

Prediksi Produksi Energi Listrik PLTA Ir. H. Djuanda Menggunakan Algoritma Jaringan Syaraf Tiruan dengan Pendekatan *Backpropagation*

The Prediction of PLTA Ir. H. Djuanda Electrical Energy Production using Artificial Neural Network Algorithm with Backpropagation Approach

¹Yuliani Putri Handayani, ²Farid Hijri B, ³Respitawulan

^{1,2}*Prodi Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Islam Bandung, Jl. Tamansari No.1 Bandung 40116*

email: ¹yuliani.putri96@gmail.com, ²faridhbadruzzaman@gmail.com, ³respitawulan@unisba.ac.id

Abstract. The production of PLTA Djuanda's electricity influenced by water discharge that entering the turbin, electricity load and production of the electrical energy. The variables will be used to predict the electrical energy production using artificial neural network (ANN) with backpropagation approach. ANN algorithm is a computation system whose architecture and operation comes from biological neural inside the brain. The calculation is done using MATLAB based on a certain epoch and MSE (Mean Square Error) value. The result is production of electricity prediction with training and testing. The calculation with backpropagation algorithm then compared to the field data. In April, the average difference between the real data with the production using Traingd function is 14%, Traingdx function is 17%, and Traincgb function is 53%. In July, average difference between real data and the prediction result using Traingd function is 9%, Traingdx function is 7%, and Traincgb is 11%. Thus, in April, the best result was given by Traingd and, in July, by Traingdx.

Keyword : Artificial Neural Network, backpropagation algorithm, PLTA Djuanda, Electricity.

Abstrak. Dalam produksi listrik PLTA Djuanda, variabel yang mempengaruhi hasil produksi energi listrik adalah debit air yang masuk ke turbin, beban dan produksi energi listrik. Variabel tersebut digunakan untuk memprediksi besaran produksi listrik menggunakan algoritma Jaringan Syaraf Tiruan (JST) dengan pendekatan *backpropagation*. Algoritma JST adalah sistem komputasi dengan arsitektur dan operasinya diilhami dari pengetahuan sel syaraf biologi di dalam otak. Perhitungan menggunakan MATLAB berdasarkan nilai epoch dan MSE (*Mean Square Error*). Hasilnya adalah prediksi produksi energi listrik dengan proses pelatihan dan pengujian. Hasil perhitungan dengan algoritma Backpropagation dibandingkan dengan data lapangan. Pada bulan April dari ketiga fungsi didapat bahwa rata-rata persentase selisih data asli dengan hasil prediksi dengan menggunakan fungsi Traingd mencapai 14%, fungsi Traingdx mencapai 17% dan fungsi Traincgb mencapai 53%. Pada bulan Juli dari ketiga fungsi didapat bahwa rata-rata persentase selisih data asli dengan hasil prediksi dengan fungsi Traingd mencapai 9%, fungsi Traingdx mencapai 7% dan fungsi Traincgb mencapai 11%. Jadi untuk bulan April hasil terbaik diberikan oleh Traingd dan bulan Juli oleh Traingdx.

Kata Kunci: Jaringan Syaraf Tiruan, algoritma *Backpropagation*, PLTA Djuanda, Energi Listrik.

A. Pendahuluan

PLTA Ir. H. Djuanda merupakan salah satu PLTA terbesar di Indonesia. Pembangunan bendungan Ir. H. Djuanda pada tahun 1957. Bendungan Djuanda memiliki kegunaan untuk pembangkitan listrik, pariwisata, irigasi, dan penyediaan air baku untuk air minum dan industri. Pembangkit listrik di bendungan Djuanda memiliki kapasitas 187,5 MW pada TMA +107 m. Komponen pokok pada Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) yang mengubah energi potensial air menjadi energi gerak dan kemudian menjadi energi listrik adalah turbin dan generator. Turbin tersebut berfungsi untuk mengubah energi potensial air menjadi energi gerak. Energi gerak tersebut yang menggerakkan generator, sehingga menghasilkan energi listrik.

Melakukan penelitian dengan judul Prakiraan Beban Listrik Kota Pontianak dengan Jaringan Syaraf Tiruan (*Artificial Neural Network*), variabel yang digunakan pada penelitian tersebut yaitu temperatur udara dan beban listrik dalam 24 jam. Dari

kedua variabel tersebut diprediksi beban listrik kota Pontianak untuk 5 bulan berikutnya^[1].

