

Koordinasi DOCR Pada Sistem Distribusi Dengan Pembangkit Tersebar Menggunakan *Artificial Neural Network* BPCG

Moh.Asief, Istiyo Winarno, Daeng Rahmatullah, Iradiratu Diah Prahmana Karyatanti
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Ilmu Kelautan, Universitas Hang Tuah
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

E-mail: mohasief10@gmail.com, daengrahmatullah@hangtuah.ac.id, iradiratu@hangtuah.ac.id

Abstrak— Kebutuhan listrik yang semakin besar harus didukung sistem proteksi yang handal. Pada sistem distribusi sistem proteksi digunakan untuk mendeteksi arus gangguan hubung singkat dan beban lebih karena dampak dari pembangkit tersebar. Pengaturan rele proteksi dapat dilakukan dengan menghitung manual untuk mendapatkan nilai *TDS* dan *Ipickup* di setiap kombinasi pembangkitan. Perhitungan manual cukup rumit dan memakan waktu lama. Dengan menggunakan *Artificial Intelligence* (AI) maka cukup menghitung sekali di setiap kombinasi pembangkitan dari data perhitungan manual. Penelitian ini menggunakan algoritma *Artificial Neural Network Backpropagation Conjugate Gradient* (ANN BPCG) agar mendapatkan pengaturan yang tepat pada setiap perubahan kondisi pembangkitan. Proses Pelatihan ANN menghasilkan nilai Mean Squared Error (MSE) pada neuron 27 sebesar 0.45818. Rata-rata selisih keseluruhan dari TDS rele 1 sampai rele 15 pada setiap kondisi pembangkitan adalah 0.0011 detik dan rata-rata persentase selisih keseluruhan adalah 0.1081%. Hasil penelitian ini dibuktikan dalam simulasi *software*. ANN BPCG merupakan metode yang cocok untuk memodelkan sistem koordinasi DOCR pada sistem distribusi dengan pembangkit tersebar.

Kata Kunci— Koordinasi proteksi DOCR, Pembangkit tersebar, ANN Backpropagation Conjugate Gradient (BPCG), IEEE 9 bus.

I. PENDAHULUAN

Listrik merupakan kebutuhan yang wajib bagi manusia untuk sehari-hari, terutama untuk peralatan elektronik yang membutuhkan listrik. Pada suatu negara listrik dipengaruhi oleh perkembangan penduduk sehingga penyedia dan tanggung jawab sumber energi semakin besar. Maka diperlukan solusi terbaru dengan kehandalan yang lebih baik untuk memenuhi kebutuhan listrik di negara tersebut. Kebutuhan listrik yang semakin besar harus didukung sistem proteksi, dipasang disetiap susunan sistem tenaga listrik seperti pembangkit, transmisi, dan distribusi. Pada sistem distribusi sistem proteksi digunakan untuk mendeteksi arus gangguan hubung singkat dan beban lebih karena dampak dari pembangkit tersebar. Pembangkit tersebar atau *Distributed generation* (DG) merupakan gabungan dari beberapa pembangkit-pembangkit skala kecil atau skala besar dengan sumber utama yang ditempatkan berbeda-beda. Solusinya menggunakan konsep pembangkit tersebar dengan sistem bentuk *loop*, karena lebih kompleks dari sistem bentuk radial. *Loop* merupakan jaringan yang bentuknya tertutup yang menghubungkan pembangkit utama, beban, dan saluran dalam satu sistem yang diatur. Dibutuhkan koordinasi proteksi *Directional Over Current Relay* (DOCR) karena arus yang mengalir dari dari berbagai arah.

DOCR merupakan rele arus lebih terarah, dimana rele arus lebih memiliki tiga karakteristik yaitu rele arus lebih seketika (*instantaneous over current relay*), rele arus lebih

waktu tertentu (*definite time over current relay*), dan rele arus lebih waktu berbanding terbalik (*inverse time over current relay*). Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan [7], yang berjudul Koordinasi Proteksi Adaptif Rele Arus Lebih Digital Menggunakan Metoda *Artificial Neural Network* pada Sistem *Mesh* dengan Pembangkit Tersebar. Menggunakan jenis rele arus lebih (*definite time over current relay*), waktu kerja rele ditentukan oleh waktu *settingnya* dan untuk waktu operasinya 0,1 detik dimana *setting* tersebut jika terjadi beberapa gangguan hanya mendeteksi waktu yang sama, kurvanya lurus atau memotong serta tidak dapat mendeteksi keadaan *overload*. Sementara pada penelitian ini menggunakan jenis rele arus lebih waktu berbanding terbalik (*inverse time over current relay*) yang memiliki kurva melengkung dan waktu kerja rele ditentukan oleh besarnya arus, setiap besarnya arus yang dideteksi didapat kurva melengkung yang berbeda-beda serta dapat mendeteksi keadaan *overload*. Namun hal itu belum cukup, perubahan daya yang disuplai oleh DG juga akan merubah besar arus gangguan yang digunakan. Sehingga nilai *setting* rele juga akan berubah. Sedikit saja perubahan daya pada setiap pembangkitan maka semua dihitung ulang untuk mendapatkan koordinasi rele yang benar.

Dari permasalahan diatas diusulkan penyelesaiannya menggunakan *Artificial Intelligence* (AI). Dengan menggunakan AI maka cukup menghitung sekali setiap kombinasi pembangkitan dari DG, algoritma AI sudah dapat memprediksi pengaturan rele yang tepat apabila ada perubahan kombinasi dan besar daya pembangkitan [4]

Berbagai permasalahan diatas penelitian ini bertujuan untuk memberikan solusi tersebut. Algoritma *Artificial Neural Network Backpropagation Conjugate Gradient* (ANN BPCG) digunakan untuk pengaturan yang tepat dan optimal pada setiap perubahan kondisi pembangkitan. Kemudian di terapkan pada sistem IEEE 9 bus yang dimodifikasi dan disimulasikan, hasil simulasi mampu mendeteksi gangguan dan perubahan kombinasi pembangkitan serta dapat memilih pengaturan perlindungan yang sesuai.

II. BAHAN DAN METODE

A. Rele Arus lebih berarah (*Directional Over current Relay*)

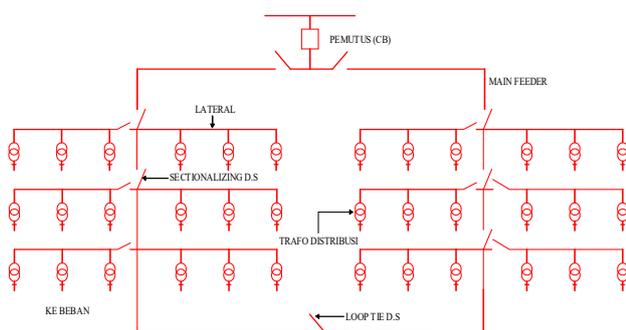
Rele *directional* adalah rele arus lebih berarah yang diperlukan untuk rangkaian *loop* dan *multi loop*, untuk memutus arus gangguan. DOCR terhubung dengan rele yang lain untuk mengkoreksi jika terjadi kesalahan, tujuan koordinasi untuk mendapatkan *setting time dial* yang optimal dan *setting* besar arusnya pada gangguan yang diterima [8].

