Zprimer (Ω)	td (detik)
1	Jeranjang	Ampenan	2,6057	0	3,9085	0,4	3,9085	1,2
2	Ampenan	Jeranjang	2,6057	0	13,7056	0,4	24,7209	1,2
3	Jeranjang	Sengkol	13,8749	0	24,6314	0,4	33,2366	1,2
4	Sengkol	Jeranjang	13,8749	0	20,8124	0,8	24,7209	1,6
5	Sengkol	Paokmotong	13,4456	0	20,1683	0,4	29,3916	1,6
6	Paokmotong	Sengkol	13,4456	0	24,5455	0,4	33,4255	1,2
7	Paokmotong	Pringgabaya	6,1488	0	9,2232	0,8	9,2232	1,2
8	Pringgabaya	Paokmotong	6,1488	0	16,9053	0,4	29,3916	1,2

Pengaruh faktor infeed akibat adanya pembangkit pada ujung saluran yang diamankan. *Infeed* merupakan fenomena penambahan atau pengurangan arus yang melalui suatu titik yang tidak dirasakan oleh rele. *Infeed current* akan mempengaruhi besaran impedansi yang dideteksi oleh rele sehingga seolah-olah menjadi lebih besar atau sebaliknya menjadi lebih kecil.

Perhitungan faktor *infeed* rele jarak menggunakan Persamaan (9) :

$$KI = \frac{I_1 + I_2}{I_2} = \frac{0,429 + 1,241}{1,241} = 1,3$$

Hasil perhitungan faktor *infeed* dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Faktor *infeed* rele jarak

No.	Letak rele	Proteksi	I ₁	I ₂	<i>Infeed</i>
1	Jeranjang	Ampenan	0	1	1
2	Ampenan	Jeranjang	0,429	1,241	1,3
3	Jeranjang	Sengkol	0,008	1,292	1,0
4	Sengkol	Jeranjang	0,528	1,092	1,5
5	Sengkol	Paokmotong	0,538	1,112	1,5
6	Paokmotong	Sengkol	0,009	0,646	1,0
7	Paokmotong	Pringgabaya	0	1	1,0
8	Pringgabaya	Paokmotong	0,541	0,189	3,8

Tabel 5 memperlihatkan hasil perhitungan faktor *infeed* terbesar terdapat pada proteksi saluran Pringgabaya–Paokmotong, hal ini disebabkan adanya pembangkit berkapasitas besar di Paokmotong sehingga saat terjadi gangguan di saluran Paokmotong – Sengkol maka arus

yang mengalir ke titik gangguan dari sisi pembangkit di Paokmotong menjadi lebih besar dari pada arus di Pringgabaya.

Faktor *infeed* ini akan berpengaruh pada penentuan *setting* jangkauan impedansi pada *zone* tiga.

Tabel 6. Hasil perhitungan *setting* rele jarak dengan faktor *infeed* ≠1 pada SUTT 150 kV sistem kelistrikan Lombok

No.	Saluran		Zone 1		Zone 2		Zone 3	
	Dari	Ke	Zprimer (Ω)	td (detik)	Zprimer (Ω)	td (detik)	Zprimer (Ω)	td (detik)
1	Jeranjang	Ampenan	2,6057	0	3,9085	0,4	3,9085	1,2
2	Ampenan	Jeranjang	2,6057	0	13,7056	0,4	28,5795	1,2
3	Jeranjang	Sengkol	13,8749	0	24,6314	0,4	33,2366	1,2
4	Sengkol	Jeranjang	13,8749	0	20,8124	0,8	24,7209	1,6
5	Sengkol	Paokmotong	13,4456	0	20,1683	0,4	29,3916	1,6
6	Paokmotong	Sengkol	13,4456	0	24,5455	0,4	33,4255	1,2
7	Paokmotong	Pringgabaya	6,1488	0	9,2232	0,8	9,2232	1,2
8	Pringgabaya	Paokmotong	6,1488	0	16,9053	0,4	62,1168	1,2

Berdasarkan Tabel 6 dapat dilihat bahwa faktor *infeed* memperhatikan sumbangan arus akibat adanya pembangkit di ujung saluran yang diproteksi sehingga berpengaruh terhadap *setting* zona 3 rele jarak. Pada proteksi saluran Pringgabaya – Paokmotong yang memiliki nilai faktor *infeed* besar akan menyebabkan nilai jangkauan impedansi zone 3 minimum (Z_{3min}) dan jangkauan impedansi zone 3 maksimum (Z_{3max}) melebihi dari nilai jangkauan impedansi transformator, sehingga nilai *setting* impedansi primer rele jarak diambil dari hasil perhitungan jangkauan impedansi zone 3 transformator (Z_{3T}).

Koordinasi Setelan Rele Jarak.

Untuk mengetahui koordinasi *setting* rele jarak masing-masing saluran, maka kita harus mengetahui grafik setelan rele jarak. Grafik ini menggambarkan koordinasi antara jangkauan impedansi dan waktu. Grafik setelan rele jarak tersebut dapat memperlihatkan apakah rele jarak yang terpasang mengalami *overlapping* (rele bekerja dalam waktu bersamaan) antar saluran yang diamankan atau tidak.

Gambar 10 memperlihatkan grafik koordinasi rele jarak saat gangguan di 50% saluran Ampenan – Jeranjang *setting* penelitian, rele yang bekerja adalah rele di Ampenan dan rele di Jeranjang daerah proteksi zone satu tanpa waktu tunda (*instantaneous*). Jika kedua rele tersebut

gagal bekerja, maka rele yang akan bekerja adalah rele di Sengkol daerah proteksi zone dua dengan waktu 0,8 detik.

Gambar 11 memperlihatkan grafik koordinasi rele jarak saat gangguan di 50% saluran Ampenan – Jeranjang *setting* PLN, rele yang bekerja adalah rele di Ampenan dan rele di Jeranjang daerah proteksi zone satu tanpa waktu tunda (*instantaneous*). Jika kedua rele tersebut gagal bekerja, maka rele yang akan bekerja adalah rele di Sengkol daerah proteksi zone dua dengan waktu 0,4 detik. Apabila rele tersebut mengalami kegagalan, maka rele yang bekerja adalah rele di Paokmotong daerah proteksi zone tiga dengan waktu 1,6 detik.

PENUTUP

Kesimpulan.

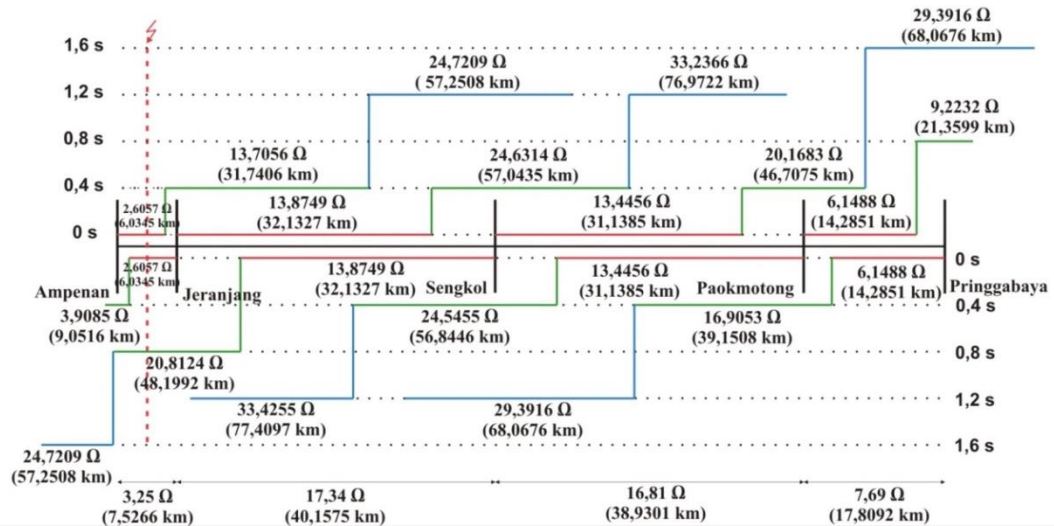
Berdasarkan hasil penelitian dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil perhitungan *setting* rele jarak di Ampenan untuk memproteksi saluran Ampenan - Jeranjang dengan impedansi saluran 3,25 Ω (7,543 km) dapat di *setting* dengan $Z_{1pri} = 2,6057 \Omega$ (6,0345 km), $t_1 = 0$ detik; $Z_{2pri} = 13,7056 \Omega$ (31,7406 km), $t_2 = 0,4$ detik; $Z_{3pri} = 24,7209 \Omega$ (57,2508 km), $t_3 = 1,2$ detik.
2. Koordinasi diantara rele proteksi telah sesuai yang diharapkan karena tidak terjadi *overlap* diantara rele proteksi. Pada gangguan di 50% saluran Ampenan –

Jeranjang, maka rele yang bekerja adalah rele di Ampenan dan rele di Jeranjang daerah proteksi zone satu tanpa waktu tunda (*instantaneous*). Jika kedua rele tersebut gagal bekerja, maka rele yang akan bekerja adalah rele di Sengkol daerah proteksi zone dua dengan waktu 0,4 detik. Apabila rele tersebut mengalami kegagalan, maka rele yang bekerja adalah

rele di Paokmotong daerah proteksi zone tiga dengan waktu 1,6 detik.

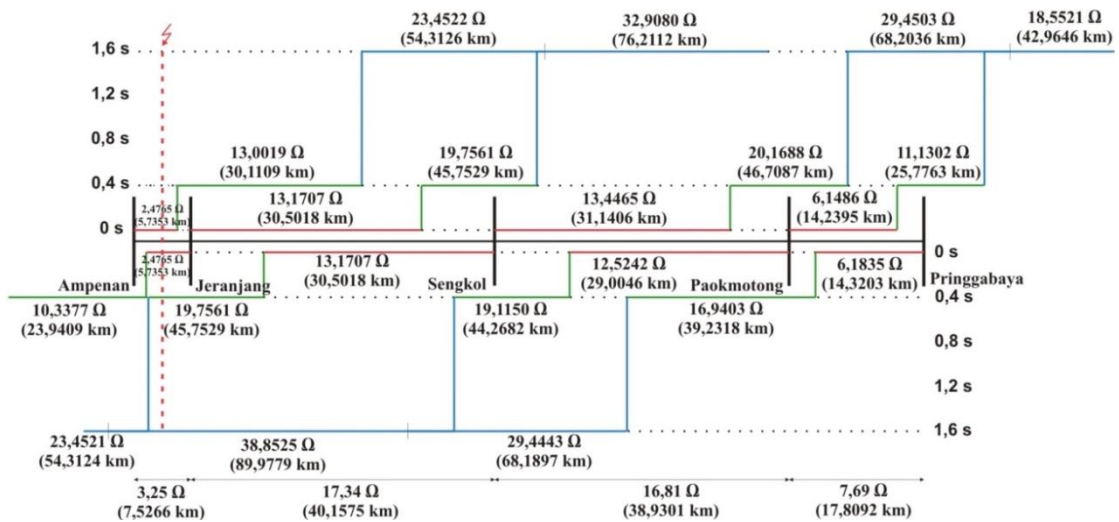
3. Berdasarkan perhitungan pengaruh faktor *infeed* akibat adanya pembangkit di ujung saluran maka perlu adanya perubahan *setting zone* 3 rele jarak di Pringgabaya proteksi Paokmotong dari $Z_{3pri} = 29,3916 \Omega$ menjadi $Z_{3pri} = 62,1168 \Omega$.



Keterangan :

- : Jangkauan impedansi zone 1
- : Jangkauan impedansi zone 2
- : Jangkauan impedansi zone 3

Gambar 10 Koordinasi rele jarak saat gangguan di 50% saluran Ampenan – Jeranjang *setting* penelitian.



Keterangan :

- : Jangkauan impedansi zone 1
- : Jangkauan impedansi zone 2
- : Jangkauan impedansi zone 3

Gambar 11 Koordinasi rele jarak saat gangguan di 50% saluran Ampenan – Jeranjang *setting* PLN

DAFTAR PUSTAKA

- Aljufri, T.R., 2011, *Scanning dan Resetting Distance Relay Pada Penghantar 150 kV Kudus Arah Jekulo*, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Semarang.
- Elmore. W.A., 1994, *Protective Relaying Theory and Applications*, ABB Power T&D Company Inc. Relay Division Coral Springs, Florida.
- Gonen, T., 1988, *Modern Power System Analysis*, California State University, New York
- Stevenson Jr. WD., 1985, *Analisa Sistem Tenaga Listrik*, Eirlangga, Jakarta.
- Supriyatna, 2014, *Proteksi Sistem Tenaga Listrik*, ppt, Jurusan Teknik Elektro Universitas Mataram.
- Tim Dikpro Proteksi, 2010, *Materi Diklat Proteksi*, Pusat Pendidikan & Pelatihan PT. PLN (Persero).
- Tim Proteksi APDP Mataram, 2014, *Data Saluran Udara Tegangan Tinggi*, PT. PLN (Persero) APDP Mataram.