Jaringan Syaraf Tiruan (*Artificial Neural Network*) atau disingkat JST adalah sistem komputasi dengan arsitektur dan operasinya diilhami dari pengetahuan tentang sel syaraf biologi di dalam otak. JST dapat digambarkan sebagai model matematis dan komputasi untuk fungsi *aproksimasi nonlinear*, klasifikasi data, *cluster* dan *regresi non parametric* atau sebagai sebuah simulasi dari koleksi model syaraf biologi^[1].

Produksi energi listrik yang dihasilkan oleh PLTA Djuanda dalam setiap harinya mengalami perbedaan. Perbedaan tersebut diakibatkan oleh banyaknya turbin yang beroperasi, volume air yang masuk ke turbin dan juga tinggi jauhnya air. Maka dari itu, dengan menggunakan jaringan syaraf tiruan pada penelitian ini akan dilakukan prediksi untuk produksi energi listrik PLTA Djuanda.

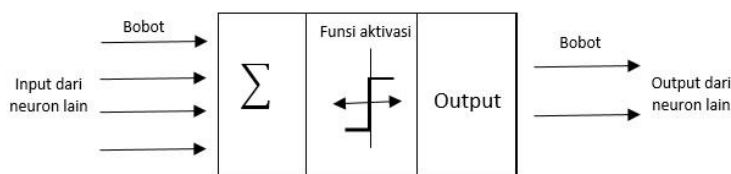
PLTA Djuanda memiliki 6 unit turbin yang letak pintu airnya tidak sama dan ke 6 unit turbin ini tidak setiap hari dioperasikan semuanya. Debit air yang masuk dan keluar setiap harinya berbeda, yang mempengaruhi prakiraan produksi energi listrik jangka pendek. Jadi, dalam produksi listrik PLTA Djuanda, variabel yang digunakan untuk prediksi dengan algoritma JST dengan pendekatan *backpropagation* adalah debit air yang masuk ke turbin, beban dan produksi energi listrik.

B. Landasan Teori

Penentuan Pola Input dan Output

Penentuan pola input dari prediksi ini adalah data air masuk ke turbin per hari yang memperlihatkan debit air yang masuk dalam setiap harinya selama 30 hari. Total beban unit atau pola beban unit besok (yang akan datang) dipengaruhi oleh pola beban kemarin dan hari ini. Dan produksi energi listrik yang dijadikan pola input^[1].

Pola output atau keluaran yang diharapkan dari model atau jaringan adalah berupa prediksi atau prakiraan produksi energi listrik mendatang. Variabel yang mempengaruhi produksi energi listrik merupakan air masuk ke turbin, total beban unit sebagai input jaringan. Berikut adalah gambar diagram blok dari model JST yang akan dikembangkan :



Gambar 1. Model Struktur JST

Tabel 1. Input - Output Model Jaringan

Input Model JST (X_n)	Keterangan
X_1, \dots, X_{30}	Data air masuk turbin H-1, 30 neuron input
X_{31}, \dots, X_{60}	Data air masuk turbin H, 30 neuron input
X_{61}, \dots, X_{90}	Data total beban unit H-1, 30 neuron input
X_{91}, \dots, X_{120}	Data total beban unit H, 30 neuron input
X_{121}, \dots, X_{150}	Data produksi energi listrik, 30 neuron input

Output Model JST (Y_n)	Keterangan
Y_1, \dots, Y_{30}	Keluaran dari model JST berupa produksi energi listrik bulan depan (prakiraan) per hari, 30 neuron output

Jaringan propagasi balik (*backpropagation*) merupakan salah satu algoritma yang sering digunakan dalam menyelesaikan persoalan atau masalah yang rumit. Algoritma pelatihan jaringan syaraf tiruan propagasi balik terdiri atas dua langkah, yaitu perambatan/propagasi maju dan perambatan/propagasi mundur. Langkah perambatan maju yang diberikan selama jaringan mengalami pelatihan. Jaringan propagasi balik terdiri atas 3 atau lebih lapisan/*layer*. Perbedaannya hanya pada jumlah lapisan tersembunyi yang dimilikinya, ada yang 1 lapisan dan ada yang lebih dari 1 lapisan. Pada setiap lapisan, tiap unit pengolah melakukan penjumlahan berbobot dan menerapkan fungsi sigmoid untuk menghitung keluarannya. Untuk menghitung nilai penjumlahan berbobot digunakan rumus:

$$S_j = \sum_{i=0}^n X_i w_{ji} \dots \dots \dots (1)$$

Dengan :

X_i = masukan yang berasal dari unit i

w_{ji} = bobot sambungan dari unit i ke unit j .

