

# ANALISIS RE-SETTING DISTANCE RELAY MENGUNAKAN METODE ARTIFICIAL NEURAL NETWORK PADA SALURAN TRANSMISI SISTEM 150 KV GARDU INDUK BANGIL – GARDU INDUK PIER

Wibisono Adi Prasetyo<sup>1</sup>, Karel A Karim Mewal<sup>1</sup>, Roni Sianturi<sup>1</sup>, I Made Mataram<sup>2</sup>,  
Cok. Gede Indra Partha<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

<sup>2</sup>Dosen Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana,  
Alamat Universitas, Jl. Raya Kampus Unud, Jimbaran, Kec. Kuta Sel., Kabupaten Badung, Bali  
[wibisono.2000.adi@gmail.com](mailto:wibisono.2000.adi@gmail.com)

## ABSTRAK

Hasil pengukuran impedansi penghantar pada Gardu Induk Bangil - Gardu Induk PIER menggunakan alat Omicron CPC100 menunjukkan perbedaan hasil dengan nilai impedansi spesifikasi pabrik yang melebihi batas toleransi sebesar 5% terhadap hasil pengujian. *Re-setting distance relay* diperlukan agar *relay* mampu mengamankan saluran transmisi dengan tepat. Penelitian ini menggunakan model *Artificial Neural Network* untuk melakukan *re-setting distance relay*. *Re-setting* yang dilakukan dengan bantuan *software* Analisis Berbasis Pemodelan dan Visualisasi menunjukkan bahwa *relay* bekerja dengan sangat baik dalam merespon gangguan tanpa adanya jangkauan *relay* yang saling *overlapping*. Hasil perhitungan menggunakan ANN menunjukkan tingkat akurasi yang sangat tinggi sebesar 99,88% dan tingkat *error* sebesar 0,00113. Indikator analisis data lain yang digunakan menghasilkan nilai sebagai berikut : MSE = 0,00002, RMSE = 0,0047, MAD = 0,00361, dan MAPE = 0,163% yang menunjukkan bahwa model *Neural Network* yang telah dibuat layak untuk digunakan.

**Kata kunci:** *Re-setting distance relay*, *Relay Jarak*, *Artificial Neural Network*, Impedansi.

## ABSTRACT

*The results of conducting impedance measurements at the Bangil - PIER Substation using the Omicron CPC100 tool show the difference in the results with the factory specification impedance value which exceeds the tolerance limit of 5% of the test results. Re-setting the distance relay is needed so that the relay is able to properly secure the transmission line. In this study, the Artificial Neural Network model was used to re-setting the distance relay. Re-setting was carried out using Analysis Software Based on Modeling and Visualization showed that the relay worked very well in responding to disturbances without overlapping it ranges. The results of calculation using ANN showing a very high level of accuracy of 99.88% and an error rate of 0.00113. Other data analysis indicators used produce the following values: MSE = 0,00002, RMSE = 0,0047, MAD = 0,00361, and MAPE = 0,163% which indicates that the Neural Network model that has been made is feasible to use.*

**Keywords:** *Re-setting distance relay*, *Distance Relay*, *Artificial Neural Network*, *Impedance*.

## 1. PENDAHULUAN

Listrik merupakan sumber energi utama yang banyak dimanfaatkan untuk menunjang aktifitas manusia [1]. Negara berkembang seperti Indonesia, mengandalkan listrik sebagai komoditi utama yang digunakan untuk meningkatkan perekonomian. Selain digunakan sebagai sumber penerangan oleh masyarakat luas, listrik juga merupakan sumber energi utama bagi sektor industri. Bertambahnya jumlah

penduduk, pertumbuhan ekonomi, dan berkembangnya sektor industri turut membawa konsekuensi meningkatnya kebutuhan energi listrik dari tahun ke tahun. Pemerintah mencatat konsumsi listrik meningkat mencapai 1.109 kwh per kapita di kuartal III 2021 per September 2021. Angka ini mencapai 92,2 persen dari target yang ditetapkan pemerintah yakni 1.203 kwh per kapita.

Gangguan dan kerusakan saluran transmisi listrik merupakan salah satu kendala utama sebuah perusahaan penyedia energi dalam menjalankan pengoperasian sistem ketenagalistrikan. Saluran transmisi merupakan media yang digunakan untuk menyalurkan atau mentransmisikan tenaga listrik dari generator station/pembangkit menuju ke saluran distribusi untuk dialirkan ke konsumen listrik secara merata oleh distribution station. Keandalan saluran transmisi sebagai bagian utama dalam sistem tenaga listrik berperan penting agar listrik dapat tersalurkan dari sumber pembangkit menuju saluran distribusi. Salah satu gangguan yang sering terjadi pada saluran transmisi adalah gangguan hubung singkat. Gangguan hubung singkat merupakan suatu gangguan yang terjadi karena penghantar berarus terhubung dengan penghantar lain atau dengan tanah (ground). Gangguan hubung singkat biasanya terjadi karena kerusakan isolasi pada penghantar. Bila gangguan hubung singkat dibiarkan dalam jangka waktu yang lama maka dapat mengakibatkan berbagai macam kerusakan seperti:

1. Berkurangnya kestabilan sistem daya dalam suatu sistem tenaga listrik
2. Rusaknya peralatan listrik disekitar lokasi gangguan karena arus yang tidak seimbang
3. Ledakan bisa saja terjadi pada peralatan yang mengandung minyak isolasi. Hal ini dapat membahayakan petugas yang menangani gangguan tersebut dan merusak peralatan lain.
4. Terganggunya sistem pelayanan tenaga listrik diakibatkan oleh tindakan keamanan yang dilakukan akibat gangguan yang terjadi. Kasus yang terparah dapat dilakukan lokalisir selama beberapa waktu.

