



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**FINAL PROJECT - TE 141599**

**ESTIMATION OF TOP OIL TEMPERATURE BASED ON  
CURRENT MEASUREMENT AND LOAD FACTOR IN  
DISTRIBUTION TRANSFORMER (20 KV/220 V) WITH  
BACKPROPAGATION NEURAL NETWORK (BPNN) METHOD**

Ahmad Ali Ma'shum  
NRP 2213 100 031

Advisor  
Dr.Eng. Ardyono Priyadi, ST., M. Eng.  
Heri Suryoatmojo, ST., MT., Ph.D.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING  
Faculty of Electrical Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2017



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR - TE 141599**

**ESTIMASI SUHU *TOP-OIL* BERDASARKAN PENGUKURAN  
ARUS DAN PEMBEBANAN PADA TRANSFORMATOR  
DISTRIBUSI (20 KV/220 V) DENGAN METODE  
*BACKPROPAGATION NEURAL NETWORK (BPNN)***

Ahmad Ali Ma'shum  
NRP 2213 100 031

Dosen Pembimbing  
Dr.Eng. Ardyono Priyadi, ST., M. Eng.  
Heri Suryoatmojo, ST., MT., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017

## **PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR**

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “**Estimasi Suhu *Top-Oil* Berdasarkan Pengukuran Arus dan Pembebanan Pada Transformator Distribusi (20 kV/220 V) dengan Metode *BackPropagation Neural Network* (BPNN)**” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 13 Juli 2017

**Ahmad Ali Ma'shum**  
NRP. 2213100031

**ESTIMASI SUHU TOP-OIL BERDASARKAN PENGUKURAN  
ARUS DAN PEMBEBANAN PADA TRANSFORMATOR  
DISTRIBUSI (20 KV/220 V) DENGAN METODE  
BACKPROPAGATION NEURAL NETWORK (BPNN)**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memeperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada  
Bidang Teknik Sistem Tenaga  
Departemen Teknik Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Menyetujui:**

**Dosen Pembimbing I,**

**Dosen Pembimbing II,**

**Dr.Eng. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng.      Heri Suryoatmojo, ST., M.Eng., Ph.D.**  
**NIP. 19730927 199803 1 004      NIP. 19800603 200604 1 003**



**SURABAYA  
JULI, 2017**

# **Estimasi Suhu *Top-Oil* Berdasarkan Pengukuran Arus dan Pembebanan pada Transformator Distribusi (20 KV/220 V) dengan Metode *Backpropagation Neural Network* (BPNN)**

**Nama** : Ahmad Ali Ma'shum  
**Pembimbing I** : Dr. Eng. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng.  
**Pembimbing II** : Heri Suryoatmojo, ST., MT., Ph.D

## **ABSTRAK**

Pada sistem transmisi dan distribusi transformator merupakan bagian yang penting karena berdasarkan fungsinya untuk menaikkan/menurunkan level tegangan digunakan untuk mengatasi rugi-rugi. Selain itu juga transformator merupakan peralatan listrik paling mahal, ditambah lagi dengan kebutuhan konsumen yang didominasi oleh beban rumah tangga dengan level tegangan 220 volt, sehingga mutlak untuk dilakukan monitoring kondisi untuk menjaga kontinuitas penyaluran daya serta mempertahankan keandalannya.

Monitoring trafo digunakan untuk mengetahui performa trafo agar dapat dilakukan *predictive maintenance*. Bahkan dapat digunakan untuk mencari sisa umur trafo melalui suhu *hot-spot*. Sehingga dapat diketahui penyebab kerusakan transformator untuk dilakukan tindakan preventif sebelum kerusakan itu terjadi. Kerusakan atau penuaan isolasi merupakan masalah yang sering terjadi pada transformator. Kerusakan isolasi tersebut diakibatkan oleh beberapa faktor seperti, pembebanan melebihi ratingnya, *unbalanced load*, suhu lingkungan, getaran dll. Untuk mengetahui umur transformator diperlukan parameter suhu dari isolasi minyak transformator secara real time. Pada penelitian ini akan dilakukan studi tentang monitoring suhu minyak trafo berdasarkan parameter arus, pembebanan dan *unbalanced load* untuk dimodelkan menggunakan *BackPropagation Neural Network* (BPNN). Metode tersebut digunakan untuk memprediksi suhu minyak trafo dengan melakukan training data dari beberapa kapasitas trafo yang diambil melalui pengukuran di lapangan. Hasil estimasi yang paling bagus didapat dari trafo dengan kapasitas yang sama yaitu 200 kVA dengan nilai MAPE (Mean Absolute Percent Error) 3,64%.

**Kata kunci:** Transformator distribusi, suhu minyak transformator, arus, *unbalanced load*, *Backpropagation Neural Network* (BPNN)

*---Halaman ini sengaja dikosongkan---*

# **Estimation of Top-Oil Temperature Based on Current Measurement and Load Factor in Distribution Transformer (20 KV/220 V) With Backpropagation Neural Network (BPNN) Method.**

**Name** : Ahmad Ali Ma'shum  
**Advisor** : Dr. Eng. Ardyono Priyadi, S.T., M.Eng.  
Heri Suryoatmojo, ST., MT., Ph.D

## **ABSTRACT**

Transformer is an important part of transmission and distribution systems because it's function to step up/step down of voltage level to reduce losses. Beside of that, transformer is the most expensive equipment of electric power transmission and distribution, and then because consumer needs are dominated by the load of household with voltage level is 220 volt, so it's absolute to monitoring condition of transformer to maintain continously of power distribution and the reliability.