Perhitungan kesalahan (*error*) merupakan pengukuran bagaimana jaringan dapat belajar dengan baik, sehingga jika dibandingkan dengan pola yang baru akan dengan mudah dikenali. Kesalahan (*error*) pada keluaran jaringan merupakan selisih antara keluaran sebenarnya (*current output*) dan keluaran yang diinginkan (*desired output*) atau target^[1].

Selisih yang dihasilkan antara keduanya biasanya ditentukan dengan cara dihitung menggunakan persamaan :

Sum Square Error (SSE)

$$SSE = \sum_p \sum_j (T_{jp} - Y_{jp})^2 \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan :

T_{jp} = nilai keluaran yang diinginkan atau target jaringan syaraf

Y_{jp} = nilai keluaran jaringan syaraf

Hasil simulasi diberi label output jaringan yang akan dibandingkan dengan output (target). Perbandingan tersebut dibandingkan kesalahannya dengan MSE, dengan rumus^[2] :

Mean Square Error (MSE)

$$MSE = \frac{\sum(Y_i - \tilde{Y}_i)^2}{n} = \frac{\sum e_i^2}{n} \dots \dots \dots (3)$$

Arsitektur jaringan terbaik dipilih sampai diperoleh nilai MSE terkecil.

Transformasi Data

Dalam mentransformasikan data ada beberapa fungsi yang dapat digunakan, salah satunya adalah fungsi sigmoid biner. Fungsi ini digunakan untuk jaringan syaraf tiruan yang dilatih dengan menggunakan metode *backpropagation*. Fungsi sigmoid memiliki nilai pada range 0 sampai 1. Oleh karena itu, fungsi aktivasi yang digunakan untuk mengolah data. Digunakan fungsi sigmoid (biner), maka data harus ditransformasikan dulu karena range keluaran fungsi aktivasi sigmoid adalah [0,1]. Dengan BB (batas bawah) adalah 0 dan BA (batas atas) adalah 1, sehingga data ditransformasikan ke interval yang lebih kecil^[3].

$$X' = \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} * (BA - BB) + BB \dots \dots \dots (4)$$

Data yang ditransformasi bertujuan untuk memperkecil nilai *error* yang dihasilkan.

C. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Untuk pelatihan JST pada tanggal 1 sampai dengan 15 April dan tanggal 16 sampai dengan 30 merupakan data uji pada bulan April. Sedangkan pada tanggal 1 sampai 15 Juli 2017 untuk data latih pada tanggal 16 sampai dengan 30 merupakan data yang akan diujikan pada JST.

Tabel 2. Data Lapangan Bulan April dan Bulan Juli Tahun 2017

BULAN	TANGGAL	AIR MASUK TURBIN	TOTAL BEBAN UNIT (MW)	PRODUKSI LISRTRIK (kWh)	BULAN	TANGGAL	AIR MASUK TURBIN (mkpd)	TOTAL BEBAN UNIT (MW)	PRODUKSI LISRTRIK (kWh)
A P R I L	1	253,7402	179	2510000	J U L I	1	180,39	120	1698000
	2	254,14	179	4312000		2	180,19	120	2911000
	3	259,64	179	4293000		3	180,42	120	2903000
	4	252,73	179	4264000		4	175,26	120	2949000
	5	229,76	179	3887000		5	180,21	120	2969000
	6	222,03	151	3763000		6	178,46	120	2944000
	7	255,69	182	4335000		7	178,28	120	2945000
	8	259,8	182	4404000		8	178,28	120	2935000
	9	260,19	182	4409000		9	178,34	120	2927000
	10	258,89	182	4393000		10	178,54	120	2907000
	11	259,25	182	4408000		11	175,07	120	2926000
	12	242,81	152	4131000		12	170,86	120	2944000
	13	215,57	185	4473000		13	170,6	120	2883000
	14	256,85	186	4395000		14	170,98	120	3060000
	15	261,85	187	4496000		15	201,59	130	3366000
	16	261,85	185	4079000		16	201,78	140	3387000
	17	215,15	152	3718000		17	201,47	140	3263000
	18	228,78	179	3901000		18	202,25	140	3090000
	19	257,41	181	4393000		19	175,17	120	2870000
	20	256,69	184	4393000		20	171,75	120	2687000
	21	254,57	184	4369000		21	171,62	120	2916000
	22	259,91	186	4496000		22	171,62	120	2916000
	23	259,76	186	4515000		23	171,5	120	2712000
	24	259,73	186	4527000		24	171,32	120	2850000
	25	259,73	186	4425000		25	171,42	120	2899000
	26	256,53	155	4331000		26	171,39	120	2926000
	27	214,44	186	4158000		27	171,42	120	2911000
	28	248,06	179	4270000		28	171,25	120	2950000
	29	232,91	147	4001000		29	176,68	120	2895000
	30	334,17	174	4182000		30	174,89	122	2952000