Rele *directional* dapat disetting dengan satu arah dan dua arah yang berbeda. Setting satu arah, tujuannya untuk satu setingan dan satu arah kerja bisa *forward* (maju) atau *reverse* (mundur). Setting dua arah berbeda, tujuannya untuk setingan berbeda dan arah berbeda. *Forward* dan *reverse* masing-masing memiliki settingan tersendiri [3].

Salah satu metode yang dilakukan untuk memperoleh keandalan sistem adalah koordinasi rele pengamanan dengan memfungsikan rele sebagai pengamanan utama dan pengamanan cadangan. Proteksi cadangan ini umumnya mempunyai perlambatan waktu (*time delay*), hal ini untuk memberikan kesempatan kepada proteksi utama beroperasi terlebih dahulu, dan jika proteksi utama gagal baru proteksi cadangan yang akan beroperasi. Untuk memenuhi fungsi tersebut maka waktu rele pengamanan utama disetel lebih cepat daripada rele pengamanan cadangan. Rele pengamanan dengan kemampuan selektif yang baik dibutuhkan untuk mencapai keandalan sistem yang tinggi karena tindakan pengamanan yang cepat dan tepat akan dapat mengisolir gangguan dan seminimal mungkin. [6].

B. Sistem Jaringan Distribusi Loop

Bila ada lebih dari satu sumber dan mempunyai dua jalur saluran yang terhubung pada beban, jaringan ini merupakan bentuk tertutup (*loop*), seperti ditunjukkan pada gambar 1. Titik beban mendapat suplai dari dua arah karena susunan rangkaian penyulang membentuk seperti cincin. Sehingga kontinuitas pelayanan lebih terjamin dan kualitas dayanya menjadi lebih baik, karena rugi tegangan dan rugi daya pada saluran menjadi lebih kecil [1].



Gambar 1. Jaringan distribusi ring (*loop*)

C. Pembangkit Tersebar (*Distributed Generation*)

Pembangkit tersebar atau *Distributed Generation (DG)* merupakan pembangkit bersekala kecil yang tersebar disisi beban atau pelanggan. *International council on Large System (CIGRE)* mendefinisikan *Distributed generation* sebagai setiap unit pembangkit dengan kapasitas maksimum 50 MW sampai 100 MW, yang terhubung ke jaringan distribusi. *Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE)*, mendefinisikan DG sebagai pembangkitan energi listrik pusat sehingga memungkinkan terjadi interkoneksi di hampir semua titik pada sistem tenaga listrik. Sedangkan *International Energy Agency (IEA)*, mendefinisikan DG sebagai unit pembangkit daya listrik pada sisi konsumen dan menyuplai daya listrik langsung ke jaringan distribusi lokal [4].

Pada sistem *loop*, Integrasi DG dapat menimbulkan dampak meningkatnya arus gangguan serta mempengaruhi arah dari arus gangguan. Untuk itu penggunaan DOCR adalah solusi yang sangat efektif sebagai pengamanan pada sistem *loop* dan *multi loop* yang juga terhubung dengan DG [4].

D. Syarat-syarat Sistem Proteksi

Dalam sistem proteksi diperlukan sistem proteksi yang baik, maka ada syarat-syarat sebagai berikut:

- Sensitif
Mampu merasakan gangguan sekecil mungkin.
- Andal
Akan bekerja bila diperlukan tidak akan bekerja bila tidak diperlukan.
- Selektif
Mampu memisahkan daerah atau jaringan yang terganggu saja.
- Cepat
Mampu bekerja secepat – cepatnya.
- Ekonomis
Dengan biaya kecil relay proteksi diharapkan mempunyai kemampuan pengamanan yang besar.
- Sederhana
Mempunyai bentuk sederhana dan fleksibel.

E. Rele Arus Lebih

OCR Merupakan rele yang bekerja dengan input analog arus, dimana rele akan bekerja apabila mendeteksi gangguan diatas setingnya khususnya untuk gangguan fasa-fasa. OCR diseting lebih besar dari kemampuan arus nominal peralatan terkecil (110%-120%) dan harus bekerja pada gangguan arus hubung singkat 2 fasa minimum. Waktu kerja OCR penghantar diset +/- 1 (satu) detik pada arus hubung singkat 2 fasa maksimum di lokal bus. Rele ini digunakan untuk mendeteksi gangguan fasa – fasa, mempunyai karakteristik inverse (waktu kerja rele akan semakin cepat apabila arus gangguan yang dirasakannya semakin besar) atau definite (waktu kerja tetap untuk setiap besaran gangguan). Selain itu pada rele arus lebih tersedia fungsi *high set* yang bekerja seketika (*moment/instantaneous*) [5].

Untuk karakteristik inverse mengacu kepada standar IEC atau ANSI/IEEE. Relai ini digunakan sebagai proteksi cadangan karena tidak dapat menentukan titik gangguan secara tepat, dan juga ditujukan untuk keamanan peralatan apabila proteksi utama gagal bekerja. Agar dapat dikoordinasikan dengan baik terhadap relai arus lebih disisi yang lain (bukan rele arus lebih yang terpasang di penghantar), maka karakteristik untuk proteksi penghantar yang dipilih adalah kurva yang sama yaitu *standard inverse* (IEC) / *normal inverse* (ANSI/IEEE). Untuk selektifitas dengan proteksi utama fungsi *high set* tidak diaktifkan [5].

F. Penyetelan Rele Arus Lebih Invers

Penyetelan *setting* arus pada rele harus lebih besar dari beban maksimum dan arus lebih tidak bekerja ketika beban pada kondisi maksimum. Untuk mengatur arus *pickup* yaitu dengan pemilihan *tap* dan penyetelan rele arus lebih [2]. Pemilihan nilai *tap* didapatkan dengan rumus ditunjukkan pada persamaan 1:

$$Tap = \frac{I_{set}}{CT \text{ ratio}} \quad (1)$$

Dimana I_{set} merupakan arus *pick up* dalam ampere dengan batasan $1,05 I_{FLA} < I_{set} < 1,4 I_{FLA}$. Batasan tersebut diambil dari standar British BS142. *CT ratio* merupakan nilai arus CT yang melewati rele pada gulungan primer CT atau gulungan sekunder CT [2].

Adapaun setelan untuk *time dial* untuk menentukan waktu operasi dari rele. Penentuan *time dial* dari masing-masing kurva karakteristik *invers* dapat dicari dengan rumus yang ditunjukkan pada persamaan 2:

$$t = \frac{k \times T_d}{\left[\left(\frac{I_{max}}{I_{set}}\right)^\alpha - 1\right]} \quad (2)$$

Dimana:

t = Waktu operasi (detik)

T_d = *Time dial*

I = Nilai arus gangguan (Ampere)

I_{set} = Arus *pickup* (Ampere)

k = Koefisien *invers* 1

α = Koefisien *invers* 2

TABEL 1. KOEFISIEN *INVERS TIME DIAL*

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

G. Penyetelan Rele Arus Lebih Instan

Untuk menentukan setelan *pickup* (I_{set}) instan ini menggunakan arus hubung singkat pembangkitan minimum ($I_{sc \text{ min}}$) dua fasa. Sehingga settingan ditetapkan dengan ditunjukkan pada persamaan 3:

$$1,6 \times I_{FLA} < I_{set} < 0,8 \times I_{sc \text{ min}} \quad (3)$$

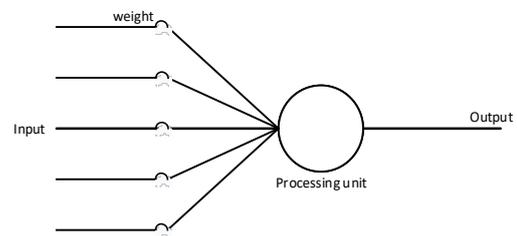
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perancangan Sistem

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 dapat digunakan untuk permodelan data statistik non-linier. NN dapat digunakan untuk memodelkan hubungan yang kompleks antara *input* dan *output* untuk menemukan pola-pola data [7].

