

STUDI ALIRAN DAYA MENGGUNAKAN JARING SARAF TIRUAN *COUNTERPROPAGATION* TERMODIFIKASI

Amirullah^{1,2)}, Ontoseno Penangsang²⁾, Mauridhi Hery Purnomo²⁾

¹⁾Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Bhayangkara, Jl. A. Yani No. 114 Surabaya,

²⁾Jurusan Teknik Elektro-FTI, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Kampus ITS, Sukolilo, Surabaya 60111

E-mail: am9520012003@yahoo.com ; ontosp@telkom.net ; hery@ee.its.ac.id

Abstraksi

Penelitian ini bertujuan menerapkan Jaring Saraf Tiruan (JST) *Counterpropagation* Termodifikasi untuk studi aliran daya pada kondisi kontingensi. Kondisi kontingensi yang dipilih berupa pembebanan berbeda dan saluran lepas. *JST Counterpropagation* Termodifikasi merupakan pengembangan dari *JST Counterpropagation* Termodifikasi, melalui penerapan *JST Constructive Backpropagation* untuk menentukan neuron pada lapis tersembunyi. Permasalahan studi aliran daya dibatasi pada penentuan magnitudo dan sudut tegangan bus. Model *JST Counterpropagation* Termodifikasi 1 dilatih untuk menentukan tegangan bus, sedangkan model *JST Counterpropagation* Termodifikasi 2 dilatih untuk menentukan sudut tegangan bus. Metode aliran daya Newton Raphson digunakan untuk memverifikasi hasil penelitian menggunakan *JST Counterpropagation* Termodifikasi. Penelitian ini akan diterapkan pada sistem IEEE 14 bus. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai error tegangan dan sudut tegangan rata-rata hasil pelatihan *JST Counterpropagation* Termodifikasi sudah memenuhi syarat karena masih berada dibawah nilai Standar Error Estimasi (SEE) sebesar 5%. Dengan demikian *JST Counterpropagation* Termodifikasi dapat dipakai untuk estimasi nilai magnitudo dan sudut tegangan bus pada sistem IEEE 14 bus.

Keywords: Aliran daya, Metode Newton Raphson, *JST Counterpropagation* Termodifikasi, Sistem IEEE 14 bus, Standar Error Estimasi

1. LATAR BELAKANG

Analisis aliran daya dibutuhkan untuk menentukan kondisi operasi sistem tenaga dalam keadaan mantap, melalui pemecahan persamaan aliran daya tetap pada jaringan. Tujuan utama studi aliran daya adalah untuk menentukan magnitudo tegangan, sudut tegangan, aliran daya aktif dan daya reaktif pada saluran lain, serta rugi-rugi transmisi yang muncul dalam sistem tenaga. Studi aliran daya seringkali dipakai sebagai studi dalam berbagai keperluan sistem tenaga dan dibutuhkan pada hampir semua tingkat perencanaan, optimisasi, operasi, dan kontrol sistem tenaga. Pembebanan secara cepat yang aman sangat dibutuhkan dalam sistem tenaga modern untuk memberikan keandalan dan menjamin kelangsungan suplai daya listrik. Perhitungan kondisi operasi pada setiap menit membutuhkan simulasi kejadian untuk beberapa kondisi kontingensi dan kondisi pembebanan berbeda [1].

Metoda analisis numerik melalui penyelesaian persamaan aljabar non-linier telah dikenal untuk mengatasi permasalahan aliran daya [2,3]. Model kecerdasan buatan, seperti sistem cerdas, pengenalan pola, pohon penyelesaian, JST, dan metoda *fuzzy logic* telah banyak diterapkan pada permasalahan pembebanan secara aman [4,5] dan permasalahan sistem tenaga yang lain [6,7]. Diantara beberapa pendekatan ini, aplikasi JST dapat memberikan hasil yang lebih baik dalam sistem tenaga karena mampu menggabungkan pemetaan kompleks lebih akurat

dan cepat. Banyak diantara publikasi penelitian pada bidang ini menggunakan model *multi layer perceptron* (MLP) dengan algoritma pelatihan *Backpropagation* (BP). Kendala pada metoda ini adalah masalah nilai maksimum lokal dan nilai pencocokan yang terlalu besar [4,7,8]. Secara umum pola yang digunakan tergantung pada berapa kecepatan pelatihan dan jumlah unit pada lapis tersembunyi.