Dengan menggunakan metode pendekatan *backpropagation*, terdapat beberapa tahapan. Berikut merupakan tahap menggunakan metode pendekatan *backpropagation*, yaitu :

1. Mentransformasi data debit air masuk turbin, beban turbin dan produksi energi listrik dengan menggunakan persamaan (4). Kemudian mencari batas bawah, batas atas dan selisih. Setelah ditransformasi dan di cari batas bawah, batas atas dan selisih, data kemudian ditranspose.

- Data yang telah ditranspose kemudian di copy ke MATLAB. Kemudian melakukan pelatihan dengan cara berulang agar hasilnya mendekati target. Setelah melakukan pelatihan terhadap data tersebut, maka dilakukan pengetesan terhadap data yang berbeda. Hasil dari tes kemudian dibandingkan dengan data yang sesungguhnya.

Data yang akan diujikan agar mendapatkan hasil yang mendekati target maka data tersebut ditransformasikan dengan skala 0 sampai dengan 1. Berikut ini merupakan data hasil transformasi dengan menggunakan persamaan (4). Pengujian data pada model JST dilakukan dengan menggunakan pola data yang baru yang belum pernah digunakan pada proses pelatihan sebelumnya. Data yang dimasukkan merupakan data debit air yang masuk turbin, beban turbin dan produksi energi listrik pada tanggal 16 sampai 30 April 2017.

Tabel 3. Hasil Uji MATLAB Bulan April dan Juli.

Tanggal	Output Prediksi JST			Error (MSE)			Tanggal	Output Prediksi JST			Error (MSE)		
	TRAINGD	TRAINGDx	TRAINCGB	TRAINGD	TRAINGDx	TRAINCGB		TRAINGD	TRAINGDx	TRAINCGB	TRAINGD	TRAINGDx	TRAINCGB
16	3876446	4418403	16877634	-0,7540	-0,9852	8,1001	16	3237568	2884480	3415223	-0,9105	-0,6991	-1,0169
17	4727482	4132833	4163774	-0,2250	0,0287	0,0155	17	3232675	2903769	3465490	-0,1860	0,0109	-0,3255
18	3962401	4997511	4568325	-0,0381	-0,4797	-0,2967	18	3228801	2931257	3513085	-0,1789	-0,0007	-0,3491
19	3975152	4224530	4567622	0,1604	0,0540	-0,0924	19	2930155	2892597	2998658	0,0179	0,0404	-0,0232
20	3863132	3913411	4543478	0,2406	0,2191	-0,0497	20	2940325	2944600	3081089	0,1309	0,1284	0,0467
21	3857601	3948290	4563637	0,2233	0,1846	-0,0779	21	2944550	2911284	3021888	0,1003	0,1202	0,0540
22	3821831	4009984	4563402	0,2693	0,1890	-0,0471	22	2944550	2911284	3021888	0,0093	0,0292	-0,0371
23	3811025	3887322	4560121	0,2705	0,2379	-0,0491	23	2942346	2941978	3073808	0,0178	0,0180	-0,0610
24	3810252	3867867	4562934	0,2047	0,1801	-0,1164	24	2944200	2921020	3036935	0,0154	0,0293	-0,0401
25	3817143	4026978	4428435	0,1693	0,0798	-0,0915	25	2944483	2913789	3025645	0,0105	0,0289	-0,0381
26	4543713	4506912	4465892	-0,1816	-0,1660	-0,1484	26	2944567	2909814	3019700	0,0224	0,0432	-0,0226
27	3905020	4419035	4565278	0,0909	-0,1284	-0,1908	27	2944534	2912019	3022990	-0,0033	0,0162	-0,0503
28	3994373	4727248	4568794	0,1581	-0,1546	-0,0870	28	2945385	2910315	3017446	-0,0128	0,0082	-0,0560
29	4942662	4439217	4456282	-0,2430	-0,0283	-0,0355	29	2924677	2886284	2970118	0,0026	0,0256	-0,0246
30	4388423	3076275	3239300	0,0131	0,5728	0,5033	30	3022189	2766712	3063721	-0,0582	0,0948	-0,0831