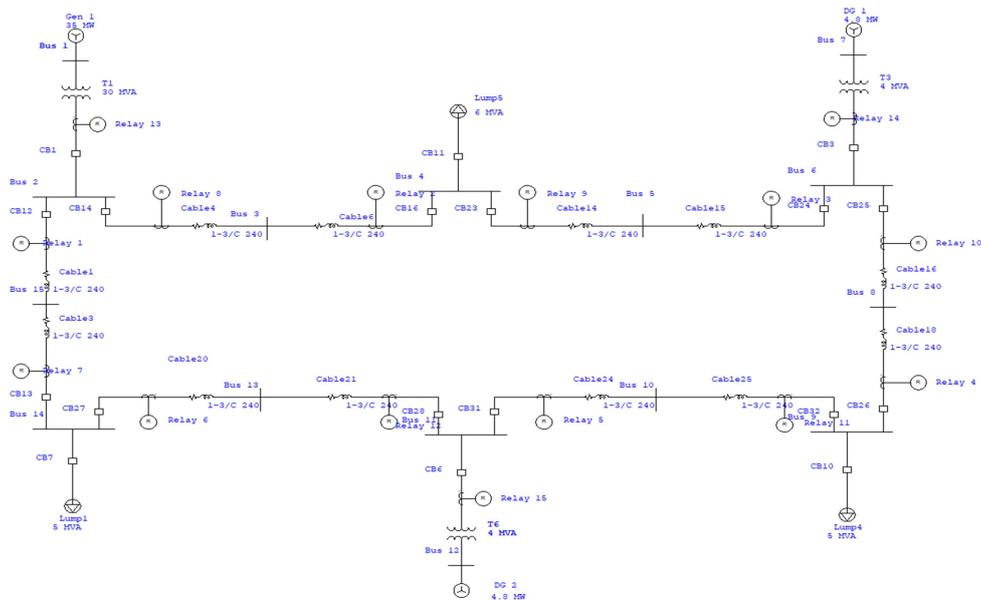
Secara mendasar, sistem pembelajaran merupakan proses penambahan pengetahuan pada NN yang sifatnya kontinuitas sehingga pada saat digunakan pengetahuan tersebut akan dieksploitasikan secara maksimal dalam mengenali suatu objek. *Neuron* adalah bagian dasar dari pemrosesan suatu *Neural Network*. Dibawah ini merupakan bentuk dasar dari suatu *neuron* [7].



Gambar 2. Bentuk Dasar *Neuron*

Keterangan Gambar 2 diatas 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.



Gambar 3. Single Line Diagram Sistem Dalam Program ETAP

penelitian ini, menggunakan sistem distribusi loop 9 bus yang terhubung dengan satu pembangkit utama (grid) dan dua pembangkit tersebar (DG). Jenis DG yang digunakan adalah generator, untuk pemutusan DG dengan mengatur CB. Plan yang digunakan pada penelitian ini adalah *single line diagram* sistem transmisi *loop IEEE 9 bus* multi generator yang terdiri dari 1 buah generator dengan kapasitas 35 MW, 2 buah *distributed generation* dengan kapasitas masing-masing 4,8 MW, 1 buah trafo dengan kapasitas sebesar 30 MVA, 2 buah trafo dengan kapasitas masing-masing sebesar 4 MVA, 3 buah *static load* dan 15 rele sebagai pengaman.

B. Data Single Line Diagram Sistem Loop

Dalam simulasi koordinasi sistem *loop IEEE 9 bus* yang dimodif dengan *Distributed Generation*. Pembangkit utama berupa generator yang diatur swing, DG1 dan DG2 diatur *voltage control* dengan daya dan tegangan sesuai *full load* yang dicapai. Tabel 2 dan 3 ditampilkan spesifikasi *grid* dan *generator*.

TABEL 2. DATA GENERATOR

No	Jenis	Rating Daya (MW)	Rating Tegangan (kV)	Power Faktor(%)
1	Generator	35	12	85

TABEL 3. DATA PEMBANGKIT TERSEBAR

No	Jenis	Rating Daya (MW)	Rating Tegangan (kV)	Power Faktor(%)
1	DG1	4.8	12	85
2	DG2	4.8	12	85

Beban-beban yang terpasang pada simulasi ini terdiri dari *Lumped Load*. Beban jenis ini berupa gabungan beban

motor dan beban *static*. Kapasitas beban *Lumped Load* dapat dilihat pada tabel 3.3.

TABEL 4 DATA BEBAN

No	Beban	Bus	MVA	Rating Tegangan (kV)	Power Faktor(%)
1	Load 1	14	6	20	85
2	Load 2	15	5	20	85
3	Load 3	16	5	20	85

Nilai beban diatas diambil; setelah proses pengambilan data *full load ampere*

TABEL 5. DATA SALURAN

Line	Bus	R/kmOhm	X/kmOhm	Jarak(m)
1	2-14	0.098	0.114	500
2	14-6	0.098	0.114	500
3	6-16	0.098	0.114	500
4	16-12	0.098	0.114	500
5	12-15	0.098	0.114	500
6	15-2	0.098	0.114	500

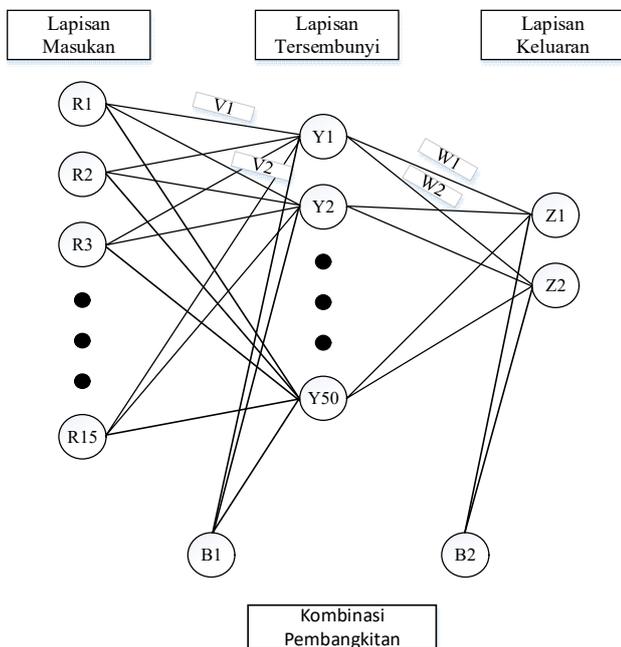
TABEL 6. PASANGAN RELE UTAMA DAN RELE BACKUP