Monitoring transformer used to known performance of the transformer to do predictive maintainence. Moreover used to known remain lifetime of the transformer using hot-spot temperature. So, cause of damage of transformer can be identified before. The aging or deterioration of insulation is the most common problem that occurred. The aging of insulation caused by some factors, like overload, unbalanced load, ambient temperature, vibration etc. Needs temperature of transformer insulation parameter to identify lifetime of transformer. In this final project will studying about oil temperature of transformer monitoring based on parameters current, load factor, and unbalanced load to modeled using BackPropagation Neural Network (BPNN). It's method used to predicting oil temperature of transformer by train data from some transformer capacity taken throung field measurement. The most good modelling result obtained from the transformer with same capacity, 200 kVA with MAPE (Mean Absolute Percent Error) is 3,64 percent.

**Keywords:** Distribution transformer, transformer oil temperature, current, unbalanced load, Backpropagation Neural Network (BPNN)

*----Halaman ini sengaja dikosongkan----*

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, penulis ucapkan atas kehadiran Tuhan Yang Maha Esa karena atas rahmat dan karunianya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul : **Estimasi Suhu *Top-Oil* Berdasarkan Pengukuran Arus dan Pembebanan pada Transformator Distribusi (20 KV/220 V) dengan Metode *Backpropagation Neural Network* (BPNN).**

Dalam proses penyusunannya penulis telah banyak dibantu oleh berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Allah SWT karena telah memberikan kelancaran dalam melaksanakan Tugas Akhir ini, dan semoga diberikan keberkahan atas apa yang telah dilalui.
2. Kedua orang tua, Sairozi dan Jannatin serta adik dan kakak, Shofiatul Hidayah dan Nur Hidayati Hilmiah yang tidak pernah putus untuk selalu mendoakan saya di sepertiga malamnya.
3. Bapak Dr. Eng. Ardyono Priyadi, S.T., M.Eng. dan Bapak Heri Suryoatmojo ST., MT., Ph.D selaku pembimbing yang telah banyak membantu dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Irma Amalia Samsudin yang selalu memberikan semangat dan doa setiap waktu.
5. Rekan-rekan e53 yang sudah memberikan semangat kepada kami dan pihak-pihak lain yang belum dapat kami sebutkan satu per satu.
6. Teman-teman Laboratorium Instrumentasi, Pengukuran dan Identifikasi Sistem Tenaga (LIPIST) yang telah membantu dan memberikan support untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
7. Tim riset trafo, Ibu rosmaliati yang telah membimbing dan mengarahkan, Jatu Montazeri dan Rama Kurniawan sebagai rekan riset di penelitian ini.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini belum sempurna, oleh karena itu saran dan masukan sangat diharapkan untuk perbaikan di masa yang akan datang. Semoga buku Tugas Akhir ini bermanfaat bagi pembaca dan masyarakat pada umumnya.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

## DAFTAR ISI

ABSTRAK .....	i
ABSTRACT .....	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI .....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL .....	xiii
BAB 1	
PENDAHULUAN.....	1
1.1    Latar Belakang.....	1
1.2    Perumusan Masalah .....	2
1.3    Tujuan .....	3
1.4    Metodologi.....	3
1.5    Sistematika.....	4
1.6    Relevansi atau Manfaat.....	5
BAB 2	
TRANSFORMATOR DAN BACKPROPAGATION NEURAL NETWORK .....	7
2.1    Transformator Daya.....	7
2.2    Klasifikasi Transformator .....	13
2.3    Minyak Transformator.....	16
2.4    Suhu Transformator .....	19
2.5 <i>BackPropagation Neural Network</i> (BPNN) .....	21
BAB 3	
PENGAMBILAN DATA DAN PERANCANGAN PROGRAM .....	23
3.1    Pengambilan Data .....	23
3.2    Perancangan Program <i>Backpropagation Neural Network</i> .....	24
BAB 4	
PENGOLAHAN DATA DAN HASIL ANALISIS .....	29
4.1    Data Arus tiap Fasa dan Suhu <i>Top-Oil</i> .....	31
4.2    Data Pembebanan, <i>Unbalanced Load</i> dan Suhu <i>Top-Oil</i> .....	44
4.3    Arsitektur <i>BackPropagation Neural Network</i> .....	58
4.3.1    Penentuan Input .....	59
4.3.2    Penentuan Output.....	59
4.3.3    Tahap Pelatihan .....	60
4.3.4    Tahap Pengujian .....	60

4.4	Estimasi Suhu <i>Top-Oil</i> Menggunakan BackPropagation Neural Network .....	61
4.4.1	Estimasi Suhu <i>Top-Oil</i> Transformator 100 kVA .....	61
4.4.2	Estimasi Suhu <i>Top-Oil</i> Transformator 160 kVA .....	65
4.4.3	Estimasi Suhu <i>Top-Oil</i> Transformator 200 kVA .....	69
4.4.4	Estimasi Suhu <i>Top-Oil</i> Transformator dengan Kapasitas 100 kVA dan 160 kVA.....	73
4.4.5	Estimasi Suhu <i>Top-Oil</i> Transformator dengan Kapasitas 100 kVA dan 200 kVA.....	77
4.4.6	Estimasi Suhu <i>Top-Oil</i> Transformator dengan Kapasitas 160 kVA dan 200 kVA.....	81
4.4.7	Estimasi Suhu <i>Top-Oil</i> Transformator dengan Kapasitas 100 kVA, 160 kVA dan 200 kVA .....	85
<b>BAB 5</b>		
PENUTUP .....		93
5.1	Kesimpulan.....	93
5.2	Penelitian Selanjutnya .....	93
DAFTAR PUSTAKA .....		95
BIOGRAFI PENULIS.....		97
LAMPIRAN .....		99

