

Koordinasi Proteksi Adaptif Rele Arus Lebih Digital Menggunakan Metoda *Artificial Neural Network* Pada Sistem *Mesh* Dengan Pembangkit Tersebar

Rizky Fadhli Hasben, Margo Pujiantara, Ardyono Priyadi

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

e-mail: margo@ee.its.ac.id, priyadi@ee.its.ac.id,

frizky285@gmail.com,

Abstrak – Pada sistem *mesh* yang terkoneksi dengan pembangkit tersebar (*Distributed Generation*), terdapat kondisi dimana topologi jaringan yang berubah-ubah. Hal tersebut disebabkan oleh waktu operasi dari pembangkit tersebar yang bersifat *temprrary* dan *random*. Kondisi ini dapat dibedakan yaitu terhubung dengan *grid*, terhubung *grid* dan DG1, terhubung *grid* dan DG2, dan terhubung *grid* dengan DG1 dan DG2. Akibat topologi jaringan yang berubah-ubah, menyebabkan peningkatan dan penurunan level arus hubung singkat sehingga seting dan koordinasi proteksi awal menjadi tidak efektif dan efisien lagi terhadap konfigurasi jaringan yang ada. Oleh karena itu dibutuhkan sistem proteksi yang setingnya dapat menyesuaikan dengan topologi jaringan yang berubah-ubah. Pada tugas akhir ini akan dirancang koordinasi sistem proteksi rele yang dapat mengikuti setiap perubahan kondisi pada topologi jaringan tersebut menggunakan metoda *Artificial Neural Network* dengan desain *plant* berbentuk *mesh* yang terhubung dengan *Grid* dan *DG*. Hasil perancangan menunjukkan bahwa penggunaan metoda *Artificial Neural Network* dapat menghasilkan setingan rele yang adaptif mengikuti perubahan topologi sistem. Dan metoda *artificial neural network* juga dapat memprediksi setingan rele pada saat terjadi gangguan yang diluar kondisi yang telah dipelajari dalam data *learning*.

Kata Kunci - *Artificial Neural Network*, Rele Arah Arus Lebih, Sistem Jaringan *Mesh*.

I. PENDAHULUAN

KEBUTUHAN listrik pada suatu negara dipengaruhi oleh perkembangan penduduk di negara tersebut sehingga tanggung jawab dari penyedia sumber energi listrik semakin besar. Maka dibutuhkan trobosan-trobosan terbaru dengan tingkat kehandalan yang lebih baik dalam memenuhi kebutuhan listrik di negara tersebut. Salah satu dari trobosan itu adalah konsep pembangkit tersebar dengan bentuk sistem *mesh*. Pembangkit tersebar (*Distributed Generation*) merupakan gabungan dari pembangkit-pembangkit skala kecil dengan sumber utama dan ditempatkan secara tersebar [1,2]. Jenis pembangkit tersebar dapat berupa *unrenewable* dan *renewable energy* [3] seperti *pv voltage*, *wind turbine* dan *microhidro*. Jaringan *mesh* memiliki load flow yang berbeda dari tipe jaringan lainnya. Sistem *load flow* dapat dicari dengan menggunakan metode *gauss-saidel*, metode *newton-raphson*, dan metode *fast decoupled* seperti yang dijelaskan pada paper [4]. Pada sistem *mesh* juga memiliki skema pada penyetingan proteksi[5].

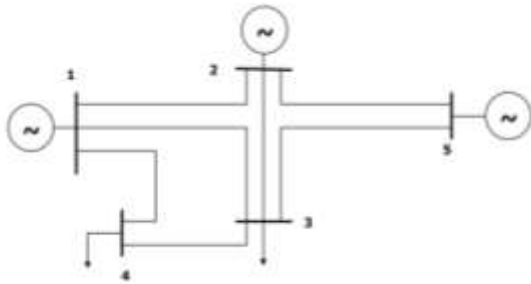
Jaringan listrik utama (*Grid*) dengan pembangkit tersebar pada sistem *mesh* harus mempunyai sistem proteksi yang dapat mengikuti perubahan topologi jaringan [6]. Hal ini disebabkan gabungan antara jaringan listrik utama dengan pembangkit tersebar bisa terhubung dengan *grid* dan *DG* dan juga bisa hanya terhubung dengan *grid* saja. Pada paper [7] telah menjelaskan tentang *islanding protection* dengan menggunakan *DG*, akan tetapi sistem yang digunakan adalah *low voltage*, sementara pada tugas akhir ini akan menggunakan *medium voltage*. Pada kondisi *grid* terhubung dengan *DG*, pembangkit tersebar akan akan terhubung dengan pembangkit utama, sehingga topologi jaringan akan berubah dari kondisi awal. Hal itu mempengaruhi koordinasi proteksi yang telah dikoordinasikan dengan kondisi topologi awal. Ketika topologi sistem berubah dapat menghasilkan peningkatan atau penurunan level arus hubung singkat yang mana bisa berakibat tidak sesuai kinerja koordinasi proteksi awal. Akibat tidak optimalnya koordinasi proteksi dapat menyebabkan meningkatnya kemungkinan kerusakan peralatan, pemadaman listrik, bahkan dapat menyebabkan ledakan jika gangguan terjadi pada daerah dengan potensi bahan yang mudah terbakar. Oleh karena itu dibutuhkan koordinasi proteksi yang sesuai dan dapat mengikuti setiap perubahan topologi jaringan.

Dari permasalahan diatas perlu adanya perancangan sistem adaptif yang dapat mengkoordinasikan setingan rele secara otomatis mengikuti kondisi perubahan status pembangkit tersebar. Koordinasi proteksi ini bisa dapat diterapkan pada rele digital dengan memanfaatkan metode *Artificial Neural Network* [8].

II. TEORI PENUNJANG

A. Sistem Jaringan Distribusi *Mesh*

Sistem jaringan distribusi *mesh* pada gambar 1, merupakan sistem jaringan distribusi yang konfigurasiya memiliki banyak pilihan saluran dan sumber. Akibatnya titik bebannya akan disuplai oleh banyak saluran penyulang dan sumber berbeda, sehingga sistem ini akan memiliki kontinuitas penyaluran tenaga listrik paling andal, akan tetapi memerlukan biaya investasi yang besar.