Pada referensi [9], diusulkan suatu metoda aliran daya menggunakan JST dengan minimalisasi model. Model MLP terpisah menggunakan metoda pelatihan Lavenberg-Marquardt tingkat kedua sudah dipakai untuk menghitung magnitudo dan sudut tegangan masing-masing bus pada sistem tenaga [10]. Bilangan JST yang diperlukan untuk memecahkan persoalan aliran daya adalah besar, dan tidak mungkin dapat diaplikasikan pada sistem tenaga praktis dengan jumlah bus yang sangat besar. Pada referensi [11] diusulkan penerapan *JST Counterpropagation* untuk studi aliran daya. Metoda ini mampu memberikan pendekatan praktis dalam implementasi pemetaan dan pola pelatihan secara cepat dalam jaringan [12,13]. Kelemahan penelitian ini adalah penentuan jumlah neuron pada lapis tersembunyi menggunakan metoda *trial and error*.

Penelitian ini bertujuan menerapkan *JST Counterpropagation* Termodifikasi untuk studi aliran daya pada kondisi kontingensi. *JST Counterpropagation* Termodifikasi merupakan pengembangan dari *JST Counterpropagation*, melalui penerapan *JST Constructive*

Backpropagation untuk menentukan jumlah neuron pada lapis tersembunyi. Kondisi kontingensi yang dipilih berupa pembebanan berbeda dan saluran lepas. Penelitian ini dibatasi pada penentuan magnitudo dan sudut tegangan bus. Model JST *Counterpropagation* Termodifikasi 1 dilatih untuk menentukan tegangan bus, sedangkan model JST *Counterpropagation* Termodifikasi 2 dilatih untuk menentukan sudut tegangan bus. Metode aliran daya Newton Raphson dipilih untuk memverifikasi hasil penelitian menggunakan JST *Counterpropagation* Termodifikasi. Penelitian ini akan diterapkan pada sistem IEEE 14 bus.

2. LANDASAN TEORI

2.1. Metode Newton Raphson

Tujuan studi aliran daya adalah untuk menentukan nilai magnitudo dan sudut tegangan pada setiap bus, aliran daya aktif dan reaktif pada masing-masing saluran, dan rugi-rugi saluran transmisi pada sistem tenaga. Untuk keperluan studi aliran daya, diasumsikan sistem tenaga tiga fasa dalam kondisi seimbang dan nilai admitansi bersama (*kopling*) antara elemen diabaikan. Variabel yang berhubungan dengan setiap bus pada sistem tenaga berjumlah empat, antara lain; tegangan V_i , sudut fasa tegangan δ_i , daya aktif P_i , daya reaktif Q_i , sehingga total berjumlah $4n$ variabel untuk sistem n bus. Pada setiap bus ada dua besaran yang ditentukan, sedangkan dua besaran yang lain dicari menggunakan persamaan aliran daya $2n$. Dari empat besaran umumnya hanya ada dua nilai yang dicari pada masing-masing bus, dan nilai tersebut tergantung pada dua nilai yang telah ditentukan sebelumnya. Ada tiga jenis bus, antara lain; swing bus (bus referensi), bus generator (PV bus), dan bus beban (PQ bus).

Dari persamaan arus di suatu titik, arus total diinjeksikan ke bus ke- i pada sistem dengan m bus, diberikan oleh persamaan:

$$I_1 = Y_{i1}V_1 + Y_{i2}V_2 + \dots + Y_{im}V_m = \sum_{k=1}^m Y_{ik}V_k \quad (1)$$

Dengan Y_{ik} adalah admitansi saluran antara bus i dan k , serta V_k adalah tegangan pada bus k .

Dalam koordinat polar:

$$\begin{aligned} V_i &= V_i \angle \delta_i = V_i e^{j\delta_i} \\ V_k &= V_k \angle \delta_k = V_k e^{j\delta_k} \\ Y_i &= Y_{ik} \angle \theta_{ik} = |Y_{ik}| e^{j\theta_{ik}} \end{aligned}$$

Nilai δ adalah sudut tegangan bus dan θ_{ik} sudut admitansi bus. Pada bus ke- i nilai konjugate daya kompleks diberikan oleh persamaan:

$$S_i^* = P_i - jQ_i = V_i^* I_i \quad (2)$$

$$= V_i^* \sum_{k=1}^m (Y_{ik} V_k) \quad (3)$$

$$\text{atau } P_i - jQ_i = \sum_{k=1}^m [V_i |Y_{ik}| V_k e^{-j(\theta_{ik} + \delta_i - \delta_k)}] \quad (4)$$

Daya aktif pada bus ke- i adalah:

$$P_i = \text{Real} \sum_{k=1}^m [V_i |Y_{ik}| V_k e^{-j(\theta_{ik} + \delta_i - \delta_k)}] \quad (5)$$

$$\text{atau } P_i = \sum_{k=1}^m [V_i |Y_{ik}| V_k \cos(\theta_{ik} + \delta_i - \delta_k)]$$

$$P_i = \sum_{k=1}^m V_i V_k [G_{ik} \cos(\delta_i - \delta_k) + B_{ik} \sin(\delta_i - \delta_k)] \quad (6)$$