No	Rele Utama	Rele Backup	No	Rele Utama	Rele Backup
1	7	12	7	1	13
2	8	7	8	2	2
		13			3
3	9	8	9	3	14

4	10	9			4
		14	10	4	5
5	11	10	11	5	6
6	12	15			
		11	12	6	1

C. Perancangan Koordinasi Proteksi Menggunakan ANN Backpropagation Conjugate Gradient

Setelah pengambilan data dan perhitungan manual maka dilakukan optimalisasi untuk mendapatkan nilai TDS dan *Ipickup* di setiap kombinasi pembangkitan. Proses *training* di ANN membutuhkan beberapa *neuron* untuk mendapatkan target paling optimal dan apabila jumlah data yang dimasukkan semakin banyak maka proses *training* semakin lama. Target ANN adalah berupa



Gambar 4. Struktur Jaringan ANN untuk Penelitian

Gambar diatas merupakan struktur jaringan ANN untuk penelitian yang terdiri dari:

1. Masukan terdiri atas 1 lapisan dengan 15 *neuron*, yaitu rele 1 (R1) sampai rele 15 (R15).
2. Lapisan tersembunyi terdiri atas 1 *neuron* dengan 1-50 (Y1-Y50) lapisan, yaitu diambil atau digunakan *neuron* yang paling sedikit dan nilai terbaik.
3. Keluaran terdiri atas 1 lapisan dengan 2 (Z1 dan Z2) keluaran, yaitu TDS dan *Ipickup*.
4. B1 adalah bobot bias yang menuju *neuron* pada lapisan tersembunyi dan B2 adalah menghubungkan lapisan tersembunyi dengan lapisan keluaran.

D. Koordinasi Proteksi Pada Sistem Distribusi Dengan Menggunakan Artificial Neural Network Backpropagation Conjugate Gradient (ANN BPCG)

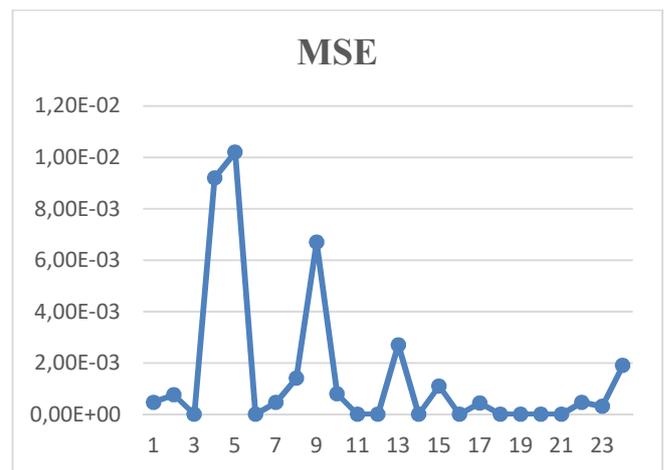
Koordinasi proteksi dilakukan pada empat kondisi pembangkitan untuk mendapatkan nilai lowset pada rele dengan waktu pengaturan yang tepat dan optimal. Proses tersebut pada sistem distribusi loop dibagi menjadi 4 kondisi pembangkitan, yaitu:

1. Skema 1: Kondisi G1, DG1 dan DG2 terhubung.
2. Skema 2: Kondisi G1 dan DG1 terhubung.
3. Skema 3: Kondisi G1 dan DG2 terhubung.
4. Skema 4: Kondisi G1 yang hanya terhubung.

Nilai TDS dan *Ipickup* agar dapat pengaturan yang tepat dan optimal berdasarkan setiap kondisi pembangkitannya, sehingga memerlukan beberapa kali uji.

E. Pengujian Artificial Neural Network Backpropagation Conjugate Gradient (ANN BPCG)

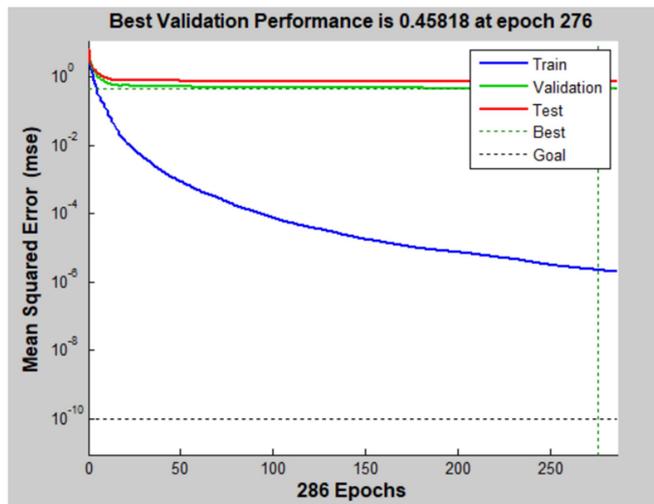
Jaringan ANN ini menggunakan 3 lapisan yaitu 1 lapisan masukan, 1 lapisan tersembunyi, dan 1 lapisan keluaran. Nilai *Mean Square Error* (MSE) yang paling minimum didapatkan dengan dilakukan pelatihan beberapa kali dengan merubah jumlah *neuron* didalam lapisan tersembunyi sehingga mendapatkan nilai MSE terkecil.



Gambar 5. Kurva Best performance validation

Pada gambar 5 merupakan kurva *Mean Square Error* (MSE) hasil dari pelatihan 4 skema kombinasi dengan jumlah *neuron* berbeda pada lapisan tersembunyi. Dari 24 variasi *neuron* yang terdapat pada lapisan tersembunyi didapat nilai MSE terkecil. Namun semakin banyak jumlah *neuron* pada lapisan tersembunyi maka semakin banyak data yang harus di masukkan pada *master control*. Sehingga pengambilan keputusan untuk menggunakan jumlah *neuron* pada lapisan tersembunyi dengan melihat hasil jumlah digit angka dibelakang koma yang dibutuhkan untuk setting rele. Jumlah *neuron* yang akan digunakan pada saat pengujian pada *neuron* 27. Hal ini dikarenakan memiliki kesamaan angka antara nilai target atau output untuk setting rele sudah dicapai dengan hanya menggunakan 27 *neuron* pada lapisan tersembunyi. Hal ini juga berpengaruh pada jumlah data bobot dan bias yang harus dimasukkan pada *master control* tidak terlalu banyak sehingga tidak memerlukan kapastias memori yang besar pula. Nilai *training performance* =

0.45818 kurva *performance* pelatihan ditampilkan pada Gambar 6 dengan 276 iterasi

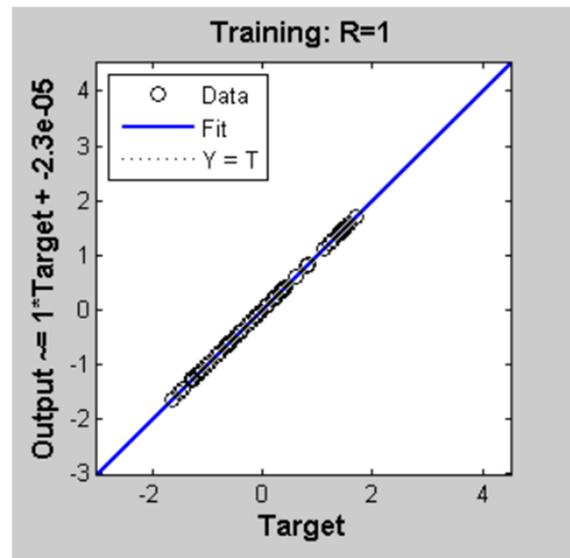


Gambar 6. Kurva *Best performance* pelatihan

Pada gambar 6 menunjukkan kurva pelatihan hingga mencapai nilai *Best performance*. Nilai *performance* adalah MSE terkecil yang dapat dicapai selama pelatihan. Semakin kecil nilai MSE semakin mirip antara nilai target dan output ANN.