Gambar 1 Sistem Jaringan Distribusi Mesh

B. Proteksi Dalam Sistem Tenaga Listrik

Proteksi terhadap suatu sistem tenaga listrik adalah sistem pengaman yang dilakukan terhadap peralatan-peralatan listrik, yang terpasang pada sistem tenaga listrik tersebut. Misalnya Generator, Transformator, Jaringan Transmisi/distribusi dan lain-lain terhadap kondisi abnormal dari sistem itu sendiri.

Untuk menjamin keandalan, sebuah rele pengaman harus memenuhi persyaratan sebagai berikut [9]:

- Kecepatan Bereaksi
Kecepatan rele saat mulai ada gangguan sampai pelepasan pemutus (CB)
- Kepekaan Operasi (*Sensitivity*)
Merupakan kemampuan rele pengaman untuk memberikan respon bila merasakan gangguan
- Selektif (*Selectivity*)
Kemampuan rele pengaman untuk menentukan titik dimana gangguan muncul dan memutuskan rangkaian dengan membuka CB terdekat.
- Keandalan (*Reliability*)
Merupakan jumlah rele yang bekerja atau mengamankan terhadap jumlah gangguan yang terjadi. Keandalan proteksi yang baik adalah 90-99%.
- Ekonomis
Penggunaan rele selain memenuhi syarat diatas, juga harus disesuaikan dengan harga peralatan yang diamankan.

C. Rele Arus Lebih

Salah satu jenis rele yang digunakan dalam sistem tenaga listrik sebagai pengaman peralatan adalah rele arus lebih. Rele arus lebih biasa digunakan untuk mengamankan sistem dari gangguan beban lebih (*overload*) dan gangguan hubung singkat (*short circuit*). Sedangkan untuk gangguan satu fasa ketanah dan dua fasa ketanah akan diamankan oleh rele pengaman gangguan ketanah (*ground fault relay*) yang tidak lain adalah pengaman arus lebih yang dilengkapi *zero sequence current filter* [9].

Saat rele membaca adanya arus yang mengalir melebihi arus setingnya maka rele akan mengirim sinyal ke TC untuk memerintahkan CB untuk membuka (*trip*).

$$I_f > I_p \text{ Rele bekerja (trip)}$$

$$I_f < I_p \text{ tidak bekerja (blok)}$$

D. Penyetelan Rele Arus Lebih Invers

Pada rele arus lebih waktu invers memiliki karakteristik semakin besar arus gangguan maka waktu operasi rele semakin cepat. Pada rele arus lebih terdapat dua seting, yaitu seting arus (*tap*) dan seting waktu (*time dial*). Penyetelan *tap* pada rele ditemukan dengan persamaan :

$$Tap = \frac{I_{set}}{CT_{primary}} \tag{1}$$

Penyetelan harus memperhatikan besar arus beban maksimal, yang artinya setelan arus pada waktu invers harus diatas arus beban penuh. Hal ini bertujuan agar saat kondisi pada beban maksimum rele tidak bekerja. *I_{set}* merupakan setingan arus pickup yang dapat diartikan sama dengan arus yang dibaca pada arus primer CT. Berdasarkan Standar British BS-142, penyetelan arus pickup (*I_{set}*) mempunyai batas sebagai berikut :

$$1,05 I_{FLA} < I_{set} < 1,4 I_{FLA} \tag{2}$$

Penyetelan waktu dilakukan dengan penyetingan *time dial*. *Time dial* bertujuan untuk mendapatkan waktu operasi dari rele tersebut. Berdasarkan IEC 255-3, setingan *time dial* didapatkan dari persamaan:

$$t = \frac{k \times T_d}{\left[\left(\frac{I_{max}}{I_{set}} \right)^\alpha - 1 \right]} \tag{3}$$

Dimana :

t = Waktu operasi (detik)

T_d = *Time dial*

I = Nilai arus gangguan (Ampere)

I_{set} = Arus pickup (Ampere)

k = Koefisien invers 1 (Pada Tabel 2.1)

α = Koefisien invers 2 (Pada Tabel 2.1)

Tabel 1.
Koefisien invers *time dial*

Tipe Kurva	Koefisien	
	<i>k</i>	<i>α</i>
<i>Standard Inverse</i>	0,14	0,02
<i>Very Inverse</i>	13,50	1,00
<i>Extremely Inverse</i>	80,00	2,00

E. Penyetelan Rele Arus Lebih Instan

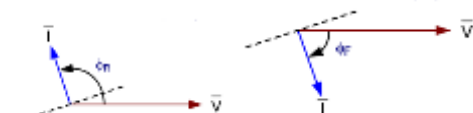
Untuk menentukan setelan pickup (*I_{set}*) instan ini menggunakan arus hubung singkat pembangkitan minimum (*I_{sc min}*) dua fasa. Sehingga *settingan* ditetapkan :

$$1,6 \times I_{FLA} < I_{set} < 0,8 \times I_{sc \ min} \tag{4}$$

F. Rele Arus Lebih Berarah (*Directional Over Current Relay*)

Rele *directional* adalah rele yang digunakan untuk memproteksi jaringan cincin atau jaringan yang terhubung dengan beberapa sumber pembangkit. Rele direksional diperlukan sebab pada jaringan demikian rele arus lebih biasanya tidak bekerja secara selektif.

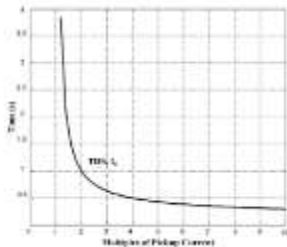
Elemen *directional* bekerja berdasarkan pergeseran fasa antara besar polarisasi dan besar operasinya. Untuk kondisi *forward*, *I lag* terhadap *V* dan untuk kondisi *reverse I lead* terhadap *V*.



