

# Pemodelan Minyak Kemiri Sunan Dengan Campuran APAR POWER OIL TO 20 Sebagai Alternatif Pengganti Minyak Transformator Menggunakan *Neural Network*

Rizki Agus Hariyono , Suprihadi Prasetyono , Triwahju Hardianto  
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember

Kampus Tegalboto, Jl. Kalimantan No. 37, Krajan Timur, Sumbersari, Kec. Sumbersari, Kabupaten Jember, Jawa Timur 68121  
rizkihariyono128@gmail.com , shabri\_prasetyo@yahoo.com , Triwahju@gmail.com

## Abstrak

Semakin menipisnya ketersediaan minyak transformator tambang yang maka diperlukan sumber daya baru yang berupa minyak nabati, yang merupakan sumber daya yang dapat diperbaharui. Salah satu jenis minyak nabati yang memiliki keunggulan karakteristik tegangan tembus serta massa jenis yaitu minyak kemiri sunan. Pada penelitian yang berjudul Studi Karakteristik Bio Transformer Oil Berbahan Dasar Minyak Kemiri Sunan (*Reutealis Trisperma Blanco*) sebagai Alternatif Isolasi Cair pada Transformator Daya dengan Variasi Fenol dan APAR Poweroil TO 20 oleh Nur Wahyu Utomo. Dari penelitian tersebut dapat diketahui bahwa bio transformer oil dengan variasi 15% dan 20% sudah memenuhi standar SPLN 49-1. Kemudian akan dicari bagaimana nilai keandalan minyak tersebut dengan variasi- variasi yang berbeda untuk mendapatkan komposisi minyak yang lebih baik. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah dengan menggunakan metode backpropagation. Data yang digunakan pada simulasi ini adalah data minyak dengan campuran 5% hingga 20% dimana data tersebut akan disusun menjadi 6 data input dan 3 data target serta 3 data yang akan digunakan untuk menguji keakurasian hasil pemodelan. Hasil dari simulasi tersebut yaitu nilai MAPE (*Mean Average Percentage Error*) yang merupakan perhitungan akurasi dari peramalan terhadap target, pada pengujian peramalan/ pemodelan *biotransformer oil* menggunakan metode *backpropagation neural network* didapatkan nilai akurasi sebesar 3,619441162%. Bisa diartikan bahwa hasil peramalan sudah menunjukkan nilai akurasi yang cukup tinggi.

**Keywords** — SPLN 49-1, Minyak Kemiri Sunan, Backpropagation Neural Network.

## Abstract

*With the depletion of the availability of mining transformer oil, new resources are needed in the form of bio oil, which is a renewable resource. One type of bio oil that has the advantages of breakdown voltage and density*

*characteristics is sunan candlenut oil. In the research entitled Study of Characteristics of Bio Transformer Oil Based on Sunan Candlenut Oil (Reutealis Trisperma Blanco) as an Alternative for Liquid Insulation in Power Transformers with Phenol Variations and APAR Poweroil TO 20 by Nur Wahyu Utomo. From this research, it can be seen that bio transformer oil with variations of 15% and 20% has met the SPLN 49-1 standard. Then it will be sought how the value of the reliability of the oil with different variations to get a better oil composition. The method used in this study is to use the backpropagation method. The data used in this simulation is oil data with a mixture of 5% to 20% where the data will be arranged into 6 input data and 3 target data and 3 data that will be used to test the accuracy of the modeling results. The results of the simulation are the MAPE (Mean Average Percentage Error) value which is the calculation of the accuracy of forecasting against the target, in the biotransformer oil forecasting/modeling test using the backpropagation neural network method, the accuracy value is 3.619441162%. It can be interpreted that the forecasting results have shown a fairly high accuracy value.*

**Keywords** — SPLN 49-1, sunan candlenuts oil, Backpropagation Neural Network.

## I. PENDAHULUAN

Transformator tenaga berfungsi untuk meningkatkan efisiensi tegangan yang dihasilkan dari sistem pembangkit maupun penyaluran jaringan listrik yang nantinya tegangan ini dapat dinaikkan maupun diturunkan sesuai dengan kebutuhan yang diperlukan. Dalam operasi penyaluran daya listrik transformator ini dapat dikatakan sebagai inti dari suatu sistem transmisi dan distribusi. Sehingga transformator tenaga harus bekerja dengan baik demi memenuhi kebutuhan energi listrik. Transformator akan bekerja dengan baik jika memiliki sistem isolasi yang baik.

Jenis minyak nabati yang memiliki keunggulan karakteristik tegangan tembus serta massa jenis yaitu minyak kemiri sunan. Penelitian tentang minyak kemiri sunan sebagai alternatif pengganti isolasi transformator yang telah diteliti sebelumnya oleh Nur Wahyu Utomo yang berjudul Studi Karakteristik Bio Transformer Oil Berbahan Dasar Minyak Kemiri Sunan (Reutealis Trisperma Blanco) sebagai Alternatif Isolasi Cair pada Transformator Daya dengan Variasi Fenol dan APAR Poweroil TO 20. Dari penelitian tersebut dapat diketahui bahwa bio transformer oil dengan variasi 15% menghasilkan karakteristik minyak kemiri sunan dengan variasi suhu, yaitu tegangan tembus sebesar 44,02 kV pada suhu 30°C sehingga sudah memenuhi standar SPLN 49-1 yaitu sebesar >30 kV/2,5 mm untuk memenuhi persyaratan alternatif isolasi cair transformator. Kemudian dalam hal karakteristik dengan parameter massa jenis, minyak kemiri sunan memiliki massa jenis sebesar 0,89316 gram/cm<sup>3</sup> (Utomo,2017) yang artinya masih dibawah batas maksimal massa jenis isolasi cair transformator berdasar standar SPLN 49 yaitu sebesar 0,8957 gram/cm<sup>3</sup>. Standar yang terdapat pada minyak transformator terdapat 10 komponen yang ditetapkan berdasarkan SPLN 49-1 : 1982.