Sistem pengamanan yang mumpuni dapat mengurangi resiko dari gangguan hubung singkat. Tandililing dkk. (2018), melakukan sebuah studi analisis gangguan hubung singkat untuk *setting distance relay* pada saluran transmisi 70 kV[6]. Penelitian ini menunjukkan bahwa jarak lokasi gangguan berpengaruh terhadap besar kecilnya arus gangguan. Penelitian yang dilakukan R. Sudrajat, S. Saodah, and Waluyo mengenai analisis penelaan *distance relay* sebagai proteksi utama pada saluran udara tegangan tinggi 150 kV Bandung Selatan – Cigereleng yang

dilakukan secara manual[4]. Hasil penelitian menunjukkan penelaan *setting distance relay* akibat gangguan tiga fasa, arus hubung singkat, dan gangguan fasa ke tanah. Penelitian tersebut tidak dijelaskan proses pengambilan dan pengujian elemen (impedansi penghantar) atau parameter *input setting distance relay*. Penelitian lain dilakukan oleh S. Nikolovski and D. Prhal. mengenai *numerical simulation of distance protection on three terminal high voltage transmission lines* yang dilakukan menggunakan *software* DIGSILENT *power factory* dengan hasil yang cukup tepat [3]. *Software* ini dapat digunakan untuk memeriksa koordinasi *distance relay* antar jaringan dan menganalisis diagram r-x yang disimulasikan untuk berbagai jenis gangguan. Sebuah simulasi dilakukan untuk melihat apakah seluruh sistem cukup terlindungi oleh hasil perhitungan dan simulasi.

Penelitian ini juga membahas tentang pengaruh perubahan impedansi penghantar terhadap *setting distance relay*. Penelitian ini menganalisis bagaimana pengukuran impedansi penghantar yang digunakan sebagai parameter *setting distance relay*. Pengukuran impedansi saluran ini menggunakan alat uji Omicron CPC100 dan memperoleh nilai impedansi urutan positif sebesar 0,934 Ohm, impedansi karakteristik sebesar 2,535 Ohm, dan kalkulasi impedansi karakteristik sebesar 2,528 Ohm. Nilai impedansi hasil pengujian akan dibandingkan dengan nilai impedansi spesifikasi pabrik setelah dilakukan pengujian dengan batas toleransi sebesar 5% teperhadap hasil pengujian.

Kesalahan dalam melakukan *setting distance relay* akan berpengaruh terhadap penanganan gangguan dan adanya kecelakaan kerja. Metode ataupun model algoritma yang tepat dibutuhkan agar mampu melakukan *setting distance relay* secara akurat dan otomatis. Peneliti mengusulkan model *Neural Network* yang digunakan untuk melakukan *setting distance relay* pada penelitian ini. *Artificial Neural Network* akan dibandingkan dengan simulasi menggunakan *software* Analisis Berbasis Pemodelan dan Visualisasi untuk mengetahui tingkat keakuratan model yang telah dibuat.

## 2. Setting Zona Terproteksi

### 2.1. Distance Relay

*Distance relay* mengukur tegangan pada titik *relay* dan arus gangguan yang terlihat dari *relay*, dengan membagi besaran tegangan dan arus, maka impedansi sampai titik terjadinya gangguan dapat ditentukan. Perhitungan impedansi pada penghantar dapat dihitung menggunakan rumus pada persamaan berikut:

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

Dimana:

$Z_f$  = Impedansi gangguan (*Ohm*),

$V_f$  = Tegangan gangguan (*Volt*),

$I_f$  = Arus gangguan (*Amp*).

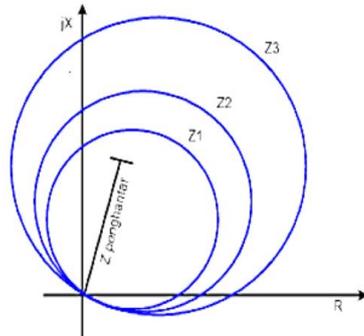
## 2.2. Karakteristik *Distance Relay*

Karakteristik *distance relay* dibagi menjadi dua yaitu mho (aliran listrik) dan *quadrilateral*.