Gambar 2 Basic Directional Element Reverse and Forward

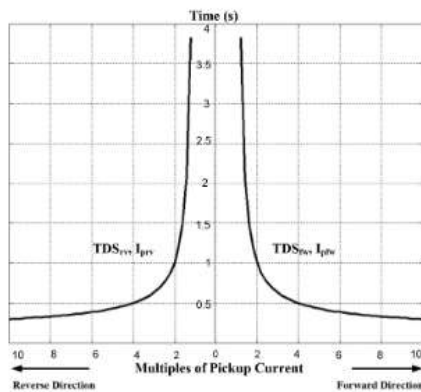
Berdasarkan referensi [10], rele arus lebih berarah dapat diseting dengan satu setingan untuk satu arah (*conventional DOCR*) dan dapat diseting dua setingan dengan dua arah yang berbeda (*dual Settings DOCR*).

Untuk satu setingan pada satu arah, artinya rele arus lebih berarah diseting dengan satu setingan dan satu arah kerja. Arah kerja bisa *forward* (maju) atau *reverse* (mundur). Seperti dapat dilihat pada gambar 4 karakteristik waktu dan arus pada *conventional DOCR*.



Gambar 3 Karakteristik Waktu dan Arus *conventional DOCR*.

Sedangkan untuk dua setingan pada dua arah yang berbeda artinya dalam satu rele direksional dapat dilakukan setingan berbeda dan arah yang juga berbeda. Untuk *forward* memiliki satu setingan tersendiri dan *reverse* juga memiliki setingan sendiri. Seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.15 karakteristik waktu dan arus *dual setting DOCR*.



Gambar 4 Karakteristik Waktu dan Arus pada *Dual Setting DOCR*.

G. Pembangkit Tersebar (*Distributed Generation*)

Istilah *Distributed Generation* sering digunakan untuk menyatakan sebuah pembangkitan listrik skala kecil. Saat ini, belum ada kesepakatan yang dibuat untuk mendefinisikan *Distributed Generation* secara pasti. Beberapa negara mendefinisikan *Distributed Generation* berdasarkan tingkat tegangan, sedangkan negara yang lain mendefinisikan *Distributed Generation* berdasarkan letak pembangkit pada sistem jaringan listrik.

Berdasarkan pengertian-pengertian di atas, *Distributed Generation* (DG) yang akan digunakan pada bab-bab berikutnya adalah unit pembangkit listrik yang terhubung langsung ke jaringan distribusi 20 KV atau di sisi konsumen dengan kapasitas yang relatif kecil (kurang dari 5 MW) [11].

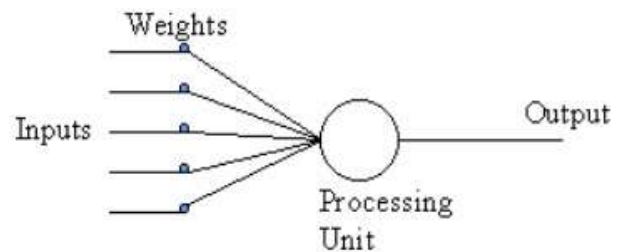
Pada sistem *mesh*, integrasi DG dapat menimbulkan dampak meningkatnya arus gangguan serta mempengaruhi arah dari arus gangguan. Untuk itu penggunaan *directional over current* adalah solusi yang sangat efektif sebagai

pengaman pada sistem *mesh* yang juga terintegrasi dengan DG [10].

H. Artificial Neural Network

Secara umum *Neural Network* (NN) adalah jaringan dari sekelompok unit pemroses kecil yang dimodelkan berdasarkan jaringan syaraf manusia. NN ini merupakan sistem adaptif yang dapat merubah strukturnya untuk memecahkan masalah berdasarkan informasi eksternal maupun internal yang mengalir melalui jaringan tersebut. Secara sederhana NN adalah sebuah alat pemodelan data statistik *non-linear*. NN dapat digunakan untuk memodelkan hubungan yang kompleks antara input dan output untuk menemukan pola-pola data.

Secara mendasar, sistem pembelajaran merupakan proses penambahan pengetahuan pada NN yang sifatnya kontinuitas sehingga pada saat digunakan pengetahuan tersebut akan dieksploitasi secara maksimal dalam mengenali suatu objek. *Neuron* adalah bagian dasar dari pemrosesan suatu *Neural Network*. Bentuk dasar dari suatu *neuron* dapat dilihat seperti gambar 6.



Gambar 5 Bentuk Dasar *Neuron*

Keterangan Gambar 6 adalah sebagai berikut:

- *Input* merupakan masukan yang digunakan baik saat pembelajaran maupun dalam mengenali suatu objek.
- *Weight*, beban yang selalu berubah setiap kali diberikan *input* sebagai proses pembelajaran.
- *Processing Unit* merupakan tempat berlangsungnya proses pengenalan suatu objek berdasarkan pembebanan yang diberikan.
- *Output*, keluaran dari hasil pengenalan suatu objek.