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Kurva magnetisasi pada transformator .....	8
Gambar 2. 2	Prinsip kerja transformator daya.....	9
Gambar 2. 3	Inti besi .....	11
Gambar 2. 4	Kumparan fasa rst pada transformator .....	11
Gambar 2. 5	Contoh bushing transformer dan konstruksi bushing transformer.....	12
Gambar 2. 6	Transformator tipe inti.....	14
Gambar 2. 7	Transformator tipe cangkang .....	14
Gambar 2. 8	Diagram <i>thermal</i> .....	19
Gambar 2. 9	Arsitektur jaringan backpropagation .....	22
Gambar 4. 1	Grafik arus tiap fasa transformator M.190.....	32
Gambar 4. 2	Grafik suhu <i>top-oil</i> transformator M.190.....	32
Gambar 4. 3	Grafik arus tiap fasa transformator M.180.....	33
Gambar 4. 4	Grafik suhu <i>top-oil</i> transformator M.180.....	33
Gambar 4. 5	Grafik arus tiap fasa transformator M.071.....	34
Gambar 4. 6	Grafik suhu <i>top-oil</i> transformator M.071.....	34
Gambar 4. 7	Grafik arus tiap fasa transformator M.218.....	35
Gambar 4. 8	Grafik suhu <i>top-oil</i> transformator M.218.....	35
Gambar 4. 9	Grafik arus tiap fasa transformator M.295.....	36
Gambar 4. 10	Grafik suhu <i>top-oil</i> transformator M.295.....	36
Gambar 4. 11	Grafik arus tiap fasa transformator M.199.....	37
Gambar 4. 12	Grafik suhu <i>top-oil</i> transformator M.199.....	37
Gambar 4. 13	Grafik arus tiap fasa transformator M.391.....	38
Gambar 4. 14	Grafik suhu <i>top-oil</i> transformator M.391.....	38
Gambar 4. 15	Grafik arus tiap fasa transformator M.406.....	39
Gambar 4. 16	Grafik suhu <i>top-oil</i> transformator M.406.....	39
Gambar 4. 17	Grafik arus tiap fasa transformator M.040.....	40
Gambar 4. 18	Grafik suhu <i>top-oil</i> transformator M.040.....	40
Gambar 4. 19	Grafik arus tiap fasa transformator M.049-1 .....	41
Gambar 4. 20	Grafik suhu <i>top-oil</i> transformator M.049-1 .....	41
Gambar 4. 21	Grafik arus tiap fasa transformator M.057 .....	42
Gambar 4. 22	Grafik suhu <i>top-oil</i> transformator M.057.....	42
Gambar 4. 23	Grafik arus tiap fasa transformator M.FRSM.....	43
Gambar 4. 24	Grafik suhu <i>top-oil</i> transformator M.FRSM.....	43

Gambar 4. 25 Grafik pembebanan, unbalanced load dan suhu <i>top-oil</i> transformator M.190 .....	46
Gambar 4. 26 Grafik pembebanan, unbalanced load dan suhu <i>top-oil</i> transformator M.071 .....	47
Gambar 4. 27 Grafik pembebanan, unbalanced load dan suhu <i>top-oil</i> transformator M.218 .....	48
Gambar 4. 28 Grafik pembebanan, unbalanced load dan suhu <i>top-oil</i> transformator M.180 .....	49
Gambar 4. 29 Grafik pembebanan, unbalanced load dan suhu <i>top-oil</i> transformator M.295 .....	50
Gambar 4. 30 Grafik pembebanan, unbalanced load dan suhu <i>top-oil</i> transformator M.166 .....	51
Gambar 4. 31 Grafik pembebanan, unbalanced load dan suhu <i>top-oil</i> transformator M.391 .....	52
Gambar 4. 32 Grafik pembebanan, unbalanced load dan suhu <i>top-oil</i> transformator M.046 .....	53
Gambar 4. 33 Grafik pembebanan, unbalanced load dan suhu <i>top-oil</i> transformator M.040 .....	54
Gambar 4. 34 Grafik pembebanan, unbalanced load dan suhu <i>top-oil</i> transformator M.049-1 .....	55
Gambar 4. 35 Grafik pembebanan, unbalanced load dan suhu <i>top-oil</i> transformator M.057 .....	56
Gambar 4. 36 Grafik pembebanan, unbalanced load dan suhu <i>top-oil</i> transformator M.FRSM .....	57
Gambar 4. 37 Arsitektur dari <i>BackPropagation Neural Network</i> .....	59
Gambar 4. 38 Proses training BPNN pada kapasitas 100 kVA.....	62
Gambar 4. 39 1855 data training transformator 100 kVA.....	63
Gambar 4. 40 631 data testing transformator dengan kapasitas 100 kVA .....	64
Gambar 4. 41 Proses training BPNN pada kapasitas 160 kVA.....	66
Gambar 4. 42 1468 data training transformator 160 kVA.....	67
Gambar 4. 43 314 data testing transformator dengan kapasitas 160 kVA .....	68
Gambar 4. 44 Proses training BPNN pada kapasitas 200 kVA.....	70
Gambar 4. 45 1600 data training transformator 200 kVA.....	71

Gambar 4. 46	629 data testing transformator dengan kapasitas 200 kVA	72
Gambar 4. 47	Proses training BPNN pada kapasitas 100 kVA dan 160 kVA	74
Gambar 4. 48	3319 data training transformator kapasitas 100 kVA dan 200 kVA	75
Gambar 4. 49	949 data testing transformator kapasitas 100 kVA dan 200 kVA	76
Gambar 4. 50	Proses training BPNN pada kapasitas 100 kVA dan 200 kVA	78
Gambar 4. 51	2620 data training transformator 100 kVA dan 200 kVA	79
Gambar 4. 52	1274 data testing transformator dengan kapasitas 100 kVA dan 200 kVA	80
Gambar 4. 53	Proses training BPNN pada kapasitas 160 kVA dan 200 kVA	82
Gambar 4. 54	2524 data training transformator 160 kVA dan 200 kVA	83
Gambar 4. 55	666 data testing transformator dengan kapasitas 160 kVA dan 200 kVA	84
Gambar 4. 56	Proses training BPNN pada kapasitas 100 kVA, 160 kVA dan 200 kVA	86
Gambar 4. 57	4375 data training transformator 100 kVA, 160 kVA dan 200 kVA	87
Gambar 4. 58	1301 data testing transformator dengan kapasitas 100 kVA, 160 kVA dan 200 kVA	88