F. Kondisi G1, DG1 dan DG2 Terhubung (Skema 1)

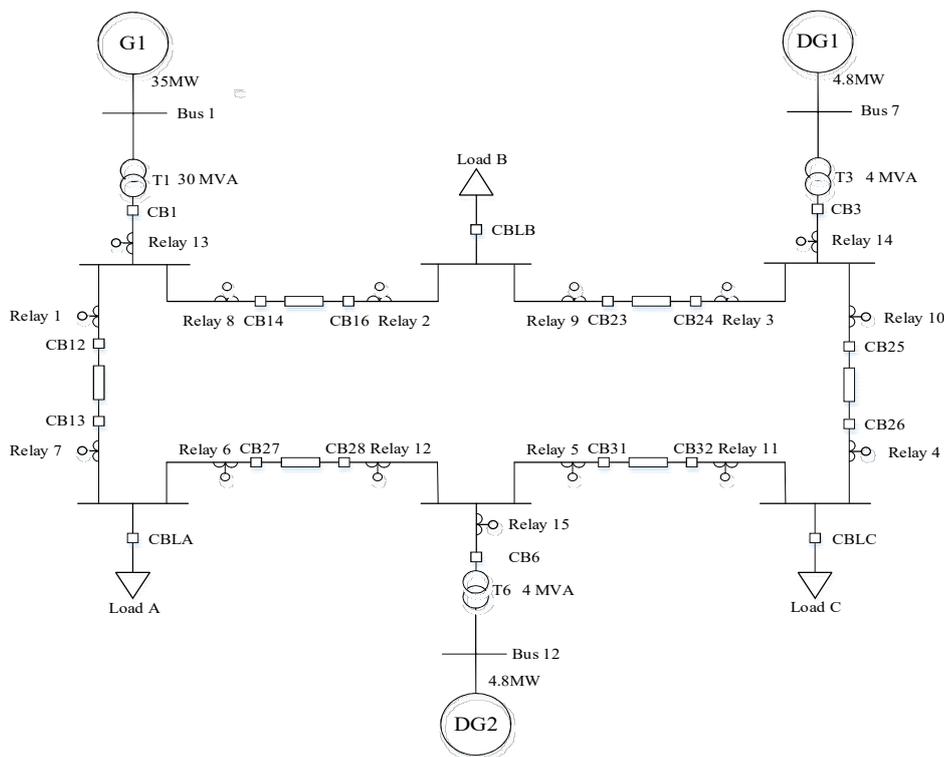
Pada skema 1 terdiri dari 1 buah generator dan 2 *Distributed generation* (DG) dengan keadaan on semua, kemudian dilakukan pengambilan data berupa *iscmax* dari masing-masing rele 1 sampai rele 15 (R1-R15). Nilai *ifla*



Gambar 7. Kurva kesesuaian dengan *target*

Pada gambar 7 menunjukkan kurva kesesuaian antara data *target* dan output ANN. Nilai kesesuaian mencapai 1 yang artinya kesesuaian antara data *target* dan *output* ANN mirip. Nilai MSE yang ditunjukkan gambar diatas setelah proses pelatihan, pengujian, dan validasi selesai TDS dan *Ipickup* hasil pengujian ANN dibandingkan dengan target sebelumnya yaitu proses perhitungan manual di setiap kombinasi pembangkitan. Hasil pelatihan akan didapat nilai bobot dan bias yang nantinya akan digunakan untuk proses pengujian. Pada keadaan nyata nilai bobot dan bias akan dimasukkan pada *master control*.

dari R1-R12 didapat dari data saluran pada tabel 3, untuk R13-R15 nilai *ifla* didapatkan dari nilai *ifla* trafo sisi sekunder dan nilai *current transformer* (CT) R1-R15. Gambar 8 merupakan single line diagram IEEE 9 bus saat kondisi G1, DG1 dan DG2 terhubung.



Gambar 8. Sistem Skema 1 Ketika Kondisi Pembangkitan

Berikut ini merupakan data arus gangguan (isc_{max}), I_{fla} dan rasio CT yang digunakan untuk proses algoritma *Artificial Neural Network Backpropagation Conjugate Gradient* dan mendapatkan nilai TDS dan I_{pickup} sebagai

setting rele. Data-data tersebut ditunjukkan pada tabel 7 yaitu data isc_{max} R1-R15 sebagai rele utama dan tabel 8 menunjukkan isc_{max} rele utama dan rele *backup*.

TABEL 7. DATA ISC_{MAX} 3 FASA, I_{FLA} DAN CT PADA SKEMA 1

Rele	Isc_{max} (A)	I_{FLA} (A)	CT
1	5260	673,05	400/5
2	2410	673,05	400/5
3	2740	673,05	400/5
4	3380	673,05	400/5
5	3870	673,05	400/5
6	4560	673,05	400/5
7	2310	673,05	400/5
8	5170	673,05	400/5
9	4650	673,05	400/5
10	3920	673,05	400/5
11	3420	673,05	400/5
12	2780	673,05	400/5
13	4140	866	900/5
14	566	115,5	150/5
15	566	115,5	150/5

TABEL 8. DATA ISC_{MAX} 3 FASA RELE UTAMA DAN RELE *BACKUP* SKEMA 1

isc_{max}			
Rele Utama		Rele <i>Backup</i>	
1	5260	13	4140
		2	1120
2	2410	3	1520
3	2740	14	570
		4	2170
4	3380	5	2640
5	3870	6	3300
		15	566
6	4560	1	3870
7	2310	12	1570
8	5170	7	2210
		13	4140
9	4650	8	2690
10	3920	9	3350
		14	566
11	3420	10	3780