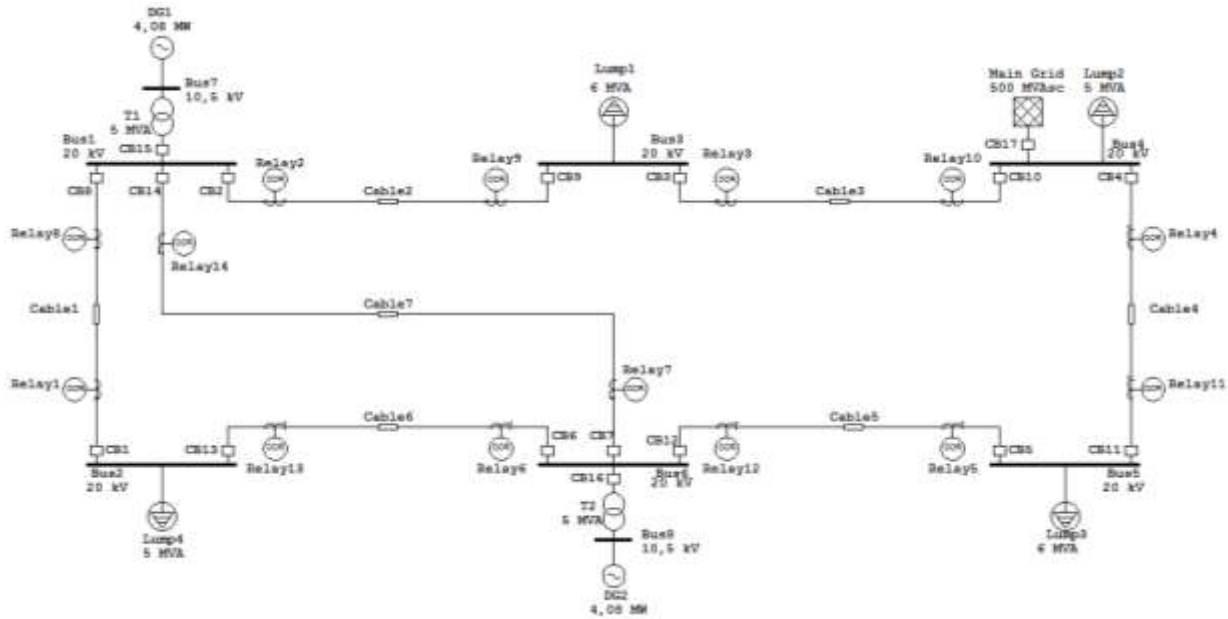
Ada beberapa hal yang harus diperhatikan dalam perancangan *artificial neural network*, yaitu :

- Fungsi aktivaasi pada setiap *hidden layer*
- Arsitektur *network*
- *Learning in neural network*

III. PERANCANGAN SISTEM

A. Data Sistem Distribusi *Mesh*

Simulasi koordinasi proteksi adaptif pada tugas akhir ini menggunakan sistem distribusi *mesh* 8 bus yang terhubung dengan satu sumber pembangkit utama (*grid*) dan dua pembangkit tersebar. Jenis DG yang digunakan yaitu generator sinkron. Tersambung atau terputusnya DG dapat dioperasikan dengan mengatur CB. Single line diagram dapat dilihat pada gambar 7. Adapun spesifikasi *grid* dan DG dapat dilihat pada tabel 3.1 dan tabel 3.2.



Gambar 6 Single Line Diagram Sistem

Adapun spesifikasi *grid* dan DG dapat dilihat pada tabel 3.1 dan tabel 3.2.

Tabel 2 Data Grid

No	Jenis	MVA _{sc}	Rating Tegangan (kV)	Bus
1	Grid	500	20 kV	4

Tabel 3 Data Distributed Generation

No	Jenis	Rating Daya (MW)	Rating Tegangan (kV)	Power Faktor (%)	Bus
1	DG1	4,08	20	85	1
2	DG2	4,08	20	85	4

Tabel 4 Data Beban

No	Beban	Bus	MVA	Tegangan (kV)	Power Faktor (%)
1	Load 1	2	6	20	85
2	Load 2	4	5	20	85
3	Load 3	5	6	20	85
4	Load 4	2	5	20	85

Tabel 5 Data Saluran

Bus	R/kmΩ	X/kmΩ	Jarak (m)
1 - 2	0,128	0,11868	1000
1 - 3	0,128	0,11868	1000
3 - 4	0,128	0,11868	500
4 - 5	0,128	0,11868	500
5 - 6	0,128	0,11868	500
6 - 2	0,128	0,11868	500
6 - 1	0,128	0,11868	1000

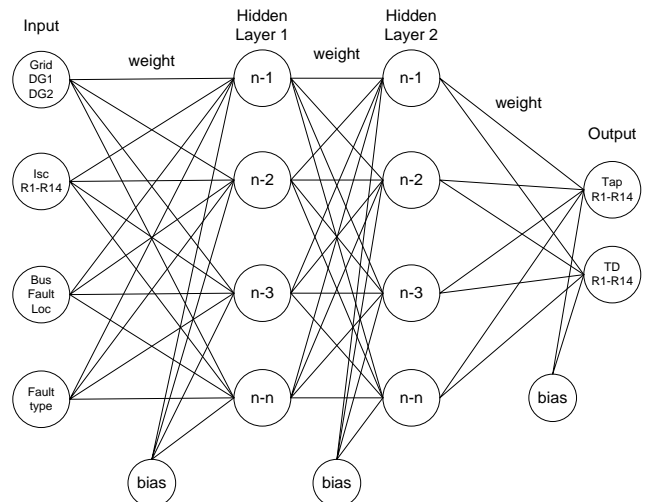
Tabel 6 Data Pasangan Rele Utama dan Rele Backup

No	Rele Primer	Rele Backup	No	Rele Primer	Rele Backup
1	R1	R8	8	R8	R1
2	R2	R9	9	R9	R2
3	R3	R10	10	R10	R3
4	R4	R11	11	R11	R4
5	R5	R12	12	R12	R5
6	R6	R13	13	R13	R6
7	R7	R14	14	R14	R7

B. Perancangan Koordinasi Proteksi Adaptif dengan Artificial Neural Network

a) Arsitektur Jaringan Yang Akan Dilatih

Pada perancangan koordinasi proteksi adaptif, arsitektur jaringan yang digunakan adalah arsitektur jaringan lapis banyak (*multilayer*) seperti pada gambar 8.