***----Halaman ini sengaja dikosongkan----***

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Batas kenaikan suhu transformator .....	21
Tabel 4. 1 Data transformator.....	29
Tabel 4. 2 Perbandingan jumlah data training dan testing .....	90

*---Halaman ini sengaja dikosongkan---*

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Penduduk Indonesia selalu mengalami peningkatan setiap tahunnya. Hal ini berdampak pada peningkatan kebutuhan listrik. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut yang terus mengalami peningkatan, diperlukan pembangunan jaringan sistem transmisi dan distribusi serta keandalan sistem untuk menjamin kontinuitas penyaluran beban. Beban listrik yang ada di Indonesia dapat diklasifikasikan menjadi 3, yaitu beban rumah tangga, industri dan bisnis. Berdasarkan data statistic PT. PLN pada tahun 2015, jumlah energi listrik terjual mencapai 202.845,82 GWh. Jumlah tersebut meliputi kelompok pelanggan rumah tangga sebesar 88.682,13 GWh (43,72%), kelompok pelanggan industri sebesar 64.079,39 GWh (31,59%), dan kelompok pelanggan bisnis sebesar 36.978,05 GWh (18,23%) serta kelompok sosial, gedung pemerintah dan penerangan jalan umum sebesar 13.106,25 GWh (6,46%). Dengan demikian beban rumah tangga memiliki prosentase tertinggi, yang artinya sesuai dengan jumlah banyaknya transformator distribusi yang terpasang yaitu sebanyak 405.534 unit [1]. Sistem transmisi dan distribusi listrik di Indonesia saat ini menggunakan sistem *High Voltage Alternating Current* (HVAC). Pada sistem ini, transformator merupakan komponen penting, karena pada pengoperasiannya akan mengalami rugi-rugi daya yang cukup besar. Untuk mengatasi rugi-rugi daya yang dialami pada sistem ini diperlukan transformator untuk menaikkan atau menurunkan tegangan di jaringan transmisi maupun distribusi. Pada jaringan sistem transmisi dan distribusi, transformator merupakan komponen peralatan yang paling mahal, sehingga kerusakan transformator harus dihindari dan dideteksi secara dini. Kerusakan transformator dapat disebabkan oleh beberapa faktor seperti, kegagalan isolasi pada belitan dengan persentase 30% , kegagalan pada bushing dengan persentase 14% , dan kegagalan *On-load Tap Changer* dengan persentase terbesar yaitu 40% dan sisanya kegagalan pada inti trafo, tank, dan *auxiliary* dengan akumulasi persentase sebesar 16%. Persentase tertinggi akibat kegagalan pada tapping transformator, karena pada tapping transformator besar kemungkinan terjadi *arching* (lompatan bunga

api) sehingga menyebabkan isolasi minyak kotor dan mengurangi kekuatan isolasi minyak [4].

Berdasarkan sebuah survey IEE, kegagalan minyak trafo mencapai 0,00625 pertahun. Bahwa 10 dari 100 trafo akan bermasalah dalam 16 tahun kedepan. Berdasarkan survey internasional yang diadakan oleh CIGRE, kegagalan ditaksir mencapai 1-2% per tahun untuk trafo besar (yang mengoperasikan daya hingga 300kV). Maka dengan demikian monitoring kondisi transformator sangatlah penting untuk dilakukan. Terdapat beberapa parameter yang perlu diperhatikan dalam monitoring kondisi transformator yaitu, kenaikan suhu tranformator, baik suhu internal maupun suhu eksternal, faktor pembebanan, dimana pada hal ini berkaitan erat dengan banyaknya harmonik pada jaringan akibat dari beban rumah tangga yang didominasi oleh beban non linier, dan juga getaran transformator (*vibration*). Pada penelitian ini hanya difokuskan pada parameter suhu, karena seluruh parameter yang ada nantinya juga mempengaruhi kenaikan suhu transformator.

Untuk memodelkan suhu transformator dapat digunakan jaringan syaraf tiruan seperti *BackPropagation Neural Network* (BPNN). Dengan mempertimbangkan ketidak linieran beban, maka penggunaan metode BPNN untuk estimasi suhu transformator merupakan metode yang efektif karena BPNN merupakan metode yang cocok untuk kondisi non-linier [6]. Metode ini akan digunakan untuk melakukan *training* data dari beberapa parameter yang mempengaruhi besarnya kenaikan suhu transformator. Hasil dari *training* data tersebut akan digunakan sebagai referensi untuk meramalkan *top-oil* transformator lainnya dengan spesifikasi yang sama dan dengan spesifikasi yang berbeda. Dengan demikian *top-oil* transformator yang akan didapat, dapat digunakan sebagai salah satu parameter untuk memperoleh nilai suhu *hot-spot*. Suhu *hot-spot* dapat digunakan untuk memperkirakan susut umur trafnsformator dan kemudian dapat digunakan sebagai referensi untuk *predictive maintenance* untuk menjaga kontinuitas penyaluran beban.

## 1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang dibahas pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik arus terhadap kondisi suhu minyak transformator.

2. Bagaimana karakteristik pembebanan pada transformator terhadap suhu minyak transformator
3. Bagaimana karakteristik *unbalanced load* terhadap kondisi umur transformator.
4. Bagaimana hasil estimasi suhu *top-oil* transformator dengan menggunakan metode BPNN.

Dalam menyelesaikan permasalahan pada tugas akhir ini terdapat batasan-batasan masalah sebagai berikut:

1. Transformator yang digunakan merupakan transformator distribusi dengan kapasitas 100 KVA, 160 KVA, dan 200 KVA dengan level tegangan 20 KV/220 V
2. Analisis yang dilakukan dengan mempertimbangkan pengaruh arus, pembebanan, dan *unbalance load*.