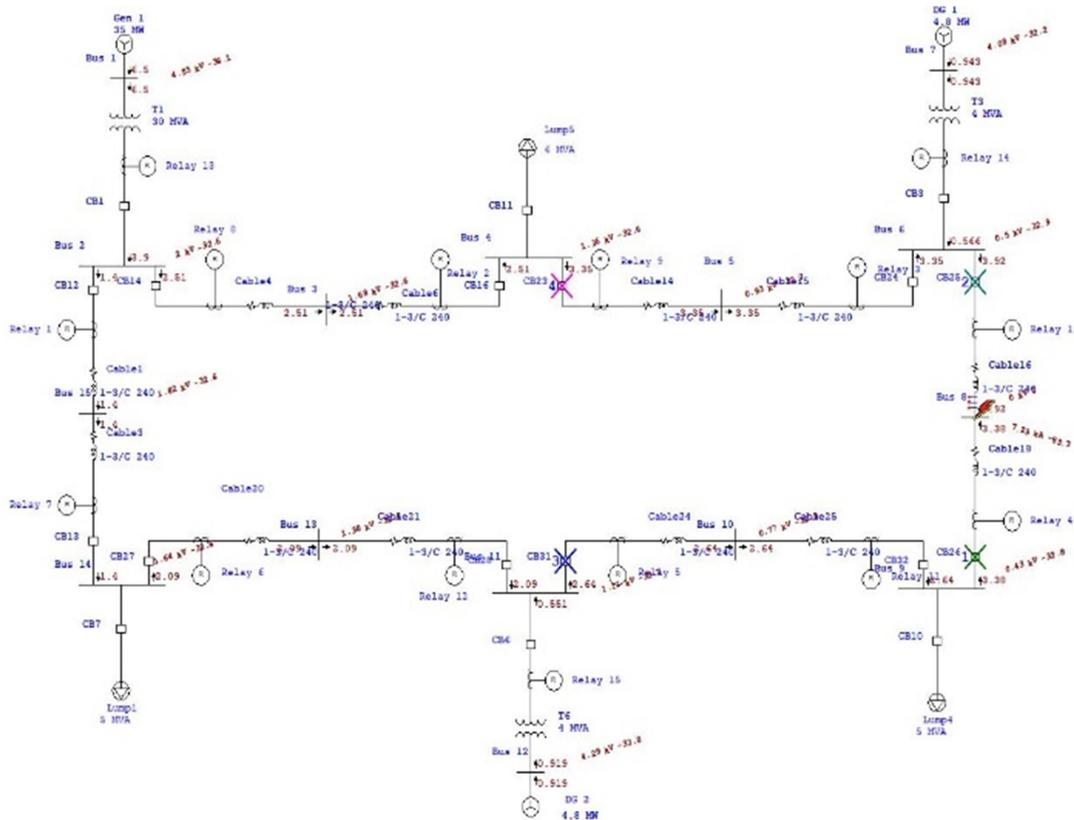
12	2780	15	569
		11	1030

8	8.41313	0.18145	8	8.41313	0.18152
9	8.41313	0.14735	9	8.41313	0.14696
10	8.41313	0.11079	10	8.41313	0.11036
11	8.41313	0.08309	11	8.41313	0.08339
12	8.41313	0.0525	12	8.41313	0.0579
13	5.00517	0.20301	13	5.00517	0.19777
14	4.0425	0.25001	14	4.0425	0.25075
15	4.0425	0.25001	15	4.0425	0.24923

TABEL 9. TDS DAN *IPICKUP* KONDISI PEMBANGKITAN SKEMA 1

Perhitungan Manual			ANN BPCG		
Rele	Ipickup	TDS	Rele	Ipickup	TDS
1	8.41313	0.18473	1	8.41313	0.185631
2	8.41313	0.05968	2	8.41313	0.596918
3	8.41313	0.0614	3	8.41313	0.06123
4	8.41313	0.08492	4	8.41313	0.084286
5	8.41313	0.11133	5	8.41313	0.11136
6	8.41313	0.14718	6	8.41313	0.14718
7	8.41313	0.04947	7	8.41313	0.04911

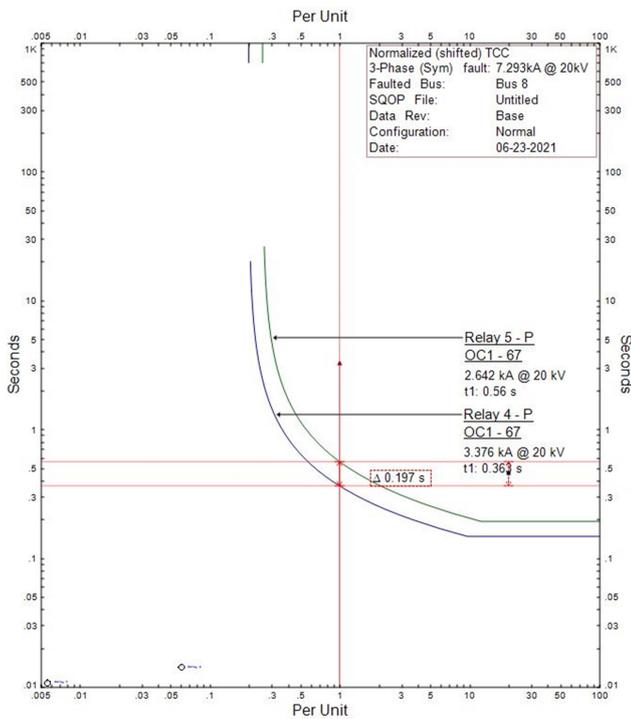
Tabel 9 Hasil pengujian ANN didapatkan nilai yang sama dengan nilai target dari proses perhitungan manual dan nilai MSE yang didapat pada skema 1 adalah 2.88×10^{-10} . Kemudian dibuktikan hasil simulasi koordinasi rele dengan nilai setting berupa TDS dan *Ipickup* dari ANN pada gambar 9 menunjukkan hasil simulasi rele pada skema 1.



Gambar 9. Simulasi Koordinasi Rele skema

Simulasi hubung singkat 3 fasa pada saluran antara bus 6 dan bus 9 rele terkordinasi sangat baik dan bekerja sesuai urutan koordinasinya, dimulai dari R4 trip disusul dengan rele 10. R4 dan R10 merupakan rele utama pada bus 6 dan

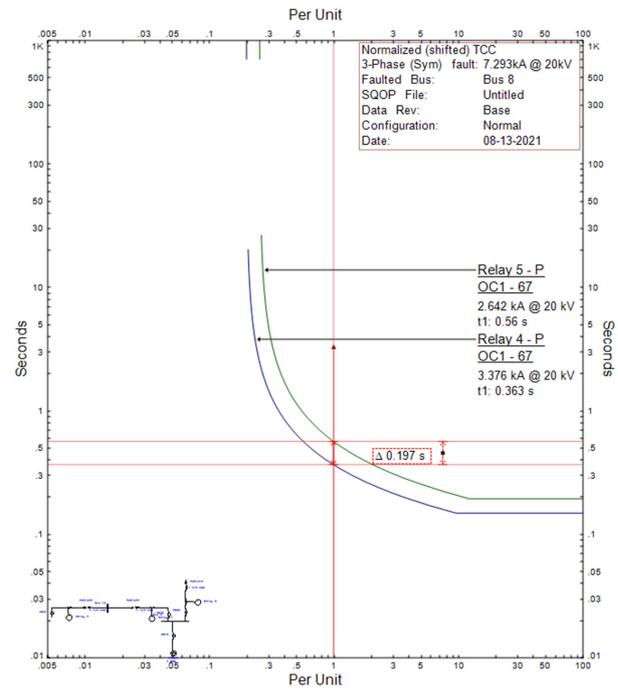
bus 9. Selanjutnya R5 yang merupakan rele *backup* dari rele 4 dan disusul R9 rele *backup* dari R10. Berikut kurva koordinasi rele terjadi hubung singkat pada skema 1 yang ditampilkan pada gambar 10 dan 11.