Tabel 1. Spesifikasi tegangan tembus saat minyak transformator pakai sesuai SPLN 49-1 : 1982

No.	Sifat Minyak Isolasi	Satuan	Kelas 1	Kelas 2	Metode Uji	Tempat Uji
1	Kejernihan	-	Jernih (≤5)		IEC 296	Ditempat
2	Massa Jenis (20°)	g/cm <sup>3</sup>	≤0,895		IEC 296	Laboratorium
3	Viskositas (20°)	cST	≤40	≤25	IEC 296	Laboratorium
	Kinematik (-15°)	cST	≤800	-	IEC 296	Laboratorium
	(-30°)	cST	-	≤1800	IEC 296	Laboratorium
4	Titik Nyala	°C	≥140	≥130	IEC 296	Laboratorium
5	Titik Tuang	°C	≤30	≤40	IEC 296	Laboratorium
6	Angka kenetralan	mg KOH/g	<0,03		IEC 296	Ditempat
					IEC 296	Laboratorium
7	Korosi Belerang	-	Tidak Korosif		IEC 296	Laboratorium
8	Tegangan Tembus	kV/2,5 mm			IEC156 &	Ditempat
	a. Sebelum Diolah		≥30		IEC 296	Laboratorium
	b. Sesudah Diolah Faktor Kebocoran		≥50		IEC 250	Laboratorium
9	Dielektrik Ketahanan	-	≤0,05		IEC 474 &	Laboratorium
10	Oksidasi				IEC 74	-
	a. Angka Kenetralan	mg KOH/g	≤0,40			-
	b. Kotoran	%	≤0,10			-

Standar yang terdapat pada minyak transformator terdapat 10 komponen yang ditetapkan berdasarkan SPLN 49-1 : 1982.. Massa jenis dibatasi agar air dapat terpisah dari minyak isolasi. Viskositas kinematik memegang peranan penting dalam pendinginan, digunakan untuk menentukan kelas minyak dan dipengaruhi oleh kontaminasi atau kerusakan minyak. Tegangan tembus yang terlalu rendah menunjukkan

adanya kontaminasi dengan air, kototran, atau partikel konduktif dalam minyak.

Pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh persentase variasi zat minyak APAR Poweroil TO 20 terhadap tegangan tembus, viskositas, massa jenis pada minyak kemiri sunan sebagai alternatif isolasi cair transformator daya dan mengetahui nilai tegangan tembus, viskositas, massa jenis minyak kemiri sunan dengan variasi diatas 20% serta kelayakannya. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah dengan menggunakan metode peramalan berbasis *backpropagation neural network*. Neural network merupakan salah satu metode yang terbaik yang digunakan untuk melakukan peramalan/pemodelan (*forecasting*). Dibandingkan dengan metode yang lain, *neural network* memiliki nilai error peramalan yang lebih kecil. Munculnya error pada suatu peramalan beban merupakan hal yang selalu terjadi, dimana ukuran akurasi yaitu MAPE (Mean Absolute Percentage Error) atau rata-rata persentase kesalahan absolut, yang menyatakan persentase kesalahan hasil peramalan terhadap permintaan aktual selama periode waktu tertentu yang akan memberikan informasi persentase kesalahan terlalu tinggi atau terlalu rendah. MAPE merupakan perbandingan antara data asli pengujian dengan data hasil peramalan *backpropagation neural network*.

## II. METODE PENELITIAN

### A. Studi Literatur

Studi literatur merupakan kajian penulis atau referensi yang digunakan baik berupa buku, artikel penelitian, jurnal maupun karya ilmiah yang berhubungan dengan penyelesaian laporan ini dijadikan acuan untuk menganalisa komposisi terbaik minyak kemiri sunan dan tegangan tembusnya.

### B. Pengambilan Data

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data dari penelitian yang dilakukan oleh Nur Wahyu Utomo yang berjudul Studi Karakteristik Bio Transformer Oil Berbahan Dasar Minyak Kemiri Sunan (Reutealis Trisperma Blanco) sebagai Alternatif Isolasi Cair pada Transformator Daya dengan Variasi Fenol dan APAR Poweroil TO 20. Dari penelitian tersebut menghasilkan data minyak kemiri sunan berupa massa jenis, viskosita kinematik, tegangan tembus.

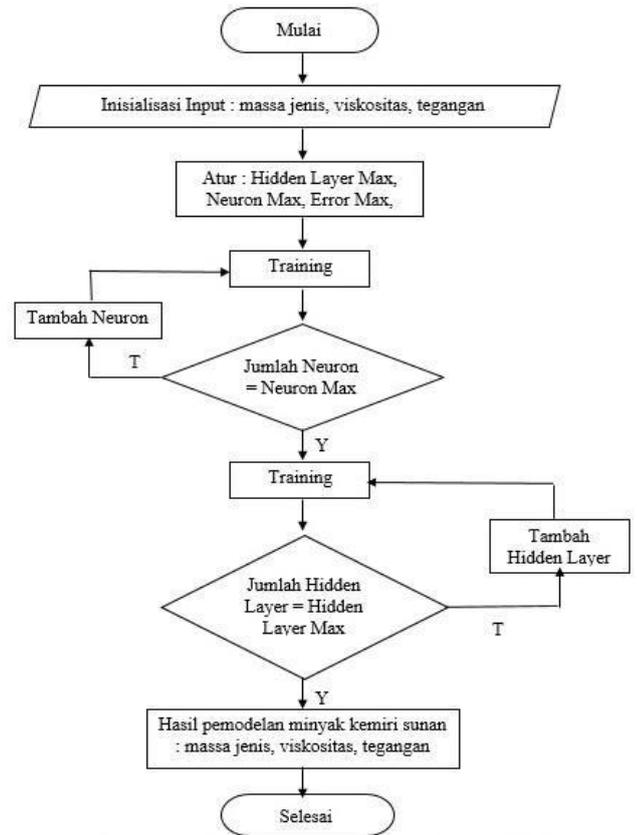
Tabel 2. Data hasil pengujian minyak kemiri sunan pada variasi 5%-20%.

Parameter	Satuan	Standar SPLN	Variasi																
			5%			10%			15%			20%							
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3					
Massa Jenis	gram/cm <sup>3</sup>	≤0,8957	0,90597	0,90601	0,90596	0,90598	0,90091	0,90130	0,91115	0,90112	0,89332	0,89298	0,89318	0,89316	0,89050	0,89034	0,89046	0,89043	
Viskositas Kinematik	cSt	≤40 cSt	21,5744	22,5744	22,3678	21,9972	18,5051	18,1781	18,8191	18,5008	13,5141	13,6801	13,9989	13,7310	10,8132	10,3309	10,4909	10,5450	
Tegangan Tembus	kV	≥30 kV	30	35,37	34,81	35,02	35,06	38,12	38,65	37,20	37,99	42,37	44,78	44,91	44,02	49,62	48,00	48,72	48,78
			70	39,65	40,12	41,94	40,57	43,13	44,72	43,56	43,80	47,01	46,24	46,93	46,93	54,02	55,24	55,13	54,79
			80	44,38	44,03	45,71	44,70	49,22	48,70	50,03	49,31	53,68	53,91	54,42	54,00	59,42	59,72	60,31	59,81
			90	47,81	47,94	49,46	48,40	55,59	55,83	54,72	55,38	61,42	62,33	63,11	62,28	65,24	66,49	66,97	66,23
			100	56,18	56,85	56,64	56,55	61,14	60,88	61,36	61,12	69,37	69,82	68,29	69,16	75,14	78,63	75,89	76,55
			100	47,81	47,94	49,46	48,40	55,59	55,83	54,72	55,38	61,42	62,33	63,11	62,28	65,24	66,49	66,97	66,23

Dari data tersebut akan dicari seberapa bagus kualitas *biotransformer oil* dengan variasi diatas 20% dengan menggunakan metode *backpropagation neural network*. Pada data diatas dapat diketahui nilai tegangan tembus, viskositas, dan massa jenis yang sesuai pada variasi 15%-20%, dimana pada variasi tersebut nilai dari semua parameter yang diuji sudah memenuhi standar SPLN 49-1 : 1982. Akan tetapi masih ada kemungkinan pemanfaatan minyak kemiri sunan dengan komposisi yang lebih besar.