### **1.3 Tujuan**

Penelitian ini bertujuan sebagai berikut:

1. Mendapatkan karakteristik arus terhadap suhu minyak transformator.
2. Mendapatkan karakteristik pembebanan terhadap suhu minyak transformator.
3. Mendapatkan karakteristik *unbalanced load* terhadap suhu minyak transformator.
4. Mendapatkan hasil estimasi suhu *top-oil* transformator menggunakan BPNN.

### **1.4 Metodologi**

Metodologi yang digunakan dalam pelaksanaan pada penelitian dan penyelesaian tugas akhir ini mengikuti pola sebagai berikut:

1. Studi Literatur  
Proses yang dilakukan dengan mempelajari literatur dari buku, jurnal ilmiah, artikel ilmiah dan sumber lainnya. Hal yang dipelajari adalah terkait tentang transformator daya, minyak transformator terutama suhu minyak transformator dan metode *BackPropagation Neural Network*.
2. Pengumpulan data  
Pada proses ini dilakukan pengumpulan data yang didapatkan dari proses pengukuran. Data ini yang digunakan sebagai data latih dan data uji.
3. Pengolahan data dan pembuatan program BPNN

Pada proses inilah data diolah dan dibagi menjadi data latih dan data uji sebagai estimasi pada program *BackPropagation Neural Network*. Pembuatan program dilakukan dengan menentukan parameter yang diperlukan untuk menentukan jumlah input dan jumlah output yang diinginkan sesuai pola dari program tersebut.

4. Pelatihan dan pengujian BPNN

Pelatihan dilakukan dengan melatih program *BackPropagation Neural Network* dengan data latih yang sebelumnya ditentukan parameter-parameter yang diperlukan. Setelah proses pelatihan maka dilakukan pengujian untuk memodelkan hasil dari output yang diinginkan. Hasil inilah yang akan diverifikasi dengan data uji untuk mengetahui hasil estimasi tersebut bagus atau tidak.

5. Analisis dan Penyusunan Laporan

Analisis data dilakukan dari hasil karakteristik antara arus, pembebanan dan *unbalance load* terhadap suhu *top-oil* pada transformator. Serta analisis hasil pengujian program *BackPropagation Neural Network* dengan data aktual hasil pengukuran.

## 1.5 Sistematika

Sistematika penulisan dalam tugas akhir ini terdiri dari lima bab yang berisi tentang:

### BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang, perumusan masalah, tujuan, metodologi, sistematika dan relevansi atau manfaat penulisan tugas akhir.

### BAB II : TEORI PENUNJANG

Bab ini berisi tentang pembahasan secara umum tentang landasan teori dari tugas akhir. Teori tersebut berkaitan dengan transformator daya, minyak transformator dan *BackPropagation Neural Network*

### BAB III : PENGAMBILAN DATA DAN PERANCANGAN PROGRAM

Bab ini berisi tentang penjelasan proses pengambilan data dengan peralatan yang digunakan dan metode yang digunakan untuk pengolahan data.

### BAB IV : ANALISIS DATA

Bab ini berisi tentang analisis karakteristik parameter-parameter yang mempengaruhi kenaikan suhu dari transformator serta penjelasan hasil

dari perbandingan antara hasil estimasi menggunakan *BackPropagation Neural Network* dengan data aktual hasil pengukuran.

## BAB V : PENUTUP

Bab ini berisi tentang kesimpulan atas hasil yang diperoleh dari pelaksanaan tugas akhir serta saran untuk penelitian dan untuk pengembangan selanjutnya.

### **1.6 Relevansi atau Manfaat**

Manfaat yang dapat diperoleh dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui hasil estimasi suhu *top-oil* transformator dengan menggunakan BPNN.
2. Peramalan *top-oil* ini dapat digunakan sebagai salah satu parameter untuk memperoleh nilai hot spot untuk mendapatkan *lifetime* dari transformator sehingga dapat dilakukan *predictive maintenance* sebelum terjadi kerusakan.
3. Dapat menjadi referensi bagi peneliti yang membahas topik yang serupa.
4. Dapat digunakan sebagai referensi bagi perusahaan listrik khususnya PLN untuk mengatasi permasalahan dalam pelaksanaan monitoring transformator distribusi dan pemeliharannya.
5. Dapat dijadikan sebagai referensi bagi mahasiswa lain yang hendak mengambil topik yang serupa untuk mengerjakan tugas akhir.

*---Halaman ini sengaja dikosongkan---*

## BAB 2

# TRANSFORMATOR DAN BACKPROPAGATION NEURAL NETWORK

### 2.1 Transformator Daya

Transformator daya merupakan peralatan listrik yang memiliki fungsi untuk memindahkan atau mengubah energi listrik baik dalam bentuk arus maupun tegangan bolak balik dari level tegangan rendah menjadi level tegangan tinggi ataupun sebaliknya berdasarkan prinsip induksi-elektromagnetik. Transformator digunakan secara meluas, baik di level daya rendah, menengah ataupun tinggi. Pemanfaatan transformator disesuaikan dengan kebutuhan level tegangan yang diinginkan dan ekonomis sesuai keperluan misalnya kebutuhan akan tegangan tinggi dalam pengiriman daya listrik jarak jauh untuk mengatasi drop tegangan dan rugi-rugi daya pada sistem transmisi.