Gambar 7 Arsitektur Artificial Neural Network untuk Koordinasi Proteksi Adaptif

Arsitektur dari *neural network* terdiri dari :

- Jumlah *neuron input layer* = 22
- Jumlah *neuron hidden layer 1* = 28
- Jumlah *neuron hidden layer 2* = 28
- Jumlah *neuron output layer* = 28
- *Training Algorithm* = Lavenberg Marquart
- Jumlah Iterasi = 1000

Fungsi aktivasi ada pada *hidden layer* dan *output layer*. Fungsi aktivasi yang digunakan adalah:

- Tan Sigmoid (*Hidden Layer 1*)

$$y = f(net) = \frac{1 - e^{-net}}{1 + e^{-net}} \tag{5}$$

- Log Sigmoid (*Hidden Layer 2*)

$$y = f(net) = \frac{1}{1 + e^{-net}} \tag{6}$$

- Pure Linear (*Hidden Layer 3/Output Layer*)

$$y = net \tag{7}$$

Setelah menentukan arsitektur *neural network* maka selanjutnya mempersiapkan data *learning*. Data *learning* terdiri dari data *input* dan *output*. Data *input* terdiri dari:

- Status pembangkit
- Jenis Gangguan (L-L, L-L-G, dan L-L-L)
- Lokasi bus gangguan
- Arus hubung singkat yang melewati setiap rele untuk setiap kasus gangguan

Sementara *output* dari program *artificial neural network* adalah:

- *Tap setting* untuk setiap rele
- *Time delay setting* untuk setiap rele

b) Proses Training

Berikut merupakan proses training, yaitu:

1. Menentukan variable *input* dan *output* pada *layer input*.
2. Insialisai nilai bobot, Pada sistem ini nilai bobot jaringan termasuk nilai bobot untuk bias ditentukan secara acak, dengan nilai bias digunakan 1.
3. Menentukan input pada *hidden layer 1*
Setelah memasukkan variable input pada *hidden layer 1*, maka selanjutnya menentukan variabel output pada *hidden layer 1* dengan menggunakan fungsi aktivasi 1.
4. Menentukan *input* pada *hidden layer 2*
Setelah memasukkan variable input pada *hidden layer 2*, maka selanjutnya menentukan variabel output pada *hidden layer 2* dengan menggunakan fungsi aktivasi 2.
5. Menentukan variable input pada *hidden layer 3* yang merupakan *output layer*.
Setelah memasukkan variable *input* pada *output layer*, maka selanjutnya menentukan variable *output* pada *hidden layer* dengan menggunakan fungsi aktivasi 3.
6. Menghitung *error* pada *output*
Nilai *output* dalam pembelajaran dibandingkan dengan target *output* dan *error*nya dihitung.
7. Memperbarui nilai bobot dengan *backpropagation algorithm Lavenberg Marquart*.
Menguji apakah kondisi berhenti sudah terpenuhi jika nilai kesalahan yang dihasilkan lebih kecil dari *error goal* atau maksimum *epoch* tercapai. Selama kondisi berhenti masih tidak terpenuhi, laksanakan langkah 2 sampai 8. Adapun syarat kondisi berhenti adalah nilai *error* (Mse) $\leq 0,00001$ atau *epoch/iterasi* ≥ 1000 .

c) Proses Testing

Dalam prosedur *testing*, *input* dan *output* akan dibagi menjadi beberapa kasus (*Case*). Yang membedakan setiap kasus adalah kondisi sumber, kondisi jenis gangguan, dan kondisi titik bus hubung singkat, sehingga setiap perubahan kondisi akan menghasilkan *output* yang berbeda. Kasus dapat dilihat pada tabel 7.

Tabel 7. Kondisi Kasus

Kasus	Kondisi Sumber			Jenis Gangguan			Bus Gangguan
	Grid	DG1	DG2	LL	LLG	LLL	
1	1	0	0	1	0	0	1
2	1	0	0	0	1	0	1

3	1	0	0	0	0	1	1
4	1	0	0	1	0	0	2
...
...
72	1	1	1	0	0	1	6

Dari tabel 3.7 dapat dilihat pembagian kasus pada saat *testing*. Pada kasus 1, kondisi sistem hanya terhubung *grid* dan terjadi gangguan hubung singkat 2 fasa (L-L) pada bus 1. Dan pada kasus 2, kondisi sistem hanya terhubung *grid* dan terjadi gangguan hubung singkat 2 fasa ketanah (L-L-G) pada bus 1, dan begitu seterusnya untuk kasus-kasus yang lain. Pergantian setiap kasus yang terjadi akan mempengaruhi *output* dari program *artificial neural network*. Membandingkan output hasil *artificial neural network* dengan data referensi untuk setiap rele. Menghitung *error* hasil *artificial neural network* dengan data referensi untuk menganalisa performa *artificial neural network* dalam koordinasi proteksi adaptif yang direncanakan.

IV. HASIL SIMULASI DAN ANALISIS DATA

A. Analisa Hubung Singkat

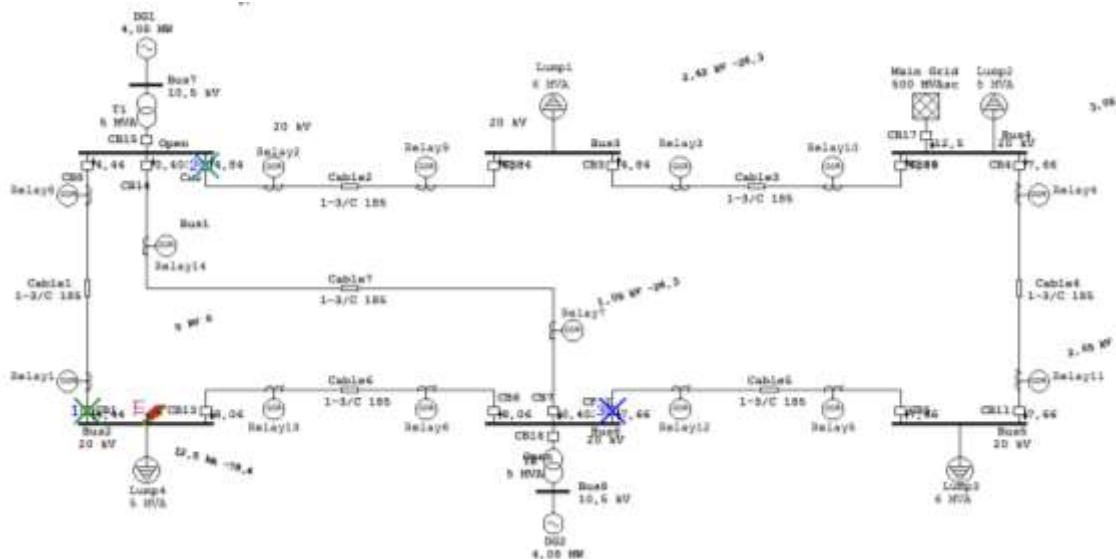
Untuk menentukan arus hubung singkat pada jaringan distribusi *mesh*, dilakukan dengan menggunakan *software* simulasi yaitu ETAP. Simulasi hubung singkat yang dilakukan adalah hubung singkat 2 fasa 30 cycle. Hubung singkat 2 fasa 30 cycle digunakan untuk seting *highset* pada rele untuk mengamankan gangguan 2 fasa (*line-line*), gangguan dua fasa ketanah (*line-line-ground*) dan gangguan 3 fasa (*line-line-line*).