### C. Pembuatan jaringan syaraf tiruan berbasis *backpropagation*.

Pada tahap ketiga ini, yaitu membuat sitem peramalan dengan menggunakan metode *backpropagation neural network*. Aplikasi yang akan dipakai untuk merancang serta menjalankan simulasi pada penelitian ini ialah aplikasi software Matlab.



Gambar 3 *flowchart* sistem pemodelan minyak kemiri sunan dengan *backpropagation neural network*

Proses dari diagram alir perhitungan diatas dimulai dari saat diperoleh nilai tegangan tembus, viskositas, dan massa jenis dengan jumlah komposisi lain. Nilai hasil pemodelan tersebut akan dibandingkan dengan Spesifikasi minyak isolasi baru berdasarkan SPLN 49-1 : 1982. Apabila nilai yang didapatkan belum mencapai belum melebihi dari Spesifikasi minyak isolasi baru berdasarkan SPLN 49-1 : 1982 maka akan diulangi proses perhitungannya. Jika nilai tersebut sudah mencapai Spesifikasi minyak isolasi baru berdasarkan SPLN 49-1 : 1982 perhitungan sudah selesai.

### D. Arsitektur *Backpropagation Neural Network*.

Arsitektur yang digunakan pada *backpropagation* adalah multilayer network. Parameter yang digunakan input dan output berisi data tegangan tembus, massa jenis, dan viskositas. Fungsi transfer yang digunakan dalam *backpropagation* coba-coba dari fungsi transfer dan hasil terbaik dari *logsig* untuk layer input dan *purelin* untuk layer output.

#### 1. Preprocessing

Data input dan target yang mengalami normalisasi yang disebut juga dengan penskalaan data. Untuk mentransformasikan data agar kestabilan taburan data dapat tercapai dibutuhkan normalisasi data input dan target. Syntax yang digunakan untuk menormalisasi data yaitu:

$$[pn, meanp, stdp, tn, meant, stdt] = prestd(P, T)$$

Fungsi prestd dapat menormalisasikan nilai input (P) dan target (T) sehingga keduanya memiliki mean sebesar 0 dan standart deviasi sebesar 1.

## 2. Model jaringan syaraf tiruan

Model neural network yang diterapkan yaitu multi layer perceptron dengan 2 hidden layer. Multi layer perceptron merupakan jaringan yang memiliki banyak lapis (layer). Fungsi aktivasi yang digunakan yaitu logsig dan purelin.

$$y = f(x) = \frac{1}{1 + e^{-\sigma x}}$$

$$f'(x) = \sigma f(x)[1 - f(x)]$$

tansig

$$y = f(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}}$$

atau

$$y = f(x) = \frac{1 - e^{-2x}}{1 + e^{-2x}}$$

atau purelin

$$y = f(x) = x$$

Disini menggunakan beberapa parameter yang digunakan pada proses pelatihan. Syntax dari parameter-parameter yang digunakan adalah.

```
net.trainParam.show = 50;
```

Menunjukkan berapa jumlah epoch berselang yang akan ditunjukkan kemajuannya. Nilai default yang digunakan pada pelatihan ini untuk jumlah epoch yang digunakan yaitu sebesar 50.

```
net.trainParam.lr = 0.1;
```

Menunjukkan tentang nilai learning rate yang digunakan learning rate adalah laju pembelajaran. Semakin besar nilai laju pembelajaran akan berimplikasi pada semakin besarnya langkah pembelajaran. Jika learning rate di set terlalu besar maka nilai laju algoritma akan tidak stabil. Sebaliknya apabila nilai learning rate di set terlalu kecil maka algoritma akan konvergen dalam jangka waktu yang sangat lama. Nilai default yang digunakan pada pelatihan ini sebesar 0,1.

```
net.trainParam.epochs = epochs;
```

Parameter diatas menunjukkan tentang nilai maksimum epoch yang digunakan atau yang boleh dilakukan selama proses pelatihan. Iterasi akan dihentikan apabila nilai epoch melebihi nilai maksimum epoch. Nilai default maksimum epoch yang digunakan pada pelatihan ini adalah bernilai epochs sebesar 1500.

```
net.trainParam.goal = errormax;
```

Parameter diatas menunjukkan tentang nilai dari kinerja tujuan. Kinerja tujuan adalah target nilai fungsi kinerja kurang dari atau sama dengan kinerja tujuan. Iterasi akan dihentikan apabila nilai fungsi kinerjakurang dari atau sama dengan

kinerja tujuan. Nilai default yang digunakan pada pelatihan ini adalah errormax sebesar 0.

```
net.trainParam.max_fail = 500;
```

Parameter diatas menunjukkan tentang maksimum kegagalan . parameter ini diperlukan apabila pada algoritma disertai dengan validitas (optional). Maksimum kegagalan adalah ketidakvalidan terbesar yang diperbolehkan. Apabila gradient pada iterasi ke-k lebih besar dari gradient iterasi ke-(k-1), maka kegagalannya bertambah 1. Iterasi akan dihentikan apabila jumlah kegagalan lebih dari maksimum kegagalan.

```
net.trainParam.min_grad = 1e-10;
```

Parameter diatas menunjukkan tentang nilai gradient minimum. Gradient minimum adalah akar dari jumlah kuadrat semua gradient (bobot input, bobot lapisan, bobot bias) terkecil yang diperbolehkan. Iterasi akan dihentikan apabila nilai akar jumlah kuadrat semua gradient ini kurang dari gradient minimum. Nilai default yang digunakan pada pelatihan ini sebesar 10-10.

```
net.trainParam.mc = 0.5;
```

Parameter diatas adalah momentum constant. Parameter tersebut adalah konstanta momentum yang menentukan besarnya momentum. Parameter ini diset diantara 0 hingga 1. Nilai default yang digunakan pada pelatihan ini adalah 0,5.

## 3. Training dan testing

Fungsi yang digunakan untuk melakukan proses pelatihan (training) adalah seperti dibawah ini :

```
[netWr, tr] = train(net, pn, tn);
```

netWr merupakan model jaringan syaraf yang akan terbentuk, tr adalah record dari proses training, pn dan tn merupakan matriks input dan target jaringan syaraf. Sedangkan untuk testing diawali menggunakan perintah sebagai berikut :

```
qn = trastd(P1, meanp, stdp)
```

Fungsi tersebut berfungsi sebagai penormalisasian data agar dapat sesuai dengan data input pelatihan. Sedangkan trastd akan melakukan preprocessing pada data input (P) dengan rata-rata dari data input (meanp) dan standar deviasi data input (stdp), dan qn adalah hasil normalisasi data pengujian. Kemudian melakukan pengujian data hasil normalisasi tersebut dengan menggunakan fungsi seperti berikut:

```
bn1 = sim(netWr, qn)
```

Fungsi bn pada perintah tersebut ialah menghasilkan hasil pengujian data normalisasi terhadap neural network yang sudah terbentuk. Setelah didapatkan hasil pengujian maka selanjutnya menggunakan perintah berikut untuk mengembalikan data hasil pengujian menjadi data asli atau bisa disebut dengan denormalisasi.