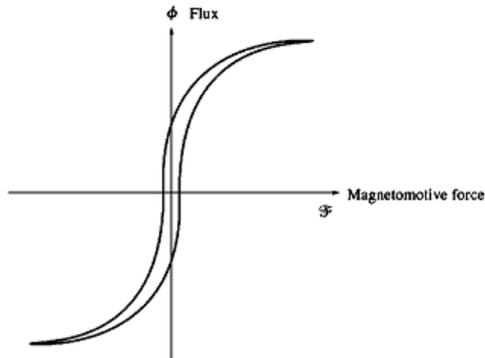
Transformator merupakan komponen terpenting dan termahal dalam sistem jaringan transmisi dan distribusi. Transformator dioperasikan terus menerus setiap waktu selama 24 jam hingga memasuki masa perbaikan bahkan hingga habis umurnya. Maka dari itu monitoring kondisi transformator mutlak diperlukan untuk menjaga kontinuitas penyaluran beban dan mengurangi waktu pemadaman listrik.

Prinsip kerja pada transformator utamanya memanfaatkan hukum Faraday. Menurut hukum Faraday bahwa jika terdapat medan magnet atau fluks pada suatu inti besi yang besarnya berubah-ubah terhadap waktu, maka dapat menghasilkan gaya gerak listrik (ggl). Berubahnya medan magnet tersebut terhadap waktu diakibatkan oleh teraliri arus listrik bolak balik (AC) yang juga berubah terhadap waktu sesuai dengan percobaan yang dilakukan oleh maxwell bahwa akibat adanya perubahan medan magnet atau fluks, maka dapat menghasilkan medan listrik, begitu juga sebaliknya akibat adanya perubahan medan listrik, maka akan timbul medan magnet atau fluks. Hukum Faraday dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$e_{ind} = N \frac{d\bar{\Phi}}{dt} \quad (2.1)$$

Dimana  $e_{ind}$  adalah ggl induksi yang dihasilkan,  $N$  adalah banyaknya jumlah lilitan,  $d\bar{\Phi}$  adalah perubahan medan magnet atau fluks,  $dt$

adalah perubahan waktu. Sedangkan hubungan antara arus dan medan magnet digambarkan melalui kurva magnetisasi yang bentuknya mirip dengan huruf “S”. Bentuk dari kurva magnetisasi tersebut dipengaruhi oleh jenis bahan dari pembuatan inti besi.

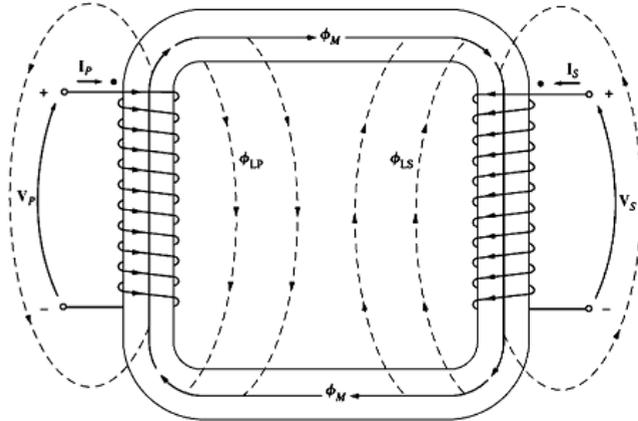


**Gambar 2.1.** Kurva magnetisasi pada transformator

Kemudian menurut hukum ampere bahwa apabila ada arus listrik bolak balik (AC) mengalir melalui suatu kumparan yang mengelilingi inti besi, maka akan terjadi perubahan pada inti besi tersebut menjadi magnet. Kuat medan magnet yang timbul tersebut besarnya dipengaruhi oleh perubahan arus terhadap waktu. Dan jika medan magnet yang berubah-ubah terhadap waktu tersebut berada pada belitan konduktor maka dapat menghasilkan gaya gerak listrik (ggl) pada kedua ujung belitan. Maka dapat disimpulkan bahwa jika pada kumparan primer transformator dialiri arus listrik bolak balik (AC) yang besarnya berubah-ubah terhadap waktu, maka akan timbul medan magnet yang besarnya juga berubah-ubah terhadap waktu. Medan magnet tersebut diperkuat oleh adanya inti besi yang berfungsi sebagai penghantar medan magnet menuju ke kumparan sekunder. Kemudian medan magnet atau fluks akan berputar mengelilingi inti besi yang mengenai belitan pada sisi sekunder sehingga menghasilkan gaya gerak listrik (ggl) induksi pada sisi sekunder. Maka arus akan mengalir apabila sisi primer transformator dihubungkan dengan beban.

Dengan menggunakan kedua hukum tersebut maka dapat disimpulkan bahwa prinsip kerja transformator adalah ketika kumparan primer dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik, perubahan arus listrik terhadap waktu pada kumparan primer menimbulkan medan magnet yang juga berubah terhadap waktu. Medan magnet yang berubah diperkuat oleh

adanya inti besi yang berfungsi untuk menghantarkan medan magnet menuju kumparan sekunder. Fluks akan berputar mengelilingi inti besi yang mengenai belitan pada sisi sekunder sehingga menghasilkan ggl induksi pada sisi sekunder. Ketika sisi sekunder dihubungkan dengan beban maka akan timbul arus pada sisi sekunder transformator yang mengalir menuju beban.



**Gambar 2. 2** Prinsip Kerja Transformator Daya

Pada transformator daya berlaku rumus tegangan sebagai berikut:

$$E = \frac{N2\pi f \phi_{maks}}{\sqrt{2}} = 4,44 N f \phi_{maks} \quad (2.2)$$

Maka rumus untuk transformator daya dari sisi primer dan sekunder adalah

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{4,44 N_2 f_2 \phi_{maks}}{4,44 N_1 f_1 \phi_{maks}}, \text{ dimana } \phi_{maks} = 10^{-8} \quad (2.3)$$

Karena  $f_1 = f_2$ , maka

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{N_2}{N_1} \quad (2.4)$$

$$E_2 = \frac{N_2}{N_1} E_1 \quad (2.5)$$

Dimana :

- $E_1$  = tegangan sisi primer
- $E_2$  = tegangan sisi sekunder
- $N_1$  = Belitan sisi primer
- $N_2$  = Belitan sisi sekunder