Dengan cara yang sama, daya reaktif pada bus ke- i adalah:

$$Q_i = \text{Imaginary} \sum_{k=1}^m [V_i |Y_{ik}| V_k e^{-j(\theta_{ik} + \delta_i - \delta_k)}] \quad (7)$$

$$\text{atau } Q_i = \sum_{k=1}^m [V_i |Y_{ik}| V_k \sin(\theta_{ik} + \delta_i - \delta_k)]$$

$$Q_i = \sum_{k=1}^m V_i V_k [G_{ik} \sin(\delta_i - \delta_k) - B_{ik} \cos(\delta_i - \delta_k)] \quad (8)$$

Persamaan (6) dan (8) selanjutnya dikenal dengan persamaan aliran daya statis.

Persamaan aliran daya dengan metoda ini digunakan untuk menghitung perbaikan nilai tegangan dan dinyatakan oleh persamaan 9:

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H & N \\ J & L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \frac{\Delta V}{V} \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$\text{dengan: } H_{ik} = \frac{\partial P_i}{\partial \delta_i}; \quad N_m = \frac{\partial P_i}{\partial V_k} V_k$$

$$J_{km} = \frac{\partial Q_k}{\partial \delta_k}; \quad L_{km} = \frac{\partial P_i}{\partial V_k} V_k$$

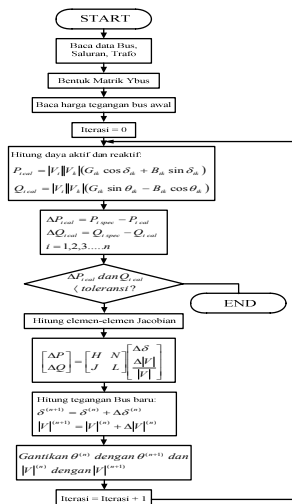
Dengan H, N, J, L adalah Jakobian submatriks.

Persamaan (9) dapat ditulis dalam:

$$\begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \frac{\Delta V}{V} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H & N \\ J & L \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} \quad (10)$$

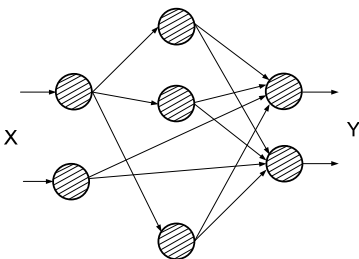
Penyelesaian dari Persamaan (10) memberikan vektor koreksi $\Delta \delta$ untuk tipe bus PV dan PQ dan ΔV untuk semua tipe bus PQ, yang digunakan untuk memperbaiki estimasi awal dari nilai $\Delta \delta$ dan ΔV . Proses iterasi ini akan terus dilakukan hingga vektor mismatch ΔP untuk semua tipe bus PV dan PQ serta ΔP untuk semua bus PQ menjadi lebih kecil dari angka toleransi ϵ yang telah ditentukan sebelumnya. Berdasarkan Persamaan (9) dan (10), pada masing-

masing iterasi, elemen Jakobian dapat dihitung dan hasil tersebut harus diinverskan. Adapun algoritma penyelesaian aliran daya menggunakan metoda Newton Raphson ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Algoritma Penyelesaian Aliran Daya Menggunakan Metoda Newton Raphson [15]

2.2. Metoda JST Counterpropagation Termodifikasi

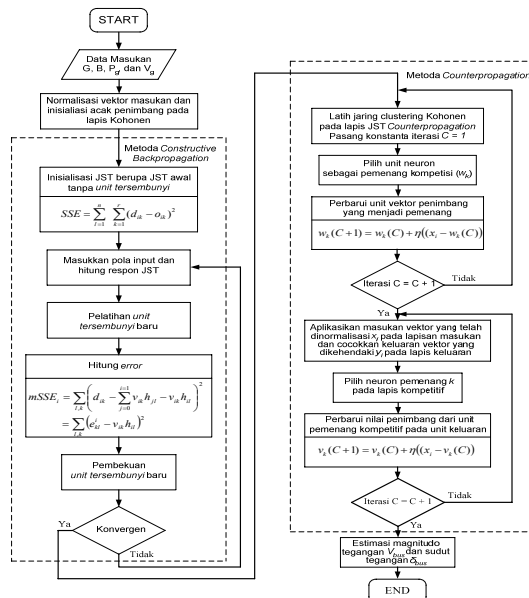


Gambar 2. JST Counterpropagation [16]

Model JST Counterpropagation ditunjukkan pada Gambar 2. JST Counterpropagation adalah perpaduan dari kelompok jaringan Kohonen dan Grosberg outstar. Model JST Counterpropagation menggunakan dua model pelatihan yaitu pelatihan terbimbing dan pelatihan tidak terbimbing. Jaringan Kohonen menerapkan strategi kompetitif untuk beberapa penimbang dari unit lapis input ke unit lapis tersembunyi. Sedangkan Grosberg outstar memetakan neuron yang dipilih pada output yang diinginkan. Pelatihan terbimbing dan tidak terbimbing diterapkan untuk melatih model JST Counterpropagation. Metoda ini mampu mereduksi jumlah pelatihan 1/100 kali lebih kecil dari JST Backpropagation standar.