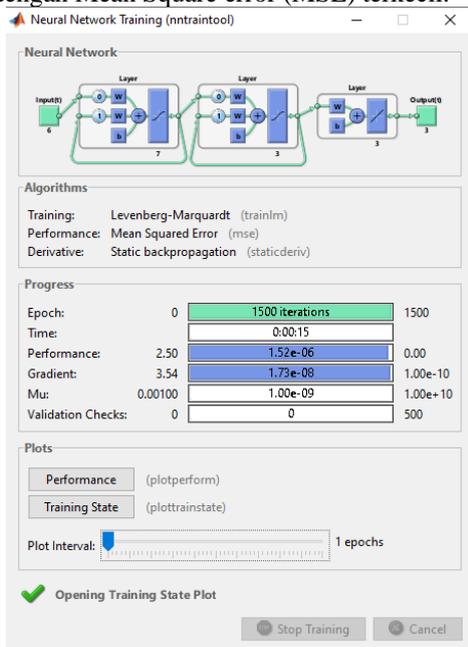
```
h20 = poststd(bn1, meant, stdt)
```

Fungsi dari h20 adalah data pengujian dalam bentuk terdenormalisasi, bn1 yaitu output jaringan syaraf pelatihan, meant yaitu nilai mean dari proses normalisasi, dan stdt yaitu nilai standar deviasi dari proses normalisasi.

### III. HASIL PENELITIAN

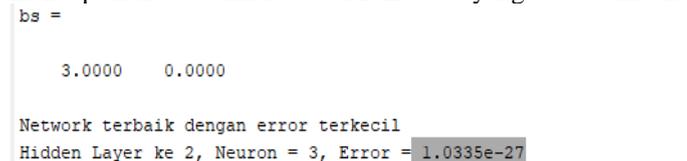
#### A. Hasil Training

Tahap pelatihan ini akan terus berjalan hingga sesuai dengan parameter-parameter yang sudah ditentukan. Parameter-parameter yang dimaksud antara lain epoch, error, dan hidden layer. Pelatihan akan berhenti apabila suatu jaringan sudah memenuhi target error, dan hidden layer yang ditentukan. Pelatihan tersebut akan diulang hingga menemukan nilai bobot terbaik dengan Mean Square error (MSE) terkecil.



Gambar 1a. Proses *Training Neural Network*

Pada proses training dilakukan beberapa kali hingga menemukan nilai MSE yang terkecil. Apabila nilai MSE masih terbilang besar maka proses training akan diulang hingga mendapatkan nilai MSE yang terkecil.



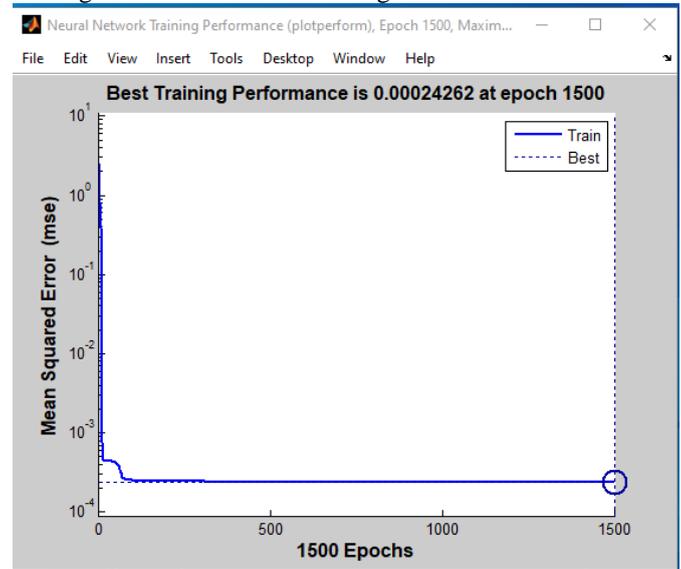
Gambar 1b. Nilai MSE

Pada pelatihan ini didapati nilai MSE sebesar  $1,0335e-27$ . Pada hidden layer ke 2 dan neuron ke 3. Nilai ini didapat setelah melakukan beberapa kali proses training. Pada tabel dibawah ini menunjukkan bagaimana perubahan nilai MSE setelah dilakukan beberapa kali percobaan.

Tabel 3. nilai MSE pada training

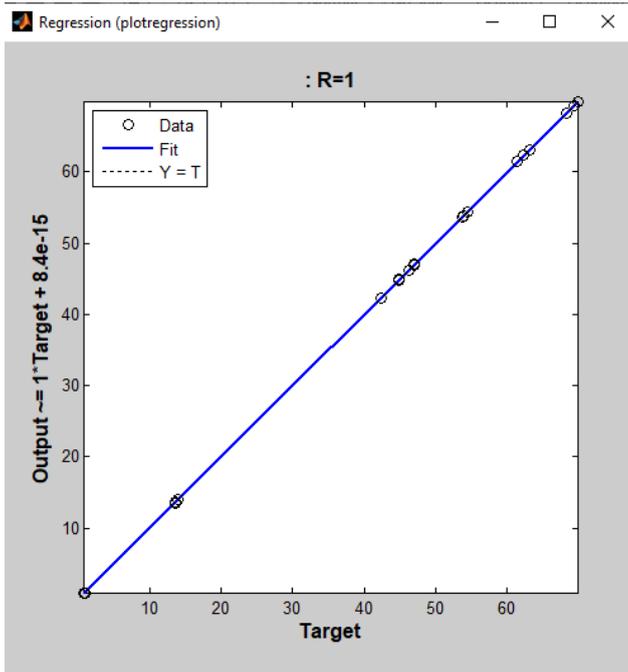
Percobaan	MSE ( <i>Mean Square Error</i> )	Struktur Terbaik
1	$7,3545e-32$	Hidden layer 1 neuron 2
2	$4,663e-28$	Hidden layer 2 neuron 3
3	$7,4719e-32$	Hidden layer 1 neuron 2
4	$5,0588e-32$	Hidden layer 1 neuron 5
5	$1.0335e-27$	Hidden layer 2 neuron 3

Dari tabel tersebut dapat diketahui perbedaan nilai MSE pada masing-masing training. Nilai MSE ditemukan pada hidden layer yang berbeda-beda. Pada tabel diatas menampilkan hasil *error* dari pelatihan (*training*) *backpropagation neural network*. Pelatihan dilakukan sebanyak 5 kali dan menghasilkan nilai yang bervariasi seperti yang terlihat pada tabel tersebut. Struktur terbaik diperoleh dari percobaan terakhir yaitu percobaan ke 5 dengan *hidden layer* ke 1 dengan jumlah neuron 2 menghasilkan *error* terkecil dengan nilai  $1.0335e-27$ .