Menurut hukum kekekalan energi bahwa daya yang dikeluarkan oleh kumparan primer sama dengan daya yang yang diterima oleh kumparan sekunder, sehingga berlaku persamaan berikut :

$$\begin{aligned} E_1 I_1 &= E_2 I_2 \\ \frac{I_1}{I_2} &= \frac{E_2}{E_1} \end{aligned} \quad (2.6)$$

Dan jika persamaan (2.4) disubstitusikan ke persamaan (2.6), maka didapatkan persamaan baru yaitu :

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} \quad (2.7)$$

Maka jika persamaan (2.6) dan persamaan (2.7) disatukan akan didapatkan hubungan persamaan antara E , N, dan I sebagai berikut :

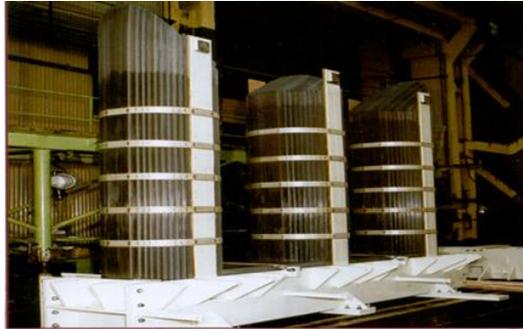
$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{E_2}{E_1} = \frac{N_2}{N_1} \quad (2.8)$$

Pada umumnya konstruksi transformator daya terdiri dari beberapa bagian yaitu, seperti [2] :

a. Bagian Utama :

1. Inti Besi (*Core*)

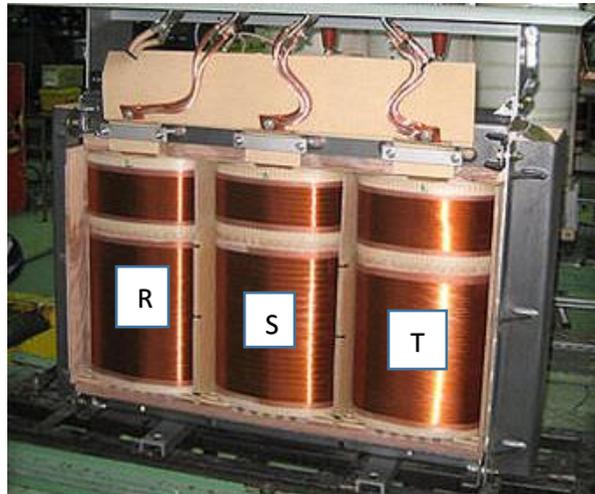
Inti besi merupakan bagian utama transformator yang terbuat dari lempengan besi tipis yang berlapis-lapis dan berlaminasi agar dapat mengurangi panas (sebagai rugi-rugi besi) yang ditimbulkan oleh *Eddy Current*. Inti besi memiliki fungsi untuk menghantarkan fluks dari sisi primer menuju sekunder, yang ditimbulkan oleh arus listrik yang melalui kumparan.



**Gambar 2. 3** Inti besi

2. Kumpan Transformator

Kumpan Transformator adalah lilitan kawat berlaminasi yang mengelilingi inti besi. Kumpan transformator terletak di sisi primer dan sekunder. Kumpan tersebut diisolasi untuk membatasi inti besi dan membatasi antar kumpan yang lain. Kumpan transformator ini berfungsi untuk mengubah medan listrik menjadi medan magnet atau sebaliknya.



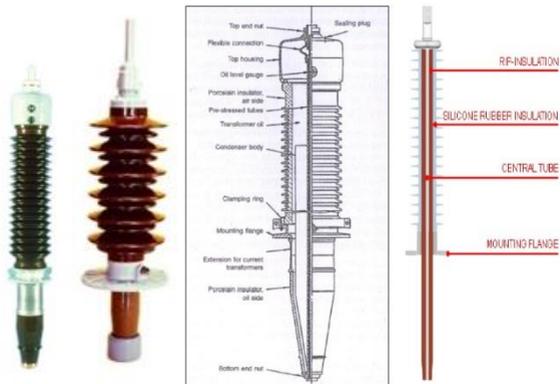
**Gambar 2. 4** Kumpan Phasa RST pada Transformator

### 3. Isolasi Transformator

Isolasi pada peralatan sistem tenaga listrik berfungsi untuk memisahkan bagian-bagian yang bertegangan dengan bagian yang tidak bertegangan atau dapat juga anatar bagian bertegangan dengan bagian bertegangan lain agar diantara bagian tersebut tidak terjadi lompatan listrik. Pada transformator sendiri memiliki jenis isolasi yakni isolasi cair dan isolasi padat. Pada trafo daya sering kali menggunakan isolasi cair, yaitu minyak trafo yang digunakan untuk merendam kumparan bersama inti besi. Fungsi minyak trafo itu sendiri selain sebagai media isolasi juga sebagai pendingin agar trafo tidak cept panas.

### 4. Bushing

Kumparan trafo perlu dihubungkan menuju ke jaringan luar. Agar trafo tetap aman maka diperlukan sebuah bushing. Bushing ini merupakan konduktor yang dilapisi oleh isolator, biasanya berbahan keramik agar dapat menghantarkan panas dengan baik. Berfungsi untuk membatasi atau menyekat antara konduktor jaringan dengan tangki trafo agar tangki trafo tetap tidak bertegangan.



**Gambar 2. 5** Contoh Bushing Transformer dan Konstruksi Bushing Transformer

### 5. Tangki dan Konservator

Pada umumnya bagian-bagian trafo yang terendam minyak trafo ditempatkan di dalam tangki. Untuk menampung pemuai minyak trafo, tangki dilengkapi dengan konservator.

b. Peralatan Pembantu :

1. Pendingin

Pendingin biasa digunakan pada setiap jenis transformator, hal ini dimaksudkan agar mengurangi suhu transformator yang relatif meningkat akibat beberapa factor internal maupun eksternal.