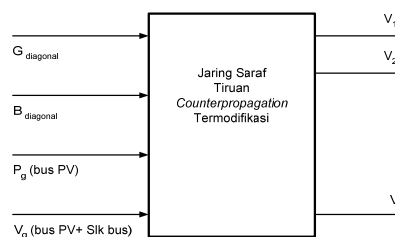
Makalah ini membahas penerapan JST Counterpropagation Termodifikasi untuk studi aliran daya pada kondisi kontingensi. JST Counterpropagation Termodifikasi merupakan pengembangan dari JST Counterpropagation, melalui penerapan JST Constructive Backpropagation untuk menentukan neuron pada

lapis tersembunyi. Dua model JST Counterpropagation Termodifikasi akan dikembangkan pada penelitian ini. Model JST Counterpropagation Termodifikasi 1 digunakan untuk menghitung tegangan bus. Sedangkan model JST Counterpropagation Termodifikasi 2 digunakan untuk menghitung sudut tegangan bus. Gambar 3 menunjukkan algoritma penyelesaian metode aliran daya menggunakan JST Counterpropagation Termodifikasi.



Gambar 3. Algoritma penyelesaian metode aliran daya menggunakan JST Counterpropagation Termodifikasi

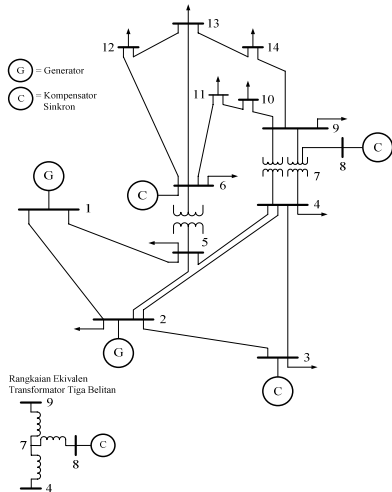
Gambar 4 menunjukkan arsitektur dari usulan JST Counterpropagation Termodifikasi.



Gambar 4. Arsitektur JST Counterpropagation Termodifikasi

3. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

3.1. Sistem IEEE 14 Bus



Gambar 5. Single Line Diagram untuk Sistem IEEE 14 Bus [14]

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan data dari sistem IEEE 14 bus [14]. Model sistem ini terdiri dari 14 bus, 5 generator, 20 saluran transmisi, dan 3 transformator dengan urutan bus adalah; bus 1 sebagai slack bus dengan referensi tegangan $1,06 \angle 0^0$ pu, bus 2, 3, 6, dan 8 sebagai bus generator (PV), serta sisanya sebagai bus beban (PQ). Beban sistem terdapat pada 11 bus dengan beban total berjumlah 259 MW dan 77,4 MVAR. Single line diagram untuk sistem IEEE 14 bus ditunjukkan pada Gambar 5.

3.2. Penentuan Magnitudo dan Sudut Tegangan dengan Metode Newton Raphson

Untuk pelatihan JST, sistem IEEE 14 Bus disimulasikan dalam kondisi kontingensi. Total keadaan kontingensi yang dipilih berjumlah 25 kondisi. Keadaan kontingensi pertama adalah 5 kondisi pembebanan dan dilakukan secara bervariasi mulai 50%, 75%, 100%, 125%, dan 150% dari beban nominal. Keadaan kontingensi kedua adalah pelepasan pada masing-masing saluran. Karena sistem IEEE 14 Bus terdiri dari 20 saluran, maka simulasi saluran lepas berjumlah 20 kondisi. Hasil perhitungan tegangan dan sudut tegangan untuk kondisi pembebanan 100% menggunakan metode aliran daya Newton-Raphson ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Perhitungan Tegangan dan Sudut Tegangan

Sistem IEEE 14 Bus pada Kondisi Pembebanan 100%, Penyimpangan Daya Maksimum = 0.000722159, Jumlah iterasi = 3