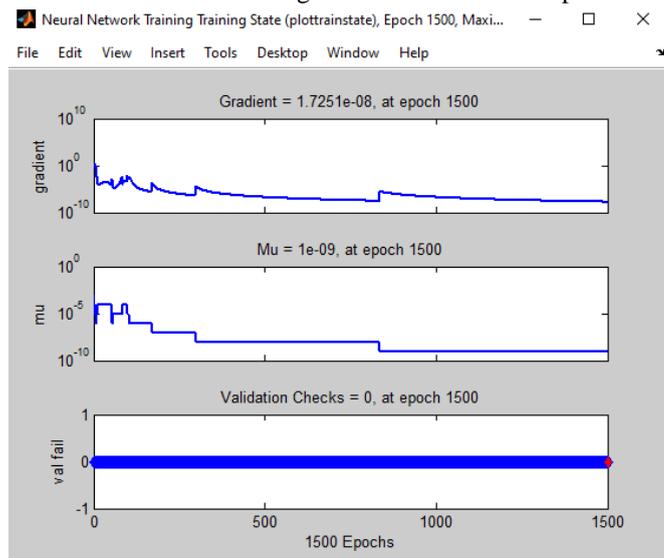
Gambar 2. Grafik Best Training Performance

Pada gambar diatas menampilkan grafik performance terbaik dan memiliki error terkecil yang diperoleh dari hasil pelatihan. Error terakhir dalam pelatihan yang telah tercapai yaitu pada epoch ke 1500. Dan program akan berhenti pada saat itu juga. Best Training Performance senilai  $0,00024262$  pada epoch 1500.



Gambar 3. Grafik Regression

Pada gambar diatas tersebut dapat dilihat ketepatan antara data input dan target dan nilai fit, pada grafik ini menunjukkan bahwa antara variabel-variabel pengujian JST pada pengujian mempunyai korelasi yang baik, hal ini dapat dilihat pada garis fit dan garis Y=T yang linear segaris. Kemudian pada saat iterasi terhenti pada epoch ke 1500 akan memunculkan grafik hubungan antara nilai epoch dan gradien, nilai epoch dan mu, serta nilai epoch dan val fail. Gradien merupakan kemiringan antara satu iterasi dengan iterasi berikutnya. Pada saat nilai mu mencapai nilai maksimal mu maka pada saat itu juga pelatihan harus dihentikan, karena apabila dilakukan pelatihan lagi maka kualitas hasil pelatihan akan mengalami penurunan.



Gambar 4. grafik Training State

Pada gambar diatas grafik training state diatas menunjukkan hubungan antara epoch dengan gradien, epoch dengan mu, dan epoch dengan validation check dan epoch dengan mu. Dapat dilihat bahwa nilai gradien yang dihasilkan sebesar 1,7125e-08 pada epoch ke 1500. Kemudian pada grafik mu yang dihasilkan adalah 1e-09 pada epoch ke 1500. Dan yang terakhir nilai validation check sebesar 0 pada epoch 1500.

B. Nilai MAPE  
 Data minyak kemiri sunan yang digunakan untuk melakukan peramalan adalah data minyak kemiri sunan dengan variasi 5%, 10%, 15%, 20%. Data input yang digunakan sebanyak 6 buah data yang merupakan data hasil penelitian pada komposisi 5% dan 10%, dan data 15% sebagai target. Data tersebut digunakan untuk meramalkan data minyak kemiri sunan pada komposisi 20%. Kemudian hasil peramalan pada variasi 20% akan dibandingkan dengan data hasil pengujian, kemudian dibandingkan untuk menguji keakurasian hasil peramalan. Karena pola yang digunakan pada pelatihan mengalami pergeseran 1 data dimana data target akan menjadi input, maka hal serupa juga terjadi padatahap pengujian ini dimana data hasil peramalan akan dijadikan sebagai input pengujian untuk peramalan data berikutnya dengan menggeser satu data. Kemudian data akan dibandingkan untuk mencari nilai MAPE.

$$MAPE = \sum \left| \frac{\text{data pengujian} - \text{data hasil peramalan}}{\text{data pengujian}} \right| \times 100\%$$

Tabel 4. Perhitungan Nilai MAPE

No	Parameter	Suhu (°C)	Ulang	Data Uji	Hasil Peramalan	Error(%)	
1	Massa jenis (gram/cm <sup>3</sup> )	30	1	0.89050	0,88671432	0,425118506	
2			0.89034	0,884214566	0,687988145		
3			0.89043	0,885635471	0,541801832		
4	Viskositas kinematik (cSt)	20	1	10.8132	11,55560842	6,865760573	
5			10.3309	10,9090632	5,596445594		
6			10.4909	10,3683552	1,168105693		
7	Tegangan Tembus (kV)	30	1	49.62	49,3701078	0,503611846	
8			48.00	52,64621993	9,679624863		
9			48.72	54,79732914	12,47399248		
10		70	1	54.02	52,47114278	2,867192185	
11			55.24	53,01899368	4,020648657		
12			55.13	53,57701347	2,816953624		
13		100	80	1	59.42	60,59765797	1,981921855
14				59.72	60,48628068	1,283122373	
15				60.31	60,72718495	0,691734286	
16	90		1	65.24	69,42448858	6,413992312	
17			66.49	70,50653226	6,040806534		
18			66.97	71,92887026	7,404614389		
19	100	1	75.14	76,49860265	1,808095089		
20		78.63	80,52560742	2,410794121			
21		75.89	76,13735544	0,325939442			
<b>MAPE (Mean Absolute Percentage Error) (%)</b>						<b>3,619441162</b>	

Dari tabel diatas dapat diketahui nilai dari error terkecil terdapat pada tegangan tembus dengan suhu 100°C pada ulangan ke 3 sebesar 0,325939442 %. Sementara error terbesar terdapat pada tegangan tembus dengan suhu 30°C pada ulangan ke 3 yaitu sebesar 12,47399248 %. Dari perhitungan yang telah dilakukan dapat diketahui nilai MAPE (Mean Average Percentage Error) yaitu sebesar 3,619441162 %.