Dari tabel 3 dapat dihitung selisih dari data lapangan dengan data prediksi JST. Dilihat dari persentase ketiga fungsi yang digunakan dapat disimpulkan bahwa fungsi yang baik digunakan adalah fungsi Traingd. Berikut merupakan selisih hasil dari data lapangan dengan prediksi JST:

Tabel 4. Selisih Data Lapangan dengan Prediksi JST Bulan April

Tanggal	Produksi Energi Listrik	Produksi Prediksi JST			Real-JST			Persentase (%)		
		TRAINGD	TRAINGDx	TRAINCGB	TRAINGD	TRAINGDx	TRAINCGB	TRAINGD	TRAINGDx	TRAINCGB
16	2109000	3876446	4418403	16877634	1767446	2309403	14768634	84%	110%	700%
17	4200000	4727482	4132833	4163774	527482	67167	36226	13%	2%	1%
18	3873000	3962401	4997511	4568325	89401	1124511	695325	2%	29%	18%
19	4351000	3975152	4224530	4567622	375848	126470	216622	9%	3%	5%
20	4427000	3863132	3913411	4543478	563868	513589	116478	13%	12%	3%
21	4381000	3857601	3948290	4563637	523399	432710	182637	12%	10%	4%
22	4453000	3821831	4009984	4563402	631169	443016	110402	14%	10%	2%
23	4445000	3811025	3887322	4560121	633975	557678	115121	14%	13%	3%
24	4290000	3810252	3867867	4562934	479748	422133	272934	11%	10%	6%
25	4214000	3817143	4026978	4428435	396857	187022	214435	9%	4%	5%
26	4328000	4543713	4506912	4465892	215713	178912	137892	5%	4%	3%
27	4118000	3905020	4419035	4565278	212980	301035	447278	5%	7%	11%
28	4365000	3994373	4727248	4568794	370627	362248	203794	8%	8%	5%
29	4373000	4942662	4439217	4456282	569662	66217	83282	13%	2%	2%
30	4419000	4388423	3076275	3239300	30577	1342725	1179700	1%	30%	27%
Rata-Rata								14%	17%	53%

Tabel 5. Selisih Data Lapangan dengan Prediksi JST Bulan Juli

Tanggal	Produksi Energi Listrik	Produksi Prediksi JST			Real-JST			Persentase (%)		
		TRAINGD	TRAINGDx	TRAINCGB	TRAINGD	TRAINGDx	TRAINCGB	TRAINGD	TRAINGDx	TRAINCGB
16	1717000	3237568	2884480	3415223	1520568	1167480	1698223	89%	68%	99%
17	2922000	3232675	2903769	3465490	310675	18231	543490	11%	1%	19%
18	2930000	3228801	2931257	3513085	298801	1257	583085	10%	0%	20%
19	2960000	2930155	2892597	2998658	29845	67404	38658	1%	2%	1%
20	3159000	2940325	2944600	3081089	218675	214400	77911	7%	7%	2%
21	3112000	2944550	2911284	3021888	167450	200716	90112	5%	6%	3%
22	2960000	2944550	2911284	3021888	15450	48716	61888	1%	2%	2%
23	2972000	2942346	2941978	3073808	29654	30022	101808	1%	1%	3%
24	2970000	2944200	2921020	3036935	25801	48980	66935	1%	2%	2%
25	2962000	2944483	2913789	3025645	17517	48211	63645	1%	2%	2%
26	2982000	2944567	2909814	3019700	37433	72186	37700	1%	2%	1%
27	2939000	2944534	2912019	3022990	5534	26981	83990	0%	1%	3%
28	2924000	2945385	2910315	3017446	21385	13685	93446	1%	0%	3%
29	2929000	2924677	2886284	2970118	4323	42716	41118	0%	1%	1%
30	2925000	3022189	2766712	3063721	97189	158288	138721	3%	5%	5%
Rata-Rata								9%	7%	11%