No Bus	Tegangan		P _G (pu)	Q _G (pu)	P _L (pu)	Q _L (pu)
	V (pu)	δ (deg)				
1	1,060	0	2,3243	-0,22590	0	0
2	1,045	-4,9810	0,4000	0,34359	0,217	0,127
3	1,010	-12,719	0	0,20560	0,942	0,190
4	1,017	-10,278	0	0	0,478	0
5	1,020	-8,7980	0	0	0,076	0,016
6	1,070	-14,423	0	0,19846	0,112	0,075
7	1,051	-13,269	0	0	0	0
8	1,090	-13,269	0	0,23840	0	0
9	1,035	-14,849	0	0	0,295	0,166
10	1,033	-15,056	0	0	0,090	0,058
11	1,048	-14,858	0	0	0,035	0,018
12	1,054	-15,274	0	0	0,061	0,016
13	1,047	-15,315	0	0	0,135	0,058
14	1,022	-16,076	0	0	0,149	0,050

Pada kondisi pembebanan 100%, tegangan pada bus generator 2, 3, 6, dan 8 tetap sebesar 1,045 pu, 1,01 pu, 1,07 pu, dan 1,09 pu. Nilai sudut tegangan bus 2, 3, 6, dan 8 masing-masing sebesar -4,9810 derajat, -12,719 derajat, -14,423 derajat, -14,849 derajat. Pada kondisi pembebanan 100% ini generator 2, 3, 6, dan 8 membangkitkan daya reaktif sebesar 0,34359 pu, 0,20560 pu, 0,19846 pu, dan 0,23840 pu.

3.3. Penentuan Magnitudo dan Sudut Tegangan Bus dengan JST Counterpropagation Termodifikasi

Analisa perhitungan studi aliran daya menggunakan JST Counterpropagation Termodifikasi pada Sistem IEEE 14 bus dilakukan dengan tahapan sebagai berikut. Model sistem IEEE 14 bus terdiri dari 14 bus dan 20 saluran. Adapun urutan sistem ini adalah; bus 1 sebagai slack bus dengan referensi tegangan $1,06 \angle 0^0$ pu, bus 2, 3, 6, dan 8 sebagai bus generator (PV), dan sisanya sebagai bus beban (PQ). Model JST Counterpropagation Termodifikasi 1 dilatih untuk menentukan tegangan bus, sedangkan model JST Counterpropagation Termodifikasi 2 dilatih untuk menentukan sudut tegangan bus. Jumlah keseluruhan input adalah 34 yang terdiri dari nilai diagonal dari G dan B, daya aktif dan reaktif pada bus beban dinyatakan dalam admitansi konstan dan dijumlahkan ke masing-masing elemen diagonal G dan B, daya aktif pada bus generator 2, tegangan pada 4 bus generator dan slack bus. Pelatihan dan pengujian JST Counterpropagation Termodifikasi dilakukan dengan 25 kondisi kontingensi, masing-masing 5 kondisi pembebanan berbeda dan 20 kondisi saluran lepas. Hasil simulasi magnitudo dan sudut tegangan aliran daya menggunakan Metode Newton Raphson ditetapkan sebagai data target.

Parameter input dan target untuk kondisi pembebanan 100% disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Parameter Input dan Target pada sistem IEEE 14 Bus untuk Kondisi Pembebanan 100%

No. Bus	Input				Target	
	G (pu)	B (pu)	P _G (pu)	V _G (pu)	V (pu)	δ (deg)
1	6,02500	-19,3961	0	1,060	1,060	0
2	9,72000	-30,3030	0,4	1,045	1,045	-4,9810
3	4,04450	-9,95860	0	1,010	1,010	-12,719
4	10,9752	-38,5928	0	0	1,017	-10,278
5	9,64110	-35,4949	0	0	1,020	-8,7980
6	6,67770	-17,4062	0	1,070	1,070	-14,423
7	0	-19,5490	0	0	1,051	-13,269
8	0	-5,67700	0	1,090	1,090	-15,274
9	5,60150	-24,4375	0	0	1,035	-14,849
10	5,86730	-14,8227	0	0	1,033	-15,056
11	3,86780	-8,51340	0	0	1,048	-14,858
12	4,06990	-5,44230	0	0	1,054	-15,278
13	6,84810	-10,7226	0	0	1,047	-15,315
14	2,70370	-5,39190	0	0	1,022	-16,076

Tabel 3 menunjukkan parameter-parameter yang digunakan untuk melakukan proses pelatihan JST Counterpropagation Termodifikasi pada sistem IEEE 14 Bus untuk semua kondisi kontingensi.

Tabel 3. Parameter Pelatihan JST Counterpropagation Termodifikasi pada sistem IEEE 14 Bus

No.	Parameter	Nilai
1	Epoch Maksimum	1000
2	Mean Square Error Max	1e-6
3	Learning rate	0,1
4	Momentum	0,8
6	Fungsi aktivasi	tansig, purelin
7	Fungsi pelatihan	trainlm

Gambar 6 menunjukkan grafik perbandingan tegangan setiap bus pada sistem IEEE 14 bus antara metode Newton-Raphson dengan JST Counterpropagation Termodifikasi pada kondisi pembebanan 100%.