2. Tap Changer

Tap changer adalah perubahan konfigurasi jumlah belitan sekunder dan primer. Hal ini biasa dilakukan untuk mengatasi *undervoltage* atau *overvoltage* pada bus jaringan sistem transmisi ataupun distribusi.

3. Alat pernapasan (*Dehydrating Breather*)

4. Indikator-indikator : *Thermometer*, permukaan minyak

c. Peralatan Proteksi :

1. Rele Bucholz

2. Pengaman tekanan lebih (*Explosive Membrane*) / *Bursting Plate*

3. Rele tekanan lebih (*Sudden Pressure Relay*)

4. Rele pengaman tangki

d. Peralatan Tambahan untuk Pengaman transformator :

1. Pemadam kebakaran (transformator - transformator besar)

2. Rele Differensial (*Differential Relay*)

3. Rele arus lebih (*Over current Relay*)

4. Rele hubung tanah (*Ground Fault Relay*)

5. Rele thermis (*Thermal Relay*)

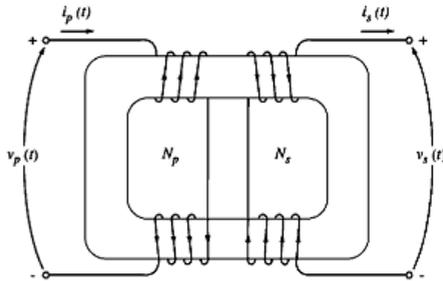
6. Arrester

## 2.2 Klasifikasi Transformator

Berdasarkan cara melilitkan kumparan pada inti besi, transformator memiliki 2 tipe yaitu [2] :

1. Transformator tipe Inti

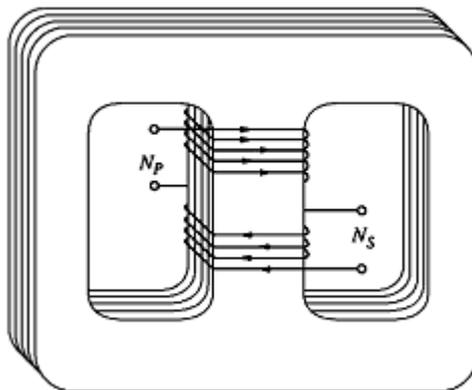
Transformator tipe inti atau biasa disebut *core form* ini konstruksinya adalah seperti pada gambar 3 berikut, dimana kumparan atau belitan transformator dibelitkan mengelilingi inti besi.



**Gambar 2.6** Transformator tipe inti

## 2. Transformator tipe Cangkang

Transformator tipe cangkang atau biasa disebut dengan *shell form* ini konstruksinya adalah seperti gambar 4 berikut, dimana kumparan atau belitan transformator dikelilingi oleh inti besi.



**Gambar 2.7** Transformator tipe cangkang

Berdasarkan frekuensi, transformator dapat dikelompokkan sebagai berikut:

1. Frekuensi daya, yaitu diantara 50-60 c/s
2. Frekuensi pendengaran, yaitu diantara 50 c/s – 20 kc/s
3. Frekuensi radio, yaitu melebihi 30 kc/s

Berdasarkan pasangan atau kumparan lilitannya, transformator terbagi menjadi:

1. Transformator 1 belitan  
Pada transformator 1 belitan, lilitan primer merupakan bagian dari lilitan sekunder atau sebaliknya yaitu lilitan sekunder merupakan bagian dari lilitan primer. Transformator 1 belitan ini biasa dikenal dengan autotransformator.
2. Transformator 2 belitan  
Transformator 2 belitan memiliki 2 belitan, yang terbagi menjadi lilitan primer dan sekunder yang berdiri sendiri dan terletak pada sisi tegangan tinggi dan sisi tegangan rendah.
3. Transformator 3 belitan  
Transformator 3 belitan terbagi menjadi 3 bagian yaitu belitan primer, belitan sekunder dan belitan tersier. Masing-masing belitan berdiri sendiri dan terletak pada level tegangan yang berbeda.

Berdasarkan fungsinya Transformator pada sistem penyaluran tenaga listrik dapat dibagi menjadi :

1. Transformator Daya  
Transformator daya atau biasa disebut sebagai transformator penaik tegangan (*step up*), namun bisa juga sebagai *step down*, berfungsi untuk menaikkan tegangan pembangkit menjadi tegangan transmisi. Transformator daya tidak dapat langsung digunakan untuk menyuplai beban, dikarenakan pada sisi tegangan rendahnya masih lebih tinggi dibandingkan dengan tegangan beban, sedangkan pada sisi tegangan tingginya adalah tegangan transmisi.
2. Transformator Distribusi  
Transformator distribusi atau biasa disebut sebagai transformator penurun tegangan (*step down*) berfungsi untuk menurunkan tegangan transmisi menjadi tegangan distribusi. Level tegangan pada transformator distribusi yaitu distribusi tegangan menengah dan distribusi tegangan rendah. Transformator distribusi juga berfungsi sebagai pembagi atau penyalur arus atau energi listrik pada tegangan ditribusi. Hal ini dimanfaatkan untuk mengatasi drop tegangan dan rugi-rugi daya akibat jarak Gardu Induk dengan beban terlampaui jauh sehingga perlu dinaikkan agar rugi-rugi daya (*losses*) tidak terlalu banyak dan tegangan yang sampai pada konsumen sesuai dengan kebutuhan.
3. Transformator Instrumen

Transformator Instrumen berfungsi untuk pengukuran yang terdiri dari transformator tegangan dan transformator arus, transformator ini digunakan untuk menurunkan tegangan dan arus agar dapat terbaca oleh alat ukur listrik sesuai ratingnya.

#### 4. Transformator elektronik

Transformator elektronik pada prinsipnya sama