Pengambilan data arus hubung singkat 2 fasa 30 cycle diambil dengan mempertimbangkan 4 kondisi yang berbeda, yaitu:

- a. Kondisi Hanya Terhubung *Grid* (kondisi 1)
- b. Kondisi Terhubung *Grid* dan DG 1 (kondisi 2)
- c. Kondisi Terhubung *Grid* dan DG 2 (kondisi 3)
- d. Kondisi Terhubung *Grid* dan DG 1,2 (kondisi 4)

B. Proteksi Menggunakan Perhitungan Koordinasi Manual

Dari perhitungan manual diatas ada beberapa rele yang setingan *tap* dipilih diatas dari nilai *tap* yang didapatkan dari hitungan secara manual. Hal tersebut bertujuan agar tidak terjadi kesalahan koordinasi proteksi dalam sistem *mesh*. Kesalahan koordinasi yang dimaksud seperti yang ditunjukkan gambar 9.



Gambar 8 Kesalahan Koordinasi Proteksi

Pada Simulasi ini, saat terjadi gangguan 3 fasa pada bus 2 dan kondisi sumber hanya terhubung *grid*, rele 1, rele 2 dan rele 12 bekerja pada waktu yang sama yaitu pada waktu 0,1. Hal ini disebabkan besarnya arus kontribusi yang terbaca oleh rele tersebut sehingga rele ikut bekerja. Pada sistem *mesh*, koordinasi tersebut tidak efisien karena saat terjadi gangguan pada satu bus, maka bus yang lain juga ikut terputus dari sistem. Untuk membuat rele 2 dan rele 12 tidak bekerja maka setingan *tap* dari rele 2 dan rele 12 dinaikan dari nilai *tap* yang didapatkan dari perhitungan manual. Hal ini juga berlaku untuk kondisi jaringan saat terhubung dengan *grid* dan DG 1, terhubung *grid* dan DG 2, dan terhubung *grid* dan DG 1,2.

C. Hasil dan Analisa Simulasi Koordinasi Proteksi dengan Menggunakan Artificial Neural Network

Terdapat sejumlah kondisi topologi yang akan dipilih ketika *testing* program. Adapun hasil dari *output* program ini berupa nilai:

- a. Tap (Highset)
- b. Time Delay (Highset)

Untuk memastikan bahwa program koordinasi proteksi menggunakan metode *artificial neural network* ini menghasilkan nilai keluaran yang sesuai, maka hasil

keluaran program akan dimasukkan pada *software* ETAP 12.6.

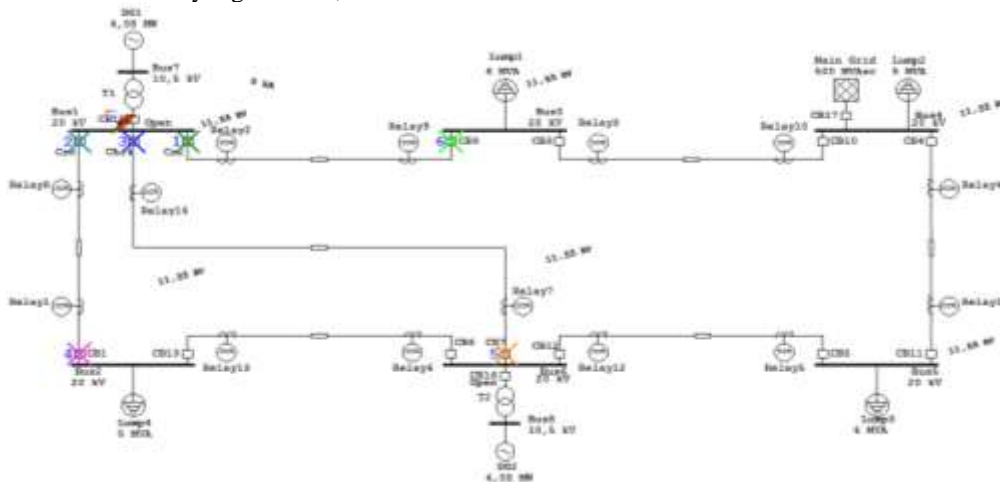
Pada saat *testing* akan ditampilkan 1 kasus dari 72 kasus yang bisa terjadi, yaitu kasus 1. Kasus 1 merupakan kasus saat sistem hanya terhubung *grid*, terjadi gangguan 2 fasa pada bus 1.