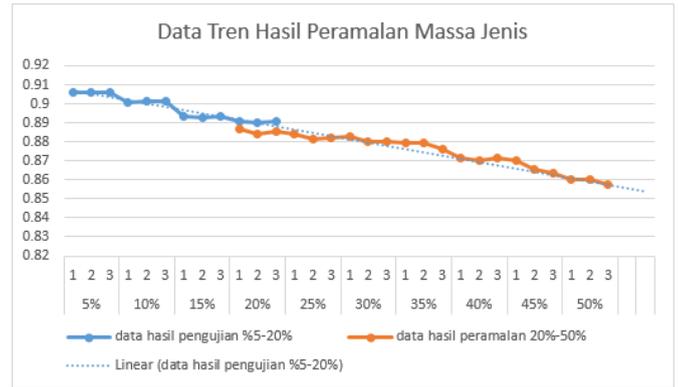
C. Hasil Peramalan Minyak Kemiri Sunan

Peramalan yang telah dilakukan menghasilkan nilai massa jenis dengan variasi 25% hingga variasi 50%. Kemudian data yang diperoleh dirata-rata tiap 3 kali pengulangan. Dibawah ini akan menampilkan tabel hasil peramalan minyak kemiri sunan.

Tabel 5. Hasil Peramalan Massa Jenis

No	Variasi	Pengulangan	Massa Jenis (gram/cm <sup>3</sup> )
1	25%	1	0,884351928
		2	0,881545082
		3	0,881886014
		<b>Rata-rata</b>	<b>0,882594341</b>
2	30%	1	0,883091331
		2	0,880024081
		3	0,879895082
		<b>Rata-rata</b>	<b>0,881003498</b>
3	35%	1	0,879460364
		2	0,879532924
		3	0,876270279
		<b>Rata-rata</b>	<b>0,878421189</b>
4	40%	1	0,871789691
		2	0,87020138
		3	0,871335203
		<b>Rata-rata</b>	<b>0,871108758</b>
5	45%	1	0,870313407
		2	0,86537585
		3	0,863303648
		<b>Rata-rata</b>	<b>0,866330968</b>
6	50%	1	0,860265972
		2	0,860156846
		3	0,857411813
		<b>Rata-rata</b>	<b>0,85927821</b>
7	55%	1	0,860022225
		2	0,857124462
		3	0,852082913
		<b>Rata-rata</b>	<b>0,856409867</b>

Pada tabel diatas merupakan tabel hasil peramalan massa jenis dengan menggunakan backpropagation neural network. Hasil ini merupakan perkiraan besaran massa jenis yang dihasilkan apabila variasi minyak kemiri sunan yang dipakai antara 25% hingga 50%. Hasil peramalan tersebut kemudian di ambil nilai rata-ratanya, dan nilai rata-rata tersebut merupakan hasil akhir yang digunakan sebagai hasil akhir yang akan dipertimbangkan.



Gambar 5. Grafik Tren Massa Jenis  
 Pada grafik diatas menunjukkan hasil peramalan pada massa jenis memiliki tren yang relatif menurun.

Tabel 6. Hasil Peramalan Viskositas

No	Variasi	Pengulangan	Viskositas (cSt)
1	25%	1	9,588360248
		2	9,044601353
		3	8,921490828
		<b>Rata-rata</b>	<b>9,184817476</b>
2	30%	1	8,837972002
		2	8,611309457
		3	7,970498375
		<b>Rata-rata</b>	<b>8,473259945</b>
3	35%	1	7,430670873
		2	7,191991386
		3	6,968764402
		<b>Rata-rata</b>	<b>7,197142221</b>
4	40%	1	5,609675369
		2	5,344355742
		3	4,863778981
		<b>Rata-rata</b>	<b>5,272603364</b>
5	45%	1	4,201504509
		2	3,041512737
		3	2,299243261
		<b>Rata-rata</b>	<b>3,180753502</b>
6	50%	1	2,09989114
		2	2,389378955
		3	1,734576894
		<b>Rata-rata</b>	<b>2,074615663</b>
7	55%	1	-1,575140725
		2	-1,239088248
		3	-1,82982519
		<b>Rata-rata</b>	<b>-1,548018054</b>

Pada tabel diatas merupakan tabel hasil peramalan viskositas dengan menggunakan backpropagation neural network. Hasil ini merupakan perkiraan besaran viskositas yang dihasilkan apabila variasi minyak kemiri sunan yang digunakan antara 25% hingga 50%.



Gambar 6. Grafik Tren Viskositas Kinematik  
 Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa bahwa tren data hasil peramalan yang dihasilkan memiliki tren yang menurun atau semakin kecil.

Tabel 7. Hasil Peramalan Tegangan Tembus Suhu 30<sup>0</sup>-80<sup>0</sup>

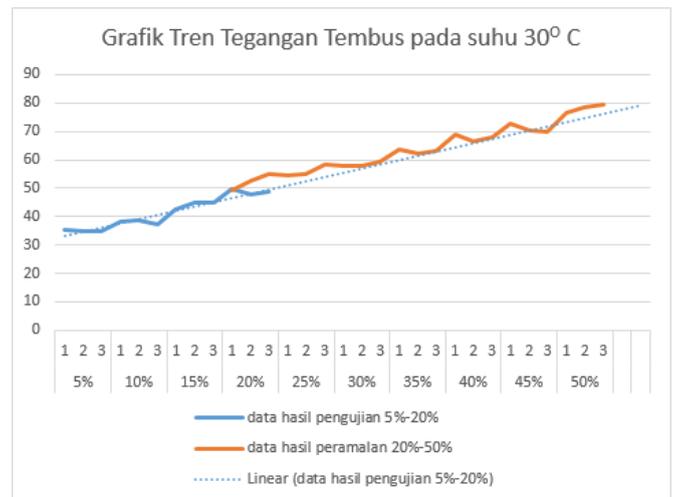
No	Variasi	Pengulangan	Tegangan Tembus (kV)		
			30 <sup>0</sup> C	70 <sup>0</sup> C	80 <sup>0</sup> C
1	25%	1	54,52405407	59,58657291	67,78635252
		2	54,95810241	61,39359333	69,20154015
		3	58,23394148	62,16886296	68,47099906
		<b>Rata-rata</b>	<b>55,90536598</b>	<b>61,0496764</b>	<b>68,48629724</b>
2	30%	1	57,92175142	67,15407026	75,80979918
		2	57,74505815	68,30592533	79,0987829
		3	59,36228562	68,71089774	75,45246352
		<b>Rata-rata</b>	<b>58,34303173</b>	<b>68,05696444</b>	<b>76,7870152</b>
3	35%	1	63,81981144	74,06949143	82,76290644
		2	62,31303128	73,63959681	83,69550968
		3	63,11037821	71,80034672	80,74303398
		<b>Rata-rata</b>	<b>63,08107364</b>	<b>73,16981165</b>	<b>82,40048337</b>
4	40%	1	68,78800461	80,51479641	88,05194296
		2	66,38471494	77,51769239	89,5874642
		3	67,86642285	75,95258396	85,3371809
		<b>Rata-rata</b>	<b>67,67971413</b>	<b>77,99502425</b>	<b>87,65886269</b>
5	45%	1	72,89376595	84,56247179	91,02058405
		2	70,1842981	82,20462748	92,98057327
		3	69,65715729	81,41280619	87,47338035
		<b>Rata-rata</b>	<b>70,91174045</b>	<b>82,72663515</b>	<b>90,49151256</b>
6	50%	1	76,3397407	87,18957858	92,37159332
		2	78,28904373	86,89421094	94,78685781
		3	79,25465158	83,71787448	88,35696679
		<b>Rata-rata</b>	<b>77,96114534</b>	<b>85,933888</b>	<b>91,83847264</b>
7	55%	1	75,30627863	86,90629833	93,44166878
		2	76,01837148	87,87163246	94,48508298
		3	79,910226	85,34051248	88,83948546
		<b>Rata-rata</b>	<b>77,07829204</b>	<b>86,70614776</b>	<b>92,25541241</b>

Kemudian dilanjutkan pada tegangan tembus pada suhu 90<sup>0</sup> dan 100<sup>0</sup> akan ditampilkan pada tabel berikut.