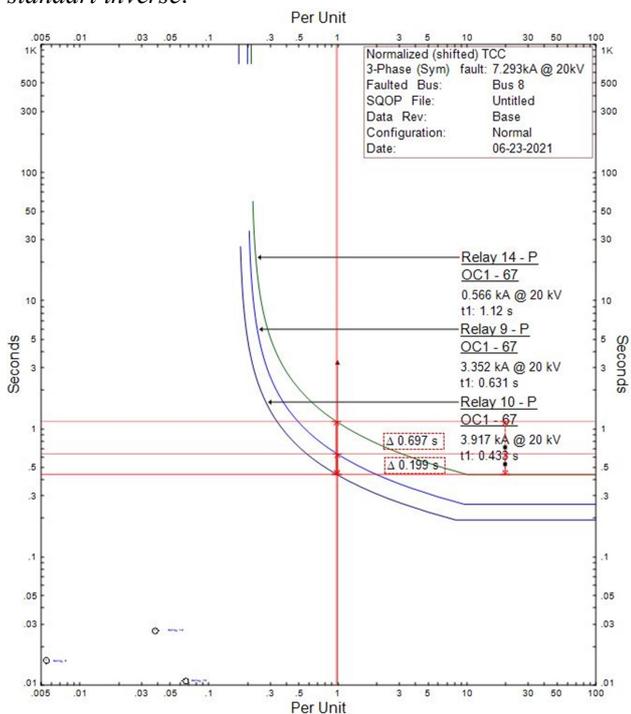
Gambar 10. Kurva Rele 4 dan Rele 5 Saat Hubung Singkat 3 Fasa Pada Saluran Antara Bus 9 dan Bus 11

Rele 4 trip pertama pada waktu 0.36 detik dengan arus yang terdeteksi 3.376 kA, disusul rele 5 sebagai rele *backup* pada waktu 0.56 detik dengan arus terdeteksi 2.642 kA. Nilai CTI antara rele 4 dan 5 sebesar 0.197 detik. Gambar 10 menunjukkan kurva koordinasi rele menggunakan kurva *standart inverse*.

Rele 10 trip pertama pada waktu 0.433 detik dengan arus yang terdeteksi 3.917 kA, disusul rele 9 sebagai rele *backup* pada waktu 0.631 detik dengan arus terdeteksi 3.352 kA dan selanjutnya rele 14 juga sebagai rele *backup* trip pada 1.12 detik dengan arus yang terdeteksi 0.566 kA. Nilai CTI



(a)

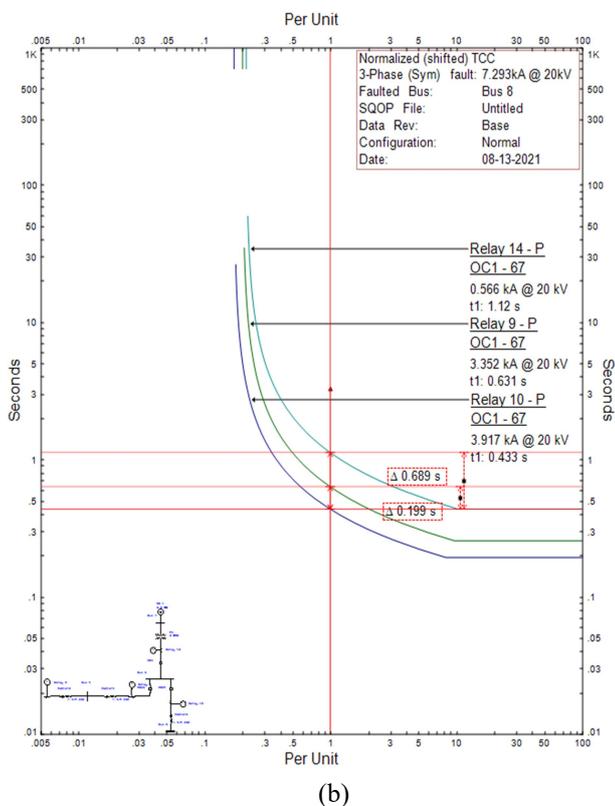
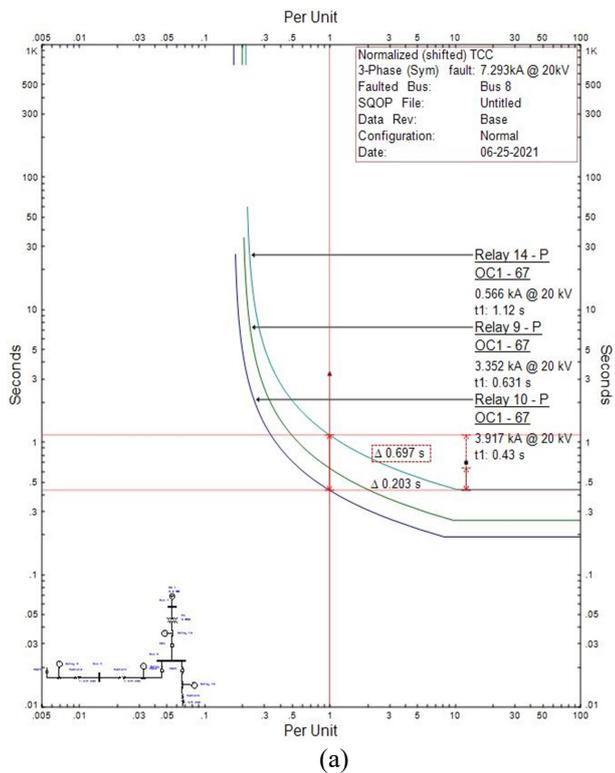


(b)

Gambar 11. Kurva Rele 10, Rele 9 dan Rele 14 Saat Hubung Singkat 3 Fasa Pada Saluran Antara Bus 4 dan Bus 6

antara rele 10 dan 9 sebesar 0.199 detik dan antara rele 10 dengan 14 sebesar 0.697 detik. Gambar 11 menunjukkan kurva koordinasi rele menggunakan kurva *standart inverse*.

Gambar 12. Perbandingan Kurva *Reverse* Rele 4 dan Rele 5 (a) perhitungan manual Dan (b) ANN BPCG Saat Hubung Singkat 3 Fasa Pada Saluran Antara Bus 9 dan Bus 11



Gambar 4.10. Perbandingan Kurva *Forward* Rele 10, rele 9 dan Rele 14 (a) perhitungan manual Dan (b) ANN BPCG Saat Hubung Singkat 3 Fasa Pada Saluran Antara Bus 4 dan Bus 6

TABEL 10. WAKTU OPERASI RELE UTAMA DAN RELE *BACKUP* I

Rele		TD _{utama} (detik)	TD _{backup} (detik)	CTI(detik)
Utama	Backup			
1	2	0.617	0.814	0.1213
	13		0.924	0.311
2	3	0.326	0.519	0.196
3	4	0.3	0.502	0.205
	14		1.11	0.822
4	5	0.359	0.56	0.201
5	6	0.437	0.637	0.202
	15		1.12	0.682
6	1	0.526	0.728	0.204
7	12	0.275	0.476	0.206
8	7	0.609	0.802	0.214
	13		0.924	0.319
9	8	0.522	0.722	0.201
10	9	0.43	0.631	0.203
	14		1.12	0.697
11	10	0.352	0.554	0.204
12	11	0.282	0.482	0.201
	15		1.11	0.836

Tabel 10 merupakan waktu operasi rele ketika terjadi hubung singkat maximum 3 fasa, meliputi rele utama dan rele *backup* yang menggunakan hasil keluaran ANN. Waktu operasi rele utama (TD utama) sudah sesuai syarat yaitu $0.1 \text{ detik} \leq TD_{utama} \leq 1 \text{ detik}$ dan CTI antara rele *backup* $0.2 \text{ detik} \leq CTI$

G. Analisa Perbandingan Waktu Operasi Rele

Berikut merupakan nilai waktu operasi rele setiap kondisi pembangkitan yang diperoleh dari rata-rata di setiap skema. Nilai waktu operasi rele didapat dari masing-masing rele semua skema data manual dan ANN.