Tabel 8

Kasus 1, Saat Kondisi Terhubung *Grid*, Gangguan 2 Fasa pada Bus 1

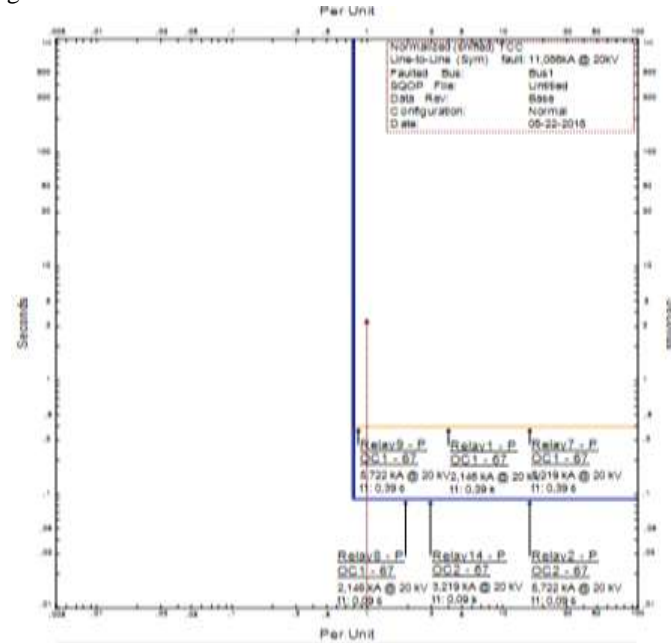
Id Rele	Arah Rele	Tap	Time Delay
R1	Forward	16,8890	0,0933
R2	Reverse	23,0066	0,0997
R3	Reverse	19,6107	0,3967
R4	Forward	19,7113	0,3930
R5	Forward	22,1838	0,3913
R6	Forward	27,2951	0,3951
R7	Forward	25,6512	0,0973
R8	Forward	16,7588	0,3976
R9	Reverse	22,9579	0,3056
R10	Reverse	19,5006	0,1003
R11	Forward	19,7207	0,1035
R12	Forward	22,1013	0,1031
R13	Forward	27,4898	0,0954
R14	Forward	25,7453	0,0933

Setelah didapatkan *output* dari program *artificial neural network* seperti tabel 8, data dimasukkan ke ETAP. Hasil simulasi dari ETAP dapat dilihat pada gambar 10



Gambar 9 Simulasi Hasil Program Artificial Neural Network Pada ETAP Saat Terhubung *Grid*, Gangguan 2 Fasa pada Bus 1

Dengan kurva rele yang bekerja dapat dilihat pada gambar 11 berikut.



Gambar 10 Kurva Rele Yang Bekerja Saat Terhubung Grid, Gangguan 2 Fasa pada Bus 1

Dari hasil program *artificial neural network* dapat dilihat bahwa koordinasi proteksi dengan program *artificial neural network* dapat mengikuti kondisi dari sistem. Setiap perubahan kondisi sistem, rele akan memiliki setingan masing-masing, akan tetapi rele yang bekerja hanya rele yang setingannya sesuai dengan besar arus dan arah arus hubung singkat. Setingan rele dari program *artificial neural network* tidak persis sama dengan hasil perhitungan manual, hal ini akan berdampak terhadap respon kerja rele. *Time delay* hasil dari program *artificial neural network* memiliki *error* terhadap data dari perhitungan manual. Untuk menjaga agar jarak waktu kerja rele utama dan rele *backup* memenuhi syarat yaitu 0,2 – 0,4 detik maka pada data *learning*, rele *backup* diberi waktu 0,4.

D. Perbandingan Hasil Koordinasi Rele Menggunakan Program dengan Manual

Perbandingan akan dilakukan pada beberapa kasus pada *testing* program *artificial neural network*.

- Kondisi Ketika Hanya Terhubung Grid

Saat terhubung *grid*, *testing* diambil pada kasus 9. Kasus 9 merupakan Saat Kondisi Terhubung Grid, Gangguan 3 Fasa pada Bus 3

Tabel 9

Kasus 9, Saat Kondisi Terhubung Grid, Gangguan 3 Fasa pada Bus 3

Id Rele	Arah	Perhitungan Manual		Artificial Neural Network	
		Tap	Td	Tap	Td
R1	Forward	17,04	0,4	17,2981	0,3862
R2	Forward	7,52	0,4	7,0201	0,3869
R3	Reverse	19,58	0,1	19,6720	0,1008
R4	Forward	22,1	0,4	22,1779	0,4023
R5	Forward	25,6	0,4	25,9927	0,4060
R6	Forward	27,76	0,4	27,9341	0,3964
R7	Forward	25,6	0,4	26,1472	0,3936
R8	Forward	17,04	0,1	17,1205	0,0860
R9	Forward	7,52	0,1	6,9389	0,0874
R10	Reverse	19,58	0,4	19,5701	0,3076
R11	Forward	22,1	0,1	22,1245	0,0906
R12	Forward	25,6	0,1	25,8404	0,1082

R13	Forward	27,76	0,1	28,1485	0,0936
R14	Forward	25,6	0,1	26,1492	0,0899

- Kondisi Terhubung Grid dan DG 1.

Saat terhubung *grid* dan DG 1, *testing* diambil pada kasus 22. Kasus 22 merupakan Saat Kondisi Terhubung Grid dan DG 1, Gangguan 2 Fasa pada Bus 2

Tabel 10 Kasus 22, Saat Kondisi Terhubung Grid dan DG 1, Gangguan 2 Fasa pada Bus 2

Rele	Arah	Perhitungan Manual		Artificial Neural Network	
		Tap	Td	Tap	Td
R1	Reverse	32,24	0,1	31,5972	0,1060
R2	Reverse	22,76	0,1	22,3595	0,1048
R3	Reverse	19,82	0,1	19,5386	0,0979
R4	Forward	19,84	0,4	19,4199	0,3972
R5	Forward	22,3	0,4	23,1143	0,4003
R6	Forward	28,44	0,4	28,7908	0,4037
R7	Reverse	18,88	0,1	18,5979	0,1045
R8	Reverse	32,24	0,4	31,4688	0,3936
R9	Reverse	22,76	0,4	22,3414	0,3962
R10	Reverse	19,82	0,4	19,6251	0,4206
R11	Forward	19,84	0,1	19,4331	0,0982
R12	Forward	22,3	0,1	23,2159	0,0803
R13	Forward	28,44	0,1	28,6254	0,0932
R14	Reverse	18,88	0,4	18,6459	0,3956

- Kondisi hanya terhubung Grid dan DG 2.