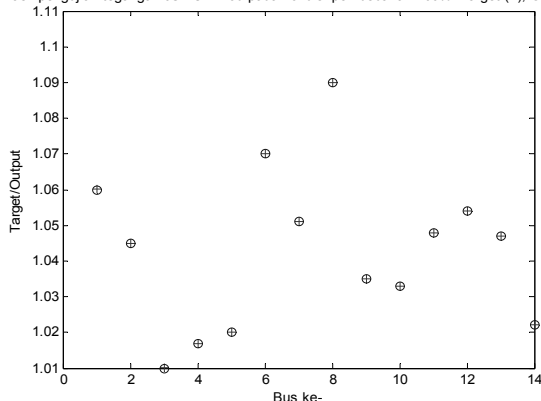
Gambar 6. Grafik perbandingan tegangan setiap bus pada sistem IEEE 14 Bus antara Metode Newton Raphson dengan JST Counterpropagation Termodifikasi pada kondisi pembebanan 100%

Dengan proses dan parameter pelatihan yang sama seperti pada penentuan tegangan, selanjutnya akan ditentukan nilai sudut tegangan setiap bus pada sistem IEEE 14 bus dan hasilnya ditunjukkan pada Tabel 4 dan 5.

Tabel 4. Perbandingan tegangan setiap bus pada sistem IEEE 14 Bus antara Metode Newton Raphson dengan JST Counterpropagation dan JST Counterpropagation Termodifikasi pada pembebanan 100%

No. Bus	Tegangan Bus				
	NR	JST-CP	Error	JST-CP-Mod	Error
1	1,060	1.0600	0.0000	1.0600	0.0000
2	1,045	1.0450	0.0000	1.0450	0.0000
3	1,010	1.0100	0.0000	1.0100	0.0000
4	1,017	1.0170	0.0000	1.0170	0.0000
5	1,020	1.0201	0.0001	1.0200	0.0000
6	1,070	1.0700	0.0000	1.0700	0.0000
7	1,051	1.0510	0.0000	1.0510	0.0000
8	1,090	1.0900	0.0000	1.0900	0.0000
9	1,035	1.0350	0.0000	1.0350	0.0000
10	1,033	1.0330	0.0000	1.0330	0.0000
11	1,048	1.0480	0.0000	1.0480	0.0000
12	1,054	1.0540	0.0000	1.0540	0.0000
13	1,047	1.0470	0.0000	1.0470	0.0000
14	1,022	1.0220	0.0000	1.0220	0.0000
	Error rata-rata		0.0000		0.0000
	Epoch		07		00
	Unit-tersembunyi		4		23
			250		3

Hasil pengujian tegangan JST CP-Mod pada kondisi pembebanan 100%: Target (+), Output (o)



Tabel 5. Perbandingan sudut tegangan setiap bus pada sistem IEEE 14 Bus antara Metode Newton Raphson dengan JST *Counterpropagation* dan JST *Counterpropagation* Termodifikasi pada pembebanan 100%

No. Bus	Sudut Tegangan Bus				
	NR	JST-CP	Error	JST-CP-Mod	Error
1	0,000	0.0001	0.0001	0.0005	0.0005
2	-4,981	-4.9810	0.0000	-4.9810	0.0000
3	-12,719	-12.7190	0.0000	-12.7197	0.0007
4	-10,278	-10.2779	0.0001	-10.2754	0.0026
5	-8,798	-8.7979	0.0001	-8.8003	0.0023
6	-14,423	-14.4229	0.0001	-14.4227	0.0003
7	-13,269	-13.2690	0.0000	-13.2665	0.0025
8	-13,269	-13.2690	0.0000	-13.2685	0.0005
9	-14,849	-14.849	0.0000	-14.8485	0.0005
10	-15,056	-15.0560	0.0000	-15.0535	0.0025
11	-14,858	-14.8580	0.0000	-14.8696	0.0116
12	-15,274	-15.2740	0.0000	-15.2725	0.0015
13	-15,315	-15.315	0.0000	-15.3152	0.0002
14	-16,076	-16.0760	0.0000	-16.0684	0.0076
	Error rata-rata		0.00002		0.00237
	Eph		9		9
	Unit-tersembunyi		28		39
			250		3

3.4. Analisis Simulasi Aliran Daya menggunakan JST *Counterpropagation* dan *Counterpropagation* Termodifikasi pada Sistem IEEE 14 Bus

Tabel 6 dan 7 menunjukkan hasil pelatihan magnitudo dan sudut tegangan bus pada Sistem IEEE 14 Bus menggunakan JST *Counterpropagation* dan JST *Counterpropagation* Termodifikasi pada beberapa kondisi kontingensi.