Tabel 8. Hasil Peramalan Tegangan Tembus pada Suhu 90° dan 100°

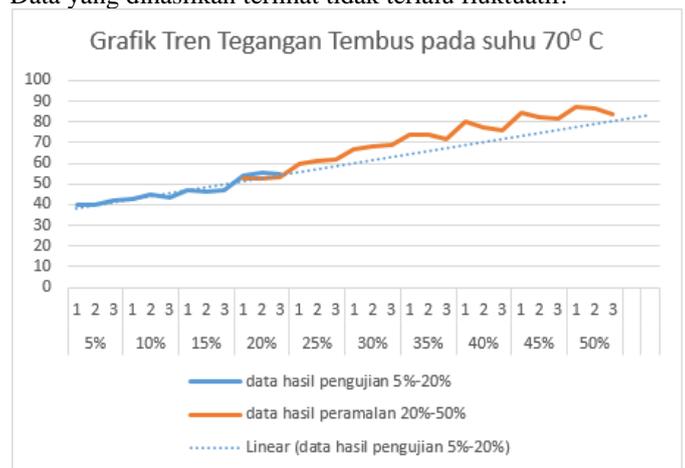
No	Variasi	Pengulangan	Tegangan Tembus (kV)	
			90° C	100° C
1	25%	1	75,97845834	83,85603899
		2	77,71420067	86,58462755
		3	74,55068712	86,56236232
		<b>Rata-rata</b>	<b>76,08111538</b>	<b>85,66767629</b>
2	30%	1	82,78142288	89,38076743
		2	83,29014618	89,67125357
		3	79,52742991	88,39372374
		<b>Rata-rata</b>	<b>81,86633299</b>	<b>89,14858158</b>
3	35%	1	87,18707408	92,30562403
		2	87,50656792	90,12298721
		3	82,42136982	93,97671906
		<b>Rata-rata</b>	<b>85,70500394</b>	<b>92,1351101</b>
4	40%	1	89,0455998	92,89760383
		2	91,93592264	94,72652734
		3	88,75140816	93,49883039
		<b>Rata-rata</b>	<b>89,91097687</b>	<b>93,70765385</b>
5	45%	1	91,92223903	94,64495765
		2	93,98058592	98,68992127
		3	88,92873899	97,74420634
		<b>Rata-rata</b>	<b>91,61052131</b>	<b>97,02636175</b>
6	50%	1	93,93580193	94,50733456
		2	95,0805946	100,1246808
		3	91,08401052	97,78244819
		<b>Rata-rata</b>	<b>93,36680235</b>	<b>97,47148786</b>
7	55%	1	94,62869082	96,7730556
		2	95,67440513	101,8143926
		3	92,4925334	97,11368929
		<b>Rata-rata</b>	<b>94,26520978</b>	<b>98,56704582</b>

Pada tabel diatas merupakan tabel hasil peramalan tegangan tembus pada suhu 30° C dan 100° C dengan menggunakan backpropagation neural network. Hasil ini merupakan perkiraan besaran tegangan tembus yang dihasilkan apabila variasi minyak kemiri sunan yang digunakan antara 25% hingga 50%. Hasil peramalan tersebut kemudian di ambil nilai rata-ratanya, dan nilai rata-rata tersebut merupakan hasil akhir yang digunakan sebagai hasil akhir yang akan dipertimbangkan. Hasil peramalan tersebut akan ditampilkan dalam bentuk grafik agar dapat kita lihat tren yang dihasilkan dari data peramalan.



Gambar 7. Grafik Tren Tegangan Tembus 30°

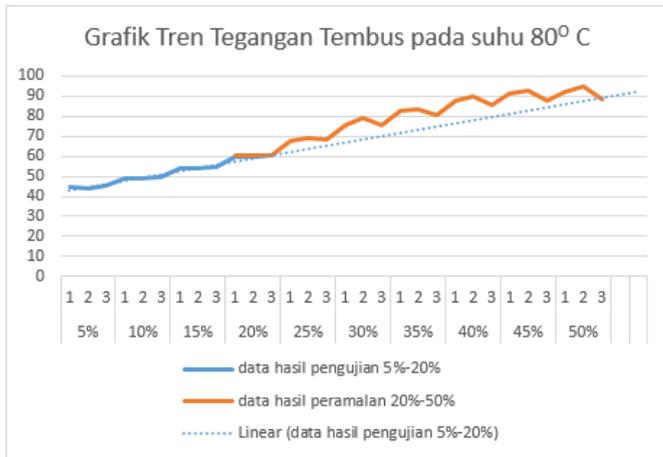
Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa tren data hasil peramalan tegangan tembus dengan suhu 30° C yang dihasilkan memiliki tren yang meningkat atau semakin besar. Data yang ditampilkan memiliki keselarasan dengan garis linear data pengujian. Hal itu menunjukkan keakurasian hasil peramalan. Data yang dihasilkan terlihat tidak terlalu fluktuatif.



Gambar 8. Grafik Tren Tegangan Tembus 70°

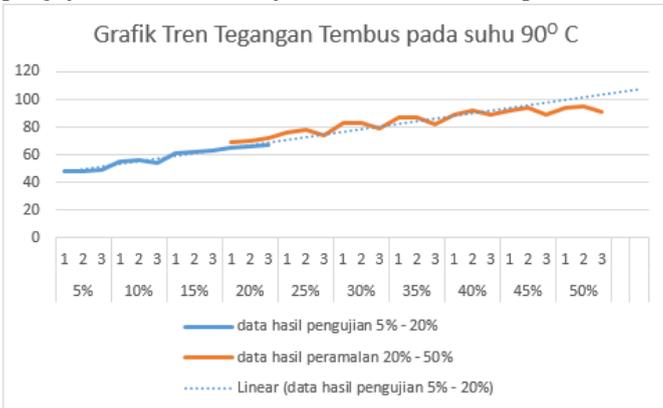
Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa tren data hasil peramalan tegangan tembus dengan suhu 70° C yang dihasilkan memiliki tren yang meningkat atau semakin besar. Data yang ditampilkan memiliki keselarasan dengan garis linear data pengujian. Hal itu menunjukkan keakurasian hasil peramalan. Data yang dihasilkan terlihat lebih fluktuatif.