Saat terhubung *grid* dan DG 2, *testing* diambil pada kasus 48. Kasus 48 merupakan Saat Kondisi Terhubung Grid dan DG 2, Gangguan 3 Fasa pada Bus 4

Tabel 11 Kasus 48, Saat Kondisi Terhubung Grid dan DG 2, Gangguan 3 Fasa pada Bus 4

Rele	Arah	Perhitungan Manual		Artificial Neural Network	
		Tap	Td	Tap	Td
R1	Forward	18,08	0,4	20,0661	0,4055
R2	Forward	8,32	0,4	9,0797	0,3993
R3	Forward	0,276	0,4	0,1334	0,4069
R4	Reverse	0,58	0,1	0,5066	0,0937
R5	Reverse	5,95	0,1	5,9147	0,1059
R6	Reverse	5,8	0,1	6,5200	0,1038
R7	Forward	27,12	0,4	27,3686	0,4016
R8	Forward	18,08	0,1	19,7767	0,1005
R9	Forward	8,32	0,1	9,0003	0,1022
R10	Forward	0,276	0,1	0,2800	0,1048
R11	Reverse	0,58	0,4	0,5259	0,4080
R12	Reverse	5,95	0,4	6,1852	0,3752
R13	Reverse	5,8	0,4	6,2426	0,3992
R14	Forward	27,12	0,1	27,4467	0,1006

- Kondisi Terhubung Grid dan DG 1,2.

Saat terhubung *grid* dan DG1,2, *testing* diambil pada kasus 61. Kasus 61 merupakan Saat Kondisi Terhubung Grid dan DG 1,2, Gangguan 2 Fasa pada Bus 3

Tabel 12 Kasus 61, Saat Kondisi Terhubung Grid dan DG 1,2, Gangguan 2 Fasa pada Bus 3

Rele	Arah	Perhitungan Manual		Artificial Neural Network	
		Tap	Td	Tap	Td
R1	Forward	18,08	0,4	18,4102	0,3851
R2	Forward	9,4	0,4	8,6661	0,3843
R3	Reverse	20,22	0,1	20,3656	0,0997
R4	Forward	19,98	0,4	20,1783	0,3998
R5	Forward	22,5	0,4	22,8418	0,4038
R6	Forward	29,6	0,4	29,2520	0,3879
R7	Forward	27,12	0,4	27,0539	0,3903
R8	Forward	18,08	0,1	18,2502	0,0902
R9	Forward	9,4	0,1	8,6240	0,0907
R10	Reverse	20,22	0,4	20,2686	0,3914
R11	Forward	19,98	0,1	20,1378	0,0916
R12	Forward	22,5	0,1	22,7324	0,4264

R13	Forward	29,6	0,1	29,4527	0,1011
R14	Forward	27,12	0,1	27,0514	0,0948

[11]Vassilis C. Nikolaidis,"A Communication-Assisted Overcurrent Protection Scheme for Radial Distribution Systems With Distributed Generation", IEEE, March 2015

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi dan analisa koordinasi proteksi adaptif rele arus lebih digital dengan menggunakan metoda *artificial neural network*, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengaruh pembangkit tersebar pada sistem distribusi *mesh* adalah meningkatnya besar arus gangguan. Selain meningkatnya arus gangguan, pada sistem *mesh* juga mempengaruhi arah aliran arus hubung singkat.
2. Rele *directional* sangat efektif digunakan pada sistem interkoneksi atau sistem *mesh* (Referensi [10]), karena setiap arah (*forward* atau *reverse*) dapat diseting sesuai kondisi arah hubung singkat.
3. Koordinasi proteksi dengan cara menempatkan rele utama (*primer*) dan rele *backup* pada *line* yang sama akan membuat sistem menjadi lebih handal. Saat terjadi gangguan pada salah satu bus dan rele utama gagal bekerja, maka rele *backup* akan bekerja. Walaupun rele *backup* bekerja, bus yang tidak terkena gangguan tidak akan ikut terputus seperti gambar 11.
4. Seting rele pada sistem *mesh* juga dipengaruhi oleh arus kontribusi pada saluran sehingga setingan *tap* dipengaruhi oleh arus kontribusi.
5. Metode *artificial neural network* dapat mempelajari kondisi sistem sehingga bisa menghasilkan *output* seting rele sesuai kondisi yang terjadi pada sistem.
6. Dalam proses *learning* program *artificial neural network* nilai bobot dan nilai bias akan selalu diperbarui hingga didapatkan nilai bobot dan bias yang tepat untuk mendapatkan *output* mendekati *output* hitungan manual.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Dugan , R. C and McDermott, T. E, "Distributed Generation", vol. 8, issues. 2, IEEE Industry Applications Magazine, March/April 2002
- [2] Rinald N. Bracewell, Colin Cherry, James F. Gibbons, Willis W. Harmon and Friend, "Hadi Saadat Power System Analysis", The McGraw-Hill Companies, 1999
- [3] Ackerman Thomas, "What Matters for Successful Integration of Distributed Generation", Energy Nautics, London. UK, October 2013
- [4] Farry A. Afolabi, Warsame H. Ali, Penrose Cofie, John Fuller, Pamela Obiomon, Emmanuel S. Kolawole, "Analysis of the load flow problem in power system planing studies", Energy and Power Engineering 7, 509-523, 30 September 2015
- [5] Rizky Kurniawan. Muhammad, Hermawan, Bambang Winardi, "Seting dan Koordinasi Doctr (Directional Overcurrent Relay) pada Jaringan Transmisi 150 KV Upt Semarang Menggunakan Metode PSO (Particle Swarm Optimization)", Teknik Elektro Universitas Diponegoro, Semarang, September 2015
- [6] Singh. Manohar, "Protection Coordination in Grid Connected & Islanded Modes of Micro-Grid Operations", IEEE, India, 2013
- [7] Ghullam Mustafa Bhutto, Ehsan Ali, Jagdesh Kumar, Muhammad Akram Bhayo, "Islanding protection and islanding detection in low voltage cigre distribution network with distributed generations", Scientific Research, 5, 152-159, June 2014
- [8] Matin Meshkin, Karim Faez, Hossien Askarian Abyaneh, Farzad Razavi, "A new optimal neural network relays co-ordination", Electrical Engineering Dept, IRAN
- [9] Wahyudi, "Diktat Kuliah Pengaman Sistem Tenaga Listrik", Teknik Elektro ITS, Surabaya, Bab 2, 2004
- [10]H. H. Zineldin, Sharaf Hebatallah and friend, "Optimal Protection Coordination for Meshed Distribution System With DG Using Dual Setting Directional Over-Current Relays", IEEE, Vol 6, No 1, January 2015