Tabel 6. Hasil Pelatihan Tegangan Bus pada Sistem IEEE 14 Bus Menggunakan JST *Counterpropagation* dan JST *Counterpropagation* Termodifikasi

No	Kndsi Kntgnsi	Pelatihan Tegangan					
		JST CP			JST-CP-Mod		
		UT	Eph	Err. rt2	UT	Eph	Err.rt2
1	B. 50%	250	4	0.000000	3	57	0.0000
2	B. 75%	250	4	0.000000	3	23	0.0000
3	B. 100%	250	4	0.000007	3	23	0.0000
4	B. 125%	250	4	0.000236	2	71	0.0000
5	B. 150%	250	3	0.000250	3	44	0.0000
6	1-2 lepas	250	4	0.000043	3	18	0.0000
7	1-5 lepas	250	3	0.000000	3	28	0.0000
8	2-3 lepas	250	4	0.000157	3	20	0.0000
9	2-4 lepas	250	5	0.000000	2	20	0.0000
10	2-5 lepas	250	4	0.000000	3	33	0.0000
11	3-4 lepas	250	4	0.000000	3	27	0.0000
12	4-5 lepas	250	4	0.000000	2	206	0.0000
13	4-7 lepas	250	4	0.000000	2	25	0.0000
14	4-9 lepas	250	4	0.000000	3	32	0.0000
15	5-6 lepas	250	4	0.000000	3	109	0.0000

16	6-11 lps	250	4	0.000000	3	34	0.0000
17	6-12 lps	250	4	0.000000	3	165	0.0000
18	6-13 lps	250	4	0.000000	3	18	0.0000
19	7-8 lepas	250	4	0.000014	3	340	0.0000
20	7-9 lepas	250	4	0.000000	4	62	0.0000
21	9-10 lps	250	4	0.000000	4	35	0.0000
22	9-14 lps	250	4	0.000007	3	19	0.0000
23	10-11 lp	250	4	0.000000	3	76	0.0000
24	12-13 lp	250	4	0.000000	3	93	0.0000
25	13-14 lp	250	4	0.000000	3	14	0.0000

Tabel 7. Hasil Pelatihan Sudut Tegangan Bus pada Sistem IEEE 14 Bus dengan JST *Counterpropagation* dan JST *Counterpropagation* Termodifikasi

No	Kndsi Kntgnsi	Pelatihan Sudut Tegangan					
		JST CP			JST-CP-Mod		
		UT	Eph	Err. rt2	UT	Eph	Err.rt2
1	B. 50%	250	5	0.000000	4	13	0.000607
2	B. 75%	250	30	0.000023	4	14	0.000021
3	B. 100%	250	28	0.000029	3	39	0.002379
4	B. 125%	250	94	0.000021	3	66	0.000921
5	B. 150%	250	224	0.000314	3	43	0.001107
6	1-2 lepas	250	14	0.000093	3	30	0.001914
7	1-5 lepas	250	44	0.000150	4	13	0.000229
8	2-3 lepas	250	82	0.000371	4	28	0.000164
9	2-4 lepas	250	56	0.000000	3	22	0.001286
10	2-5 lepas	250	31	0.000000	4	47	0.000376
11	3-4 lepas	250	17	0.000000	3	42	0.000271
12	4-5 lepas	250	20	0.000007	3	63	0.001179
13	4-7 lepas	250	37	0.000000	3	24	0.000057
14	4-9 lepas	250	34	0.000000	3	18	0.000000
15	5-6 lepas	250	17	0.000000	4	13	0.002286
16	6-11 lps	250	5	0.000471	3	41	0.000821
17	6-12 lps	250	7	0.000000	3	89	0.000221
18	6-13 lps	250	5	0.000000	3	28	0.001914
19	7-8 lepas	250	24	0.000064	3	48	0.001664
20	7-9 lepas	250	67	0.000000	4	485	0.003186
21	9-10 lps	250	28	0.000000	3	47	0.000221
22	9-14 lps	250	21	0.000000	3	102	0.001293
23	10-11 lp	250	22	0.000000	3	13	0.000186
24	12-13 lp	250	32	0.000521	3	36	0.000000
25	13-14 lp	250	62	0.000000	3	157	0.001036

Berdasarkan Tabel 6 dan 7 dapat dilihat bahwa error magnitudo dan sudut tegangan rata-rata hasil pelatihan tegangan menggunakan JST *Counterpropagation* dan JST *Counterpropagation* Termodifikasi untuk semua kondisi kontingensi sudah memenuhi syarat karena masih berada dibawah nilai Standar Error Estimasi (SEE) sebesar 0,05 atau 5%. Dari tabel 6 dapat dilihat bahwa error tegangan rata-rata hasil pelatihan JST *Counterpropagation* Termodifikasi lebih kecil dibandingkan dengan JST *Counterpropagation*. Tabel 6 dan 7 menunjukkan bahwa JST *Counterpropagation* Termodifikasi mempunyai unit tersembunyi lebih sedikit dibandingkan JST *Counterpropagation*, karena JST *Counterpropagation* Termodifikasi mampu melakukan adaptasi jumlah unit tersembunyi secara otomatis dimulai dengan suatu JST kecil dan mampu mengembangkan unit tersembunyi serta penimbang tambahan sampai didapatkan penyelesaian yang dikehendaki.