### 1. Ciri-ciri Mho (aliran listrik)

a. Titik pusatnya bergeser sehingga mempunyai sifat *directional*. Mempunyai keterbatasan untuk mengantisipasi gangguan tanah *high resistance*. Gangguan *high resistance* akan menambah nilai  $R_f$  (tahanan gangguan) sehingga *relay* akan bekerja di luar *zone* proteksinya (gangguan yang berada di *zone-1* namun karena bersifat resistif sehingga *relay* membacanya sebagai *zone-2*), begitu pula jika terdapat jenis gangguan kapasitif maupun Induktif. Gangguan akan menambah nilai  $X_f$  (*reaktansi* kapasitif atau Induktif gangguan) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1 dibawah ini, sehingga akan bekerja di luar *zone* proteksinya.

b. Bekerja digunakan sebagai karakteristik fasa – fasa



Gambar 1 Karakteristik Mho

### 2. Ciri-ciri *Quadrilateral*

- Karakteristik *quadrilateral* merupakan kombinasi dari 3 macam komponen yaitu: *reaktansi*, berarah dan resistif.
- Jika seting jangkauan resistif cukup besar maka karakteristik *relay quadrilateral* dapat mengantisipasi gangguan tanah dengan tahanan tinggi (*high resistance*) dan batasan jangkauan resistif kurang dari 50 % impedansi beban.
- Umumnya pada *relay* elektromekanik dan statis kecepatan *relay* dengan karakteristik *quadrilateral* lebih lambat dari jenis mho. *Relay* numerik yang telah menggunakan digital sinyal *microprocessor* (DSP) kecepatan antara karakteristik mho dan *quadrilateral* relatif sama.
- Bisa digunakan untuk karakteristik gangguan fasa – fasa dan fasa-tanah.

## 2.3. Alat Uji Impedansi CPC 100

Omicron CPC100 merupakan perangkat pengujian yang cukup lengkap untuk melakukan pengujian transformator arus. Omicron CPC100 juga dapat melakukan pengujian transformator tenaga, sistem pentanahan (*grounding*), pengujian tegangan tinggi (HV), pengujian GIS dan *circuit breaker* [2].



Gambar 2 Alat Uji Impedansi CPC100 [2]

Omicron CPC100 ditunjukkan pada gambar 2, alat ini dapat menginjeksikan arus hingga 2000 A, dan tegangan hingga 12 kV. Alat ini sangat ideal untuk melakukan pengujian karena memiliki fitur yang cukup lengkap dan sangat *portable*.

## 2.4. Impedansi Saluran Masing-Masing Zona

Peneliti perlu melakukan perhitungan faktor kompensasi residual atau *kZn Res Comp* sebelum melakukan *setting* impedansi pada masing-masing *zone*. Faktor kompensasi residual dapat diterapkan secara khusus ke *zone* tertentu

jika diperlukan. Besaran ini berguna ketika karakteristik impedansi saluran berubah saat sirkuit *hybrid* digunakan. Dalam penelitian ini karakteristik impedansi saluran tidak berubah maka dari itu faktor *kZn* umum dapat diterapkan untuk masing-masing *zone*.

$$kZn \text{ Res Comp } |kZn| = \frac{|Z_2 - Z_1|}{3Z_1} \quad (2)$$

Z adalah nilai masing-masing zona setiap saluran. Langkah selanjutnya setelah menemukan nilai *kZn Res Comp* maka adalah menghitung nilai *setting* masing-masing *zone*. Menghitung masing-masing *zone* untuk menentukan jarak jangkauan gangguan.

1.) *Load Avoidance*

Dalam praktiknya, pengaturan *relay* harus memungkinkan tingkat kelebihan muatan, biasanya maksimal arus IFLC adalah 120% yang berlaku pada sistem saluran transmisi. Juga, untuk jalur sirkuit ganda selama waktu mati *auto-reclose* dari gangguan pada sirkuit yang berdekatan, dua kali tingkat arus ini dapat mengalir pada saluran yang sehat untuk waktu yang singkat. Impedansi *blinder* perlu diatur, untuk menghindari beban berlebih sebagai berikut:

$$Z < \text{blinder} = \frac{115}{\sqrt{3}} : (IFLC \times 3) \quad (3)$$

IFLC atau nilai arus *full load* (beban penuh) pada Gardu Induk Bangil - PIER adalah sebesar 1620 A. Maka :

$$Z < \text{blinder} = \frac{115}{\sqrt{3}} : (1620 \times 3)$$

$$Z < \text{blinder} = 0,0136 \text{ Ohm}$$

2.) *Setting Zone*

*Software Microsoft excel* digunakan untuk mempercepat perhitungan manual. Program ini menggunakan formula sederhana untuk melakukan perhitungan manual. Berdasarkan data *input* seperti ada Tabel 1 dengan variabel impedansi saluran, panjang saluran, sudut impedansi, dan rasio CT dan PT. Berikut adalah formula masing-masing *zone* yang digunakan dalam perhitungan manual menggunakan formula *Microsoft excel*

a. *Zone 1*

Jangkauan *Zone 1* yang diperlukan adalah 80% dari impedansi saluran antara Gardu Induk Bangil - Gardu Induk PIER. Jangkauan *zone 1 phase* dan *Zone 1 ground* ditetapkan 80%. *Relay* akan secara otomatis menghitung jangkauan

impedansi yang diperlukan, maka nilai *zone 1*:

$$Z1 = 0,8 \times L \times ZL1 \times \text{rasio} \frac{CT}{PT} \quad (4)$$

b. *Zone 2*

Impedansi *zone 2* yang diperlukan adalah saluran Gardu Induk Bangil – PIER ditambah 50% saluran Gardu Induk PIER - Gondongwetan, maka nilai jangkauan *zone 2* adalah

$$Z2 = (L1 + (50\% \times L2)) \times ZL1 \times \text{rasio} \frac{CT}{PT} \quad (5)$$