Dari hasil pelatihan dan pengujian pada bulan April dan bulan Juli diperoleh persentase hasilnya sebagai berikut:

Tabel 6. Persentase Hasil Prediksi JST

Tanggal	Persentase (%)					
	TRAINGD		TRAINGDx		TRAINCGB	
	April	Juli	April	Juli	April	Juli
16	84%	89%	110%	68%	700%	99%
17	13%	11%	2%	1%	1%	19%
18	2%	10%	29%	0%	18%	20%
19	9%	1%	3%	2%	5%	1%
20	13%	7%	12%	7%	3%	2%
21	12%	5%	10%	6%	4%	3%
22	14%	1%	10%	2%	2%	2%
23	14%	1%	13%	1%	3%	3%
24	11%	1%	10%	2%	6%	2%
25	9%	1%	4%	2%	5%	2%
26	5%	1%	4%	2%	3%	1%
27	5%	0%	7%	1%	11%	3%
28	8%	1%	8%	0%	5%	3%
29	13%	0%	2%	1%	2%	1%
30	1%	3%	30%	5%	27%	5%
Rata-Rata	14%	9%	17%	7%	53%	11%

Pada hasil prediksi dengan fungsi Traingd, bulan April prediksi rata-rata yang dihasilkan adalah 14% dan bulan Juli hanya 9%. Hasil prediksi dengan fungsi Traingd_x, bulan April prediksi rata-rata yang dihasilkan adalah 17% dan bulan Juli hanya 7%. Sedangkan menggunakan fungsi Traincgb pada bulan April prediksi rata-rata yang dihasilkan adalah 53% dan pada bulan Juli mencapai 11 %.

D. Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan

Berdasarkan analisa yang telah dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan dalam menyelesaikan permasalahan serta saran-saran dalam memprediksi Jaringan Syaraf Tiruan. Berikut merupakan kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini, sebagai berikut :

1. Pengujian dan pelatihan data input pada parameter *learning rate* sebesar 0,0001, jumlah neuron pada *hidden layer* sebanyak 5, galat (toleransi kesalahan) adalah 0,0001 dan maksimum *epoch* (pengulangan) sebanyak 3500.
2. Penerapan algoritma *backpropagation* pada Jaringan Syaraf Tiruan untuk menghasilkan akurasi yang tinggi dilakukan dengan cara melakukan pembagian data yang akan digunakan untuk pola pelatihan dan pola pengujian. Pada bulan

April dari ketiga fungsi didapat bahwa rata-rata persentase selisih data asli dengan hasil prediksi dengan menggunakan fungsi Traingd mencapai 14%, fungsi Traingdx mencapai 17% dan fungsi Traincgb mencapai 53%, dan pada Bulan Juli dari ketiga fungsi didapat bahwa rata-rata persentase selisih data asli dengan hasil prediksi dengan fungsi Traingd mencapai 9%, fungsi Traingdx mencapai 7% dan fungsi Traincgb mencapai 11%. Jadi untuk bulan April hasil terbaik diberikan oleh Traingd dan bulan Juli oleh Traingdx.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan melalui tahapan pelatihan dan pengujian serta implementasi dengan algoritma Backpropagation, saran yang dapat diberikan adalah sebaiknya data yang digunakan untuk prediksi lebih banyak lagi, agar bisa dibandingkan. Penggunaan fungsi pada pendekatan *backpropagation* yang berbeda, atau dengan melakukan perbandingan yang lebih banyak pada fungsi yang ada dipendekatan *backpropagation*.

Daftar Pustaka

- Hasim, Agus, 2008, Prakiraan Beban Listrik Kota Pontianak dengan Jaringan Syaraf Tiruan (Artificial Neural Network), *Tesis*. Tidak diterbitkan. Institut Pertanian Bogor.
- Febriana, Mira dan dkk, Peramalan Jumlah Permintaan Produksi Menggunakan Metode Jaringan Syaraf Tiruan (JST) Backpropagation, *Jurnal Teknik Industri*, Vol.1, No.2, Juni 2013, pp. 174-179, ISSN 2302-495X.
- ¹Putra, Khelvin Ovela, dan dkk, Penerapan Jaringan Syaraf Tiruan Untuk Memprediksi Volume Pemakaian Air Dengan Metode Backpropagation (Studi Kasus PT. PDAM Kota Padang), *Jaringan Sistem Informasi Robotik* Vol. 2, No.01, Maret 2018