4. KESIMPULAN

Makalah ini menghasilkan kesimpulan antara-lain: a) Error pelatihan magnitudo dan sudut tegangan bus menggunakan JST *Counterpropagation* Termodifikasi untuk semua kondisi kontingensi pada sistem IEEE 14 Bus sudah memenuhi syarat karena masih berada dibawah nilai SEE sebesar 0,05 atau 5%. Dengan demikian JST *Counterpropagation* Termodifikasi dapat dipakai untuk estimasi nilai magnitudo dan sudut tegangan bus pada sistem IEEE 14 bus; b) JST *Counterpropagation* Termodifikasi lebih efektif untuk estimasi magnitudo dan sudut tegangan bus dibandingkan JST *Counterpropagation*, karena mampu melakukan adaptasi jumlah unit tersembunyi secara otomatis, sedangkan penentuan unit tersembunyi pada JST *Counterpropagation* nilainya dibuat tetap dan menggunakan metoda *trial and error*.

PUSTAKA

- [1] S. Weerasoorija, et. al, "Toward Static Security Assesement of Large Power System using ANN", *IEE Proc-C*, Vol. 139. pp. 64-70.
- [2] B. Stott., (1974), "Review of load flow calculation methods" *IEEE Proc.*, Vol. 62, PP.916-929.
- [3] R. Van Amarongen., (1990), "A General-Purpose Version of The Fast Decoupled Load Flow", *IEEE Trans. on Power System.*, Vol. 4, PP. 760-770.
- [4] T.S. Dillon., (1991), ANN Application in Power System and Relationship to Symbol Methods", *Electric Power & Energy System*, Vol. 13, nomor 2, 1991, PP 66/72.
- [5] T. Jain, et. al, "Fast Voltage Contingency Screening Using Radial Basis Function Neural Network" *IEEE Trans on Power System*, Vol 18, No. 4.
- [6] D. Thukaram, et. al., (2005), "ANN and Support Vector Machine Approach for Locating Faults in Radial Distribution Systems," *IEEE Transaction on Power Delivery*, Vol 20, No. 2, pp 710-721.
- [7] Niu Dong Xioa, et. al, (2005), "Short Term Load Forecasting Model Using Support Vector Machine Based on ANN," *Proceeding of 2005 Int. Conference on Machine Learning and Cybernetic*, Vol. 7, 18-21 Agustus 2005, pp 4260-4265.
- [8] L. Srivastava, et. al, (1997), ANN Application in Power System: An Overview and Key Issues," *Int. Conference on computer application in Elect Eng. Recent Advances (CERA 97) UOR Roorkey India*, PP 397-403.
- [9] T.T. Nguyen, "Neural Network Load Flow, (1995)", *IEE Proceeding-Gemer. Trans. Distribution.*, Vol. 142, No. 1, pp 139-144.
- [10] Leonardo Paucar, and Marcos J Rider, (2002) "ANN for Solving Power Flow Problem in Electric Power System, *Electric Power System Research*, Vol. 62, pp 139-144.
- [11] J. Krishna dan L. Srivastava, (2006), "Counterpropagation Neural Network for Solving Power Flow Problem", *International Journal of Intelligence Technology.*, Vol. 1 Number 1.
- [12] K.L. Lo, et. al, (1998), "Fast Real Power Contingency Rangkung Using CPNN," *IEEE Trans on Power System*, Vol. 13, No. 4, pp. 1259-1264.
- [13] Li Min Fu, (1994), "Neural Network in Computer Intelligence", Mc Graw-Hill International Edition.
- [14] Sameh Kamel Merna Kodsi, IEEE Student Member, Cludio Canezares, IEEE Senior Member, (2003), "Modelling and Simulation of IEEE 14 Bus System with Fact Controller", *Technical Report*, 2003-3.
- [15] Hadi Saadat., (1999), "Power System Analysis", *Schaum's Outline Series in Electronic & Electrical Engineering*, WCB McGraw Hill, Milwaukee School of Engineering, New York.
- [16] Mauridhi Hery P. dan Agus Kurniawan, (2006), "Supervised Neural Network dan Aplikasinya", Edisi Pertama, Yokyakarta, Graha Ilmu.