TABEL 4.18. DATA HASIL PERBANDINGAN NILAI MANUAL DAN ANN SETIAP KONDISI PEMBANGKITAN

NO.	Skema 1	Skema 2	Skema 3	Skema 4
	Selisih (detik)			
1	0.0009	0.0004	0.0004	0.0004
2	0.0002	0.0009	0.0154	0.0108
3	0.0002	0.0012	0.0003	0.0003
4	0.0006	0.0004	0.0002	0.0007
5	0.0002	0.0005	0.0003	0.0003
6	0.0000	0.0003	0.0003	0.0003

7	0.0004	0.0003	0.0001	0.0004
8	0.0001	0.0001	0.0004	0.0004
9	0.0004	0.0012	0.0006	0.0006
10	0.0004	0.0002	0.0001	0.0001
11	0.0003	0.0005	0.0006	0.0006
12	0.0003	0.0004	0.0006	0.0006
13	0.0052	0.0020	0.0016	0.0016
14	0.0007	0.0006	0.0027	0.0004
15	0.0008	0.0005	0.0003	0.0031
Rata-rata (detik)	0.0007	0.0006	0.0016	0.0014
Rata-rata keseluruhan (detik)	0.0011			
Persentase (%)	0.0714	0.0633	0.1601	0.1377
Rata-rata persentase (%)	0.1081			

Berdasarkan hasil yang di peroleh untuk rata-rata selisih keseluruhan dari TDS rele 1 sampai rele 15 pada setiap kondisi pembangkitan adalah 0.0011 detik. Hasil rata-rata persentase selisih keseluruhan dari TDS rele 1 sampai rele 15 pada setiap kondisi pembangkitan adalah 0.1081%. Nilai selisih dan hasil rata-rata yang sangat kecil membuktikan bahwa tujuan dari ANN untuk meningkatkan efektifitas sistem sudah baik.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil yang didapatkan dari simulasi dan analisis koordinasi rele proteksi pada sistem distribusi loop 9 bus dengan pembangkit tersebar (*distributed generation*) metode yang digunakan *Artificial Neural Network Backpropagation Conjugate Gradient* (ANN BPCG) untuk mendapatkan nilai setting rele berupa TDS dan *Ipickup* untuk mendapatkan waktu operasi rele yang mirip dibandingkan perhitungan manual. Sehingga dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Mendapatkan nilai TDS dan *Ipickup* menggunakan *Artificial Neural Network Backpropagation Conjugate Gradient* (ANN BPCG) dapat memudahkan waktu *setting* operasi rele dalam menentukan setting DOCR dan meningkatkan keandalan dalam meminimalisir gangguan dan lebih tanggap dalam memutus arus sesuai dengan keadaan besar arusnya. Dimana keandalan tersebut nilai yang di dapat dari ANN di bandingkan dengan nilai perhitungan manual sehingga didapatkan nilai kemiripan pada setiap kombinasi pembangkitan.
2. Data *input* dari ANN terdiri dari 4 kombinasi pembangkitan, *iscmax* dan *ifla*. Target *output* ANN terdiri dari 15 rele TDS dan 15 rele *ipickup* di setiap kombinasi pembangkitan.
3. Nilai TDS dan *Ipickup* dari perhitungan manual memiliki kemiripan dengan output ANN. ANN didapatkan nilai *Mean Squared Error* (MSE) = 0.45818 pada neuron 27 iterasi 276.
4. Nilai *output* ANN di ujikan disetiap setting DOCR berupa nilai TDS dan *ipickup* pada setiap kombinasi

pembangkitan, sehingga didapatkan koordinasi rele yang tepat pada setiap kombinasi pembangkitan di sistem distribusi *loop* 9 bus.

5. Hasil yang di peroleh untuk rata-rata selisih keseluruhan dari TDS rele 1 sampai rele 15 pada setiap kondisi pembangkitan adalah 0.0011 detik. Hasil rata-rata persentase selisih keseluruhan dari TDS rele 1 sampai rele 15 pada setiap kondisi pembangkitan adalah 0.1081%. Dengan nilai selisih dan hasil rata-rata yang sangat kecil membuktikan bahwa tujuan dari ANN untuk meningkatkan kehandalan sistem sudah baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abrar Tanjung, "Rekonfigurasi Sistem Distribusi 20 KV Gardu Induk Teluk Lembu dan PLTMG Langgam Power untuk Mengurangi Rugi Daya dan Drop Tegangan", Vol. 11 No. 2, Teknik Elektro Universitas Lancang Kuning, Juni, 2014.
- [2] Aditya Descara Putra, Ardyono Priyadi dan Margo Pujiantara, "Optimalisasi Koordinasi *Directional Over Current Relay* (DOCR) pada Sistem Distribusi Mesh Menggunakan *Modified Adaptive Particle Swarm Optimization* (MAPSO) dengan Pembangkit Tersebar", Vol. 5 No. 2, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya, Januari, 2015.
- [3] Amin Yazdaninejadi, Sajjad Golshannavaz and friend, "Dual-Setting Directional Overcurrent Relays for Protecting Automated Distribution Network", IEE, August, 2017.
- [4] Daeng Rahmatullah, "*Setting* DOCR Adaptif pada Sistem Distribusi dengan Pembangkit Tersebar Menggunakan Algoritma PSO-*Neural Network*", [TESIS], Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Juni, 2017.
- [5] Karyaana, "Pedoman dan Petunjuk Sistem Proteksi Transmisi dan Gardu Induk Jawa Bali", Jakarta, September, 2013.
- [6] Rahim Atmanegara, Istiyo Winarno, Iradiratu DPK, Belly Yan Dewantara, Daeng Rahmatullah. "Optimalisasi Koordinasi *Relay Arus Lebih Kapal Bulk Carrier* 50.000 DWT (*Dead Weight Ton*) Menggunakan *Metode Genetic Algorithm*". Teknik Elektro Fakultas Teknik dan Ilmu Kelautan, Universitas Hang Tuah, Surabaya, Juli, 2019.
- [7] Rizky Fadhli asben, Margo Pujiantara dan Ardyono Priyadi, "Koordinasi Proteksi Adaptif Rele Arus Lebih Digital Menggunakan Metoda *Artificial Neural Network* pada Sistem *Mesh* dengan Pembangkit Tersebar", Vol. 5 No. 2, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya, 2016.
- [8] Turaj Amraee, "Coordination of Directional Overcurrent Relays Using Seeker Algorith ", IEE, Vol. 27 No. 3, July, 2011.