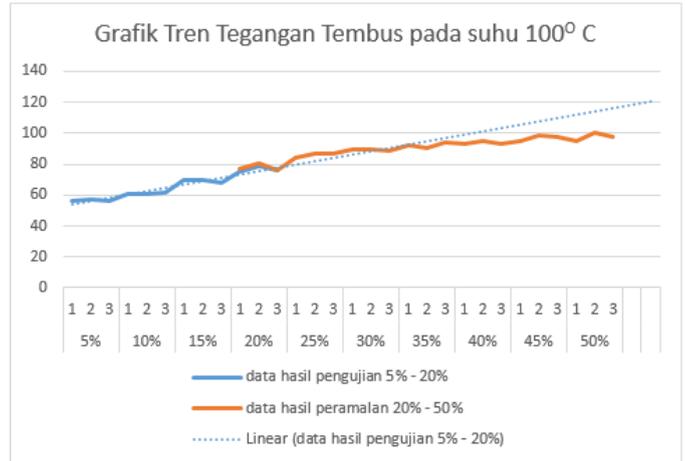
Gambar 9. Grafik Tren Tegangan Tembus 80<sup>o</sup>

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa tren data hasil peramalan tegangan tembus dengan suhu 80° C yang dihasilkan memiliki tren yang meningkat atau semakin besar. Data yang ditampilkan memiliki keselarasan dengan garis linear data pengujian. Hal itu menunjukkan keakuratan hasil peramalan.



Gambar 10. Grafik Tren Tegangan Tembus 90<sup>o</sup>

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa tren data hasil peramalan tegangan tembus dengan suhu 90° C yang dihasilkan memiliki tren yang meningkat atau semakin besar. Data yang ditampilkan memiliki keselarasan dengan garis linear data pengujian. Hal itu menunjukkan keakuratan hasil peramalan.



Gambar 11. Grafik Tren Tegangan Tembus 100<sup>o</sup>

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa tren data hasil peramalan tegangan tembus dengan suhu 100° C yang dihasilkan memiliki tren yang meningkat atau semakin besar. Data yang ditampilkan memiliki keselarasan dengan garis linear data pengujian.

Berdasarkan standar SPLN 1982, nilai tegangan tembus dari suatu isolator cair transformator daya jenis baru harus memiliki nilai tegangan tembus diatas 50 kv. Apabila suatu minyak transformator memiliki tegangan tembus yang dibawah batasan tersebut maka dapat dipastikan bahwa minyak tersebut tidak dapat digunakan.

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan analisis data pada penjelasan sebelumnya, kesimpulan yang diperoleh adalah sebagai berikut :

1. Presentase bio transformer oil terbaik terdapat pada variasi 50% dimana pada presentase tersebut memiliki nilai massa jenis sebesar 0,85927821 gram//cm<sup>3</sup>, viskositas kinematik sebesar 2,074615663 cSt, dan tegangan tembus pada suhu 30°C sebesar 77,96 kV, pada suhu 70°C sebesar 85,93 kV, pada suhu 80°C sebesar 91,84 kV, pada suhu 90°C sebesar 93,37 kV, pada suhu 100°C sebesar 97,47 kV. Dimana semua parameter tersebut telah memenuhi standar SPLN 1982.
2. Pada variasi 50% memiliki karakteristik bio transformer oil yang lebih baik dibandingkan dengan variasi 20%, dimana massa jenis dan viskositas yang dihasilkan menjadi lebih kecil, yaitu massa jenis dengan selisih sebesar 0,031155123 gram//cm<sup>3</sup>, viskositas dengan selisih 8,470384337 cSt. Sementara pada tegangan tembus mengalami peningkatan sekitar 30,51 kV pada suhu 30°C. Peningkatan sebesar 31,14 kV pada suhu 70°C. Peningkatan sebesar 32,02 kV pada suhu 80°C. Peningkatan sebesar 27,13 kV pada suhu 90°C. Peningkatan sebesar 20,92 kV pada suhu 100°C.
3. Hasil simulasi *Neural Network* pada variasi 20% menghasilkan nilai MAPE (*Mean Average Percentage Error*) sebesar 3,62%. Ini menunjukkan tingkat akurasi yang baik dari hasil peramalan karena memiliki tingkat kesalahan/error yang relatif kecil

### SARAN

Saran yang dianjurkan untuk pengembangan penelitian yang lebih lanjut dengan harapan dapat memperbaiki kekurangan dan menemukan hasil yang lebih baik adalah sebagai berikut :

1. Agar biotransformer oil tersebut bisa dipertimbangkan sebagai alternatif minyak transformer maka diperlukan penelitian/pengujian yang lebih lanjut pada biotransformer tersebut.
2. Sebagai referensi pembandingan yang dapat digunakan untuk menemukan variasi bio transformer oil dengan metode yang lain.
3. Sebagai referensi pembandingan yang dapat digunakan untuk melakukan peramalan dengan menggunakan metode lainnya.

### REFERENSI

- [1] APAR. (2015). Product. Retrieved Mei 8, 2017, from APAR Industries LTD.: <http://www.apar.com/transformer-oils.php>
- [2] Kusumadewi, Sri. 2004. Membangun Jaringan Syaraf Tiruan Menggunakan MATLAB & EXCEL LINK. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- [3] Rahardimas, Septa. (2019). Studi Peramalan Beban puncak Jangka Panjang Menggunakan Jaringan Saraf Tiruan Levenberg Marquardt Ditinjau dari Kapasitas Transformator Jember pada PT. PLN (Persero) APJ Jember. Jember : Teknik Elektro Universitas Jember.
- [4] Setiawan, B. M. (2019). Studi Peramalan Beban Puncak Ditinjau Dari Jaringan Penyulang SUTM 20 kV Pada PT.PLN (Persero) Rayon Pasuruan Kota Menggunakan Metode Backpropagation. Jember : Teknik Elektro Universitas Jember.
- [5] Simamora, Y., & Tobing, P. S. (2010). Analisis Ketidaksimbangan Beban Transformator Distribusi Untuk Identifikasi Beban Lebih dan Estimasi Rugi-Rugi Pada Jaringan Tegangan Rendah. Kosentrasi Teknik Energi Listrik, Departemen Teknik Elektro Universitas Sumatera Utara, 1.
- [6] SPLN 49 - 1 : 1982. Minyak isolator – Pedoman Penerapan Spesifikasi dan Pemeliharaan Minyak isolator. Perusahaan Umum Listrik Negara. 1982.
- [7] Utomo, Nur Wahyu. (2019). Studi Karakteristik Bio Transformer Oil Berbahan Dasar Minyak Kemiri Sunan (Reutealis Trisperma Blanco) sebagai Alternatif Isolasi Cair pada Transformator Daya dengan Variasi Fenol dan APAR Poweroil TO 20. Jember : Teknik Elektro Universitas Jember.