Alternatifnya, dalam mode pengaturan sederhana, jangkauan ini dapat diatur sebagai persentase dari garis terlindung.

c. *Zone 3*

Nilai jangkauan *zone 3* yang diperlukan adalah total dari jangkauan saluran Gardu Induk Bangil – PIER ditambah Gardu Induk PIER - Gondongwetan dikali dengan nilai *maksimum* 120%.

$$Z3 = (L1 + L2) \times ZL1 \times \text{rasio} \frac{CT}{PT} \times 1,2 \quad (6)$$

Alternatifnya, dalam mode pengaturan sederhana, jangkauan ini dapat diatur sebagai persentase dari garis terlindung.

d. *Zone-3 Reverse*

Setelan *zone-3 reverse* atau *zone 4* (arah belakang) dipakai untuk membackup proteksi busbar. Setelan *zone-3 reverse* adalah 10% dari impedansi *line* terkecil atau saluran 1. *Relay* jarak yang tidak mempunyai *range* sampai dengan 10% dipilih *setting* minimum. *Setting zone 4 reverse* dengan skema *POR* dan *BLOCKING* di mana *zone 4* digunakan untuk memberikan keputusan arah terbalik untuk pemblokiran atau permisif skema penjangkauan. Sebagai *relay* jarak jauh, jangkauan *zone-3 reverse* harus lebih jauh dari pada jangkauan *zone-2*.

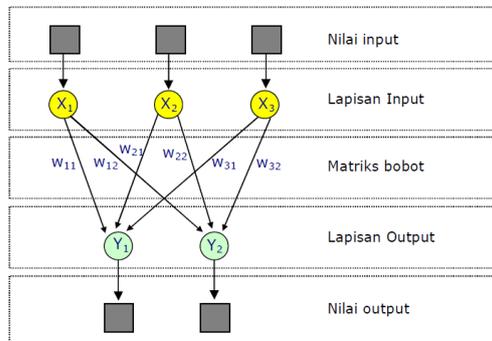
$$Z3 - \text{reverse} = 10\% \times ZL1 \quad (7)$$

2.5. *Nerual Network*

Penelitian ini menggunakan algoritma *Artificial Neural Network* untuk memprediksi jenis gangguan hubung singkat pada saluran transmisi. Disebut ANN (*Artificial Neural Network*) karena algoritma ini meniru prinsip kerja jaringan syaraf manusia dalam prinsip kerjanya. Lapisan-lapisan penyusun ANN dibagi menjadi 3, yaitu lapisan *input* (*input layer*), lapisan tersembunyi (*hidden*

layer), dan lapisan *output* (*output layer*) [5]. *Artificial Neural Network* atau *Artificial Neural Network* menawarkan keakuratan yang tinggi dalam prediksi klasifikasi. Setiap lapisan bertanggung jawab untuk melakukan fungsi yang sama berdasarkan *input* sebelumnya.

Nantinya, pola tersebut yang akan dijadikan sebagai acuan untuk memprediksi *output* berdasarkan *input* yang diberikan. Algoritma yang lazim digunakan adalah algoritma klasifikasi. *Classification* atau klasifikasi berarti proses memprediksi *output* atau kategori data dengan memanfaatkan nilai data yang ada. Data akan dikelompokkan dan di proses untuk mempelajari pola yang telah dibuat.



Gambar 3. Struktur dasar *Neural Network*

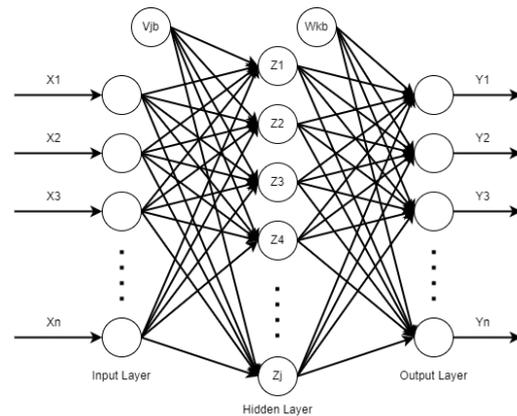
Gambar 3. adalah skema dasar dari struktur *Neural Network* yang terdiri dari *input layer*, *hidden layer*, dan *output layer*. Sistem kerja *Neural Network* bergantung pada tiga hal utama yaitu: pola hubungan antar *neuron*, metode untuk menentukan bobot penghubung (*training learning*), dan fungsi aktivasi.

1. Hubungan Antara *Neuron*  
Hubungan antara *neuron* direpresentasikan sebagai *input* yang berisi berbagai macam informasi yang diperlukan oleh model *Neural Network* untuk menyelesaikan masalah.
2. *Training learning*  
Disini terjadi proses komputasi dimana informasi diolah untuk menemukan pola dari data yang telah diinputkan. Proses ini terjadi di *hidden layer* dimana bobot (*input*) yang sedang diolah akan diperbarui secara terus menerus hingga salah satu dari jumlah iterasi, *error* dan waktu proses telah tercapai. Hal ini dilakukan guna menyesuaikan struktur model *Neural Network* terhadap pola yang diinginkan berdasarkan masalah tertentu yang akan dipecahkan.

3. Fungsi Aktivasi  
Fungsi aktivasi merupakan fungsi yang digunakan pada jaringan syaraf untuk mengaktifkan atau tidak mengaktifkan *input* pada *neuron*. Fungsi aktivasi akan melakukan perhitungan terhadap *input* dan bobot yang akan dikeluarkan pada *layer output*.

Penelitian ini menggunakan metode algoritma *Backpropagation* yang merupakan algoritma pembelajaran yang terawasi dan biasanya digunakan oleh *perceptron* dengan banyak lapisan untuk mengubah bobot- bobot yang terhubung dengan *neuron-neuron* yang ada pada lapisan tersembunyinya. Algoritma *Backpropagation* menggunakan *error output* untuk mengubah nilai bobot- bobotnya dalam arah mundur (*backward*). Untuk mendapatkan *error* ini, tahap perambatan maju (*feedforward*) harus dikerjakan terlebih dahulu.

Arsitektur algoritma ini memiliki beberapa unit yang ada dalam satu atau lebih *hidden layer*.



Gambar 4. Arsitektur *Backpropagation*

Gambar 4. adalah arsitektur *Backpropagation* dengan n buah masukan (termasuk sebuah bias), sebuah *hidden layer* yang terdiri dari p unit (termasuk satu bias), serta m unit *output*.

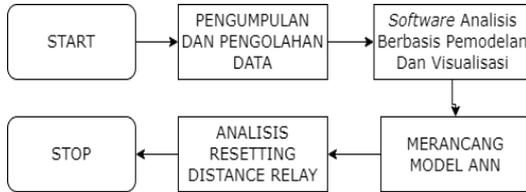
$V_{ij}$  merupakan bobot garis dari unit masukan  $x_i$  ke unit layer tersembunyi  $z_j$  ( $V_{j0}$  merupakan bobot garis yang menghubungkan bias di unit masukan ke unit layer tersembunyi  $z_j$ ).  $w_{kj}$  merupakan bobot dari unit layer tersembunyi  $z_j$  ke unit *output*  $y_k$ .

### 3. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di Gardu Induk Bangil - Gardu Induk PIER Unit Induk

Transmisi Jawa Bali Madura PLN pada bulan September 2022:

Adapun langkah – langkah yang dilakukan untuk menyelesaikan masalah penelitian disusun dalam diagram alir pada Gambar 5.



Gambar 5. Diagram alir penelitian

Penjelasan Gambar 5. dijabarkan pada langkah – langkah di bawah ini:

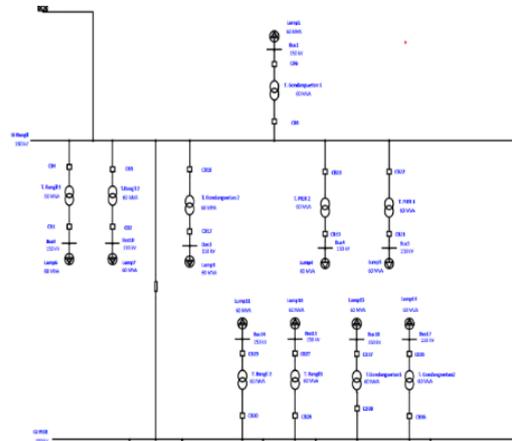
1. Pengumpulan dan Pengolahan Data  
 Akuisisi data atau pengumpulan data adalah serangkaian proses pengukuran, pengumpulan, dan validasi data yang dibutuhkan dalam memecahkan sebuah masalah. Pengumpulan dan pengukuran data dilakukan dengan menguji impedansi saluran pada saluran Gardu Induk Bangil – Gardu Induk PIER dengan menggunakan alat uji OMICRON CPC 100. Pengukuran dilakukan di area PT. PLN (Persero) Gardu Induk PIER – Gardu Induk Bangil, Provinsi Jawa Timur pada tanggal 01 Oktober Sampai 20 Oktober untuk mengetahui kondisi dan situasi sistem transmisi jaringan listrik di Unit Induk Transmisi Jawa Bali dan Madura (UIT JBM).

Tabel 1. Data Penghantar Gardu Induk Bangil – gardu Induk PIER

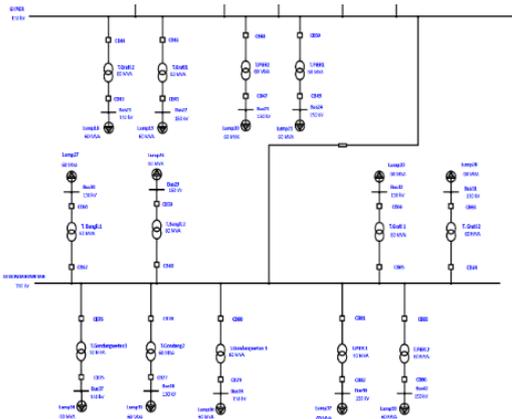
No	Nama	GI bangil – PIER	GI PIER – Gondongwetan
1	Jenis Penghantar	OHL-150kV-ZEBRA 2X484.5mm (1620A)	OHL-150kV-ZEBRA 2X484.5mm (1620A)
2	Impedansi Saluran (Ohm/km)	1,4593	3,0789
3	Panjang Saluran (Km)	5,15	10,87
4	Rasio CT	200	400
5	Rasio PT	1363,6364	1363,6364
6	Sudut Impedansi ( $\theta$ )	82,1503°	82,1504°

2. Melakukan Simulasi *Software Analisis Berbasis Pemodelan dan Visualisasi*  
 Tahap selanjutnya adalah melakukan simulasi menggunakan *software Analisis Berbasis Pemodelan dan*

Visualisasi untuk *setting distance relay* menggunakan *variabel - variabel inputan* pada Gardu Induk Bangil – gardu Induk PIER – Gardu Induk Gondangwetan. Gambar 6 dan 7 adalah *Single Line Diagram* dari Gardu Induk tersebut.



Gambar 6. SLD Gardu Induk Bangil – Gardu Induk PIER



Gambar 7. SLD Gardu Induk PIER – Gardu Induk Gondangwetan

3. Merancang Model *Neural Network*  
 Model ANN digunakan untuk melakukan perhitungan *inputan distance relay* secara otomatis. Data yang digunakan akan diolah sehingga menghasilkan sebuah pola yang dapat digunakan untuk menentukan hasil nilai *inputan distance relay* secara otomatis dan efisien, lalu data perhitungan dari model ANN akan dibandingkan dengan data yang diperoleh dari data perhitungan manual.

Data yang digunakan didalam model ANN menggunakan perhitungan 75:25 atau dengan 80:20, dengan keterangan sebagai berikut 75% / 80% data digunakan sebagai data

*training* dan 25% / 20% digunakan sebagai data *testing*. Penggunaan perhitungan tersebut sudah se lazimnya untuk membuat model *Neural Network* yang efektif dan optimal.

4. Analisis *Re-setting distance relay*  
 Analisis *re-setting distance relay* mengikuti langkah-langkah sebagai berikut:
  - a. Mencari akurasi model *Neural Network*.
  - b. Membandingkan nilai pengukuran *inputan distance relay* menggunakan *Neural Network* dengan nilai *inputan distance relay* yang dilakukan menggunakan perhitungan manual.
  - c. Mencari *mean square error* antara model *Neural Network* dan perhitungan manual.
  - d. Menganalisis kinerja *relay* setelah diberikan *inputan relay*.
  - e. Menganalisis pengaruh variabel *inputan setting relay* terhadap kinerja *relay*.
5. Analisis Performansi Model  
 Pengujian performansi model diperlukan untuk menguji keakuratan antara data perhitungan manual dan perhitungan menggunakan *Neural Network*. Beberapa kategori analisis data yang digunakan diantaranya *mean absolute deviation* (MAD), *mean absolute percentage error* (MAPE), *mean square error* (MSE), dan *root mean square error* (RMSE).

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### 4.1. Analisis Simulasi Analisis Berbasis Pemodelan dan Visualisasi

Berdasarkan simulasi kerja yang telah dilakukan pada *software* Analisis Berbasis Pemodelan dan Visualisasi, *re-setting distance relay* pada Gardu Induk PIER – Bangil karena adanya perubahan nilai impedansi bekerja dengan sangat baik. Koordinasi semua *relay* pada kondisi *eksisting* maupun *re-setting* sudah benar ditandai dengan tidak adanya jangkauan *relay* yang saling *overlapping*.

Hasil simulasi menunjukkan *relay* yang bekerja ketika gangguan diletakkan pada *zone-1* yang menjangkau 80% panjang saluran. Begitupun *relay* mendeteksi adanya gangguan yang mengakibatkan perbedaan impedansi sehingga *relay* memberikan komando (koordinasi) terhadap *switch* selanjutnya untuk memutuskan arus lebih yang menjadi penyebab gangguan. Berdasarkan pada *setting* yang telah dilakukan *relay* melakukan *trip* untuk pengamanan yang ditunjukkan tanda silang hijau.

##### 4.2. Hasil Perhitungan Manual

Dalam menentukan nilai *setting relay* jarak diperlukan beberapa besaran *inputan* yaitu impedansi saluran, panjang saluran, rasio transformator arus (CT), dan transformator tegangan (PT). Berdasarkan data *inputan* yang telah disebutkan pada tabel 1, maka untuk melakukan *setting relay* jarak di perlukan analisa sistem tenaga.

Dengan *software* Microsoft Excel untuk mempermudah perhitungan manual menggunakan variabel impedansi saluran (ZL), panjang saluran (L), sudut impedansi, dan rasio CT/PT. Menghasilkan nilai yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Perhitungan *Setting Impedansi Masing – Masing Zona Terproteksi*

Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4
0,8818	2,2655	4,1145	0,1459

##### 4.3. Hasil Nilai *Setting Relay* menggunakan *Artificial Neural Network*

Pembuatan model *Artificial Neural Network* dilakukan dengan proses pengolahan dataset berupa penskalaan (normalisasi data), inialisasi jaringan, inialisasi bobot, proses pelatihan *Backpropagation*, analisis hasil prediksi, dan nilai kerja. Pengolahan dan analisa yang dilakukan menggunakan dataset dari Gardu Induk yang diteliti dengan mengembangkan variabel titik gangguan yang terjadi. Sampel data yang didapatkan melalui perhitungan manual ditunjukkan pada Tabel 3 data tersebut digunakan untuk *training* dan *testing* model *artificial Neural Network*.

Tabel 3. Data *Training dan Testing*

Sampel Data <i>Training dan Testing</i>												
TG %	5	10	15	20	35	40	45	50	85	90	95	100
Zone1	0.044	0.088	0.132	0.176	0.309	0.353	0.397	0.441	0.75	0.794	0.838	0.882
Zone2	0.113	0.227	0.34	0.453	0.793	0.906	1.019	1.133	1.926	2.039	2.152	2.266
Zone3	0.206	0.411	0.617	0.823	1.44	1.646	1.852	2.057	3.497	3.703	3.909	4.115
Zone4	0.007	0.015	0.022	0.029	0.051	0.058	0.066	0.073	0.124	0.131	0.139	0.146

Menggunakan dataset pada Tabel 3 yang sudah dilakukan pengembangan titik terjadinya gangguan (TG%) untuk dilakukan normalisasi data. Tabel 4 adalah sampel hasil normalisasi data *output* dari data *training* ataupun *testing*.

Tabel 4. Hasil normalisasi data *output*

Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.04989	0.04989	0.05007	0.04795
0.09977	0.10022	0.09990	0.10274
0.40023	0.40000	0.39985	0.39726
0.45011	0.44989	0.44993	0.45205
0.50000	0.50022	0.50000	0.50000
0.54989	0.55011	0.55007	0.54795
0.89909	0.90022	0.89985	0.89726
0.95011	0.95011	0.94993	0.95205
1.00000	1.00000	1.00000	1.00000

Pelatihan dan pengujian model optimal (arsitektur 6-24-4) yang didapatkan performansi model sebagai berikut.

Tabel 5. Hasil Performansi Model

Arsitektur	Iterasi	Akurasi	Error
6-24-4	1000000	0,99887	0,00113

Berdasarkan Tabel 5. dapat dijelaskan bahwa setelah melakukan iterasi sebanyak 1000000 kali didapatkan nilai akurasi akhir sebesar 0,99887 dan nilai *loss* sebesar 0,00113. Berikut adalah hasil pelatihan dan pengujian dengan arsitektur model 6-24-4 ditunjukkan pada Tabel 6.

**4.4. Analisis Model Neural Network**

Beberapa uji coba yang dilakukan didapatkan model ANN yang sangat optimal, dengan menggunakan arsitektur model 4-24-4. Model *Neural Network* dikatakan bagus ditunjukkan pada Tabel 5. yaitu memiliki akurasi diatas 90% atau mendekati 100% yang artinya nilai prediksi mendekati nilai Aktual. Selain menggunakan fitur *accuracy* terdapat beberapa parameter yang dapat peneliti gunakan dalam analisis perbandingan jaringan syaraf tiruan diantaranya *mean absolute deviation* (MAD), *mean absolute percentage error*

(MAPE), *mean square error* (MSE), dan *root mean square error* (RMSE).

Perhitungan data target (prediksi) dengan model ANN yang sudah dibuat dengan disandingkan dengan data aktual ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Perbandingan data aktual dan prediksi

Data	Perhitungan manual			Neural Network		
	0	96	153	0	96	153
TG	0	96	153	0	96	153
Zone1	0.044	0.838	0.882	0.033	0.838	0.881
Zone2	0.113	2.152	2.226	0.089	2.152	2.261
Zone3	0.206	3.908	4.115	0.159	3.910	4.107
Zone4	0.007	0.139	0.146	0.005	0.139	0.146

Perhitungan dengan model ANN dianalisis menggunakan beberapa parameter diantaranya MAD, MAPE, MSE, dan RMSE. Analisis MAD atau *mean absolute deviation* digunakan untuk menghitung rata-rata kesalahan mutlak atau *absolute* dari peramalan. Hasil asil perhitungan menunjukkan bahwa model memiliki rata-rata kesalahan *absolute* yang relatif kecil sebesar 0,00361. Nilai ini cukup bagus untuk sebuah model *Neural Network*. Semakin nilai MAD mendekati 0 maka semakin bagus model yang dibuat.

MAPE adalah bentuk persen dari MAD, menghasilkan nilai sebesar 0,163% . Sesuai rentang nilai MAD dalam kisaran <10% menunjukkan kemampuan model dalam melakukan prediksi sangat baik.

*Mean square error* digunakan untuk mengecek estimasi berapa nilai kesalahan dalam peramalan atau prediksi. Hasil nilai MSE adalah 0,00002 menunjukkan bahwa rata-rata jarak kesalahan data aktual dan data prediksi adalah sebesar 0,00002. Perbedaan angka ini sangat kecil dan bisa dijadikan untuk perhitungan peramalan di periode mendatang.

Nilai RMSE menunjukkan bahwa variasi nilai yang dihasilkan oleh suatu model peramalan (*Neural Network*) mendekati variasi nilai observasinya. Nilai 0,0047 menunjukkan bahwa hasil prediksi menggunakan model *Neural Network* yang

Tabel 6. Hasil pengujian dengan data *training*

Nilai	Aktual	zone1	0.088	0.132	0.176	0.220	0.265	0.044	0.573	0.705	0.838
		zone2	0.227	0.340	0.453	0.566	0.680	0.113	1.473	1.812	2.152
zone3	0.411	0.617	0.823	1.029	1.234	0.206	2.674	3.292	3.909		
zone4	0.015	0.022	0.029	0.037	0.044	0.007	0.095	0.117	0.139		
Nilai	Prediksi	zone1	0.084	0.121	0.165	0.214	0.264	0.043	0.567	0.710	0.838
		zone2	0.218	0.333	0.425	0.548	0.675	0.109	1.459	1.824	2.152
		zone3	0.404	0.607	0.801	1.095	1.227	0.209	2.648	3.312	3.910
		zone4	0.014	0.020	0.027	0.035	0.044	0.005	0.094	0.117	0.139
<i>loss</i>		0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
MAPE		4.46	5.28	4.31	3.82	0.52	8.87	0.9	0.63	0.5	

telah dibuat mendekati varian nilai dari perhitungan manual.

## 5. KESIMPULAN

Berdasarkan analisa dari hasil perhitungan *setting distance relay* secara manual dan menggunakan *Artificial Neural Network*, dapat disimpulkan:

1. *Setting* impedansi masing-masing *zone* menghasilkan nilai, *zone-1* = 0,882 Ohm, *zone-2* = 2,226, *zone-3* = 4,1154, *zone-4* (*zone-3 reverse*) = 0,1459. Simulasi kerja menggunakan *software* Analisis Berbasis Pemodelan dan Visualisasi dengan *inputan* data dari perhitungan manual diatas bekerja dengan sangat baik. Tidak ada jangkauan *relay* yang saling *overlapping*. Ketika gangguan diberikan pada penghantar (tanda silang merah) melakukan *trip* (tanda silang hijau) PMT untuk memutuskan jaringan.
2. Model *Neural Network* yang digunakan untuk melakukan prediksi *setting zone* memiliki akurasi yang sangat bagus sesuai pada Tabel 5 dengan rata-rata akurasi di atas 90%. Indikator analisis data yang lain memiliki nilai, MAD (*mean absolute deviation*) = 0,00361, MAPE (*mean absolute percentage error*) = 0,163%, MSE (*mean square error*) = 0,00002, RMSE (*root mean square error*) = 0,0047. Berdasarkan nilai hasil dari data prediksi yang didapatkan memiliki model yang baik, mengingat nilai MSE, RMSE, dan MAD mendekati nilai 0, dan tidak melebihi dari 0,1. Nilai MAPE hasil prediksi memiliki kategori kemampuan peramalan model sangat baik dengan rentang 0 – 10%.
3. Keempat indikator analisis data yang telah dijelaskan diatas menunjukkan bahwa model *Neural Network* yang telah dibuat memenuhi kriteria untuk digunakan sebagai prediksi nilai *setting zone* dalam *re-setting distance relay* pada Gardu Induk Bangil - Gardu Induk PIER.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Aditya. A., Oky. A. 2021. "Identifikasi Jenis Gangguan Pada Jaringan Distribusi Menggunakan Metode *Artificial Neural Network*". Jurnal Inovtek Seri Elektro. Vol. 3, no. 1.
- [2] Margianto. R., & Hani. S. 2016. "Pengujian Transformator Arus 150 kV untuk Sistem Proteksi Transformator

Tenaga 3 Gardu Induk Purworejo". Jurnal Elektrikal. Vol. 3, no. 1.

- [3] Nikolovski Srete, Marić Predrag, Prhal Dalibor. 2009. "*Numerical Simulation of Distance Protection on Three Terminal High Voltage Transmission Lines*". International Journal Advanced Engineering. Vol. 3.
- [4] Sudrajat, R., Saodah, S. 2014. "Analisis Penalaan Rele Jarak sebagai Proteksi Utama pada Saluran Udara Tegangan Tinggi 150 kV". Jurnal Reka Elkomika Teknik Elektro. Vol. 2, no.1.
- [5] Sutojo T., (2011). Kecerdasan Buatan. Dian Nuswaranto University.
- [6] Tandililing. B., Petingko. A., Sarjan, M., & Pirade. Y. S. 2018. "Analisis Gangguan Hubung Singkat Untuk Setting distance relay Pada Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 70 kV Antara Gardu Induk Sidera - Gardu Induk Talise". Forum Teknik Elektro dan Teknologi Informasi. Vol. 8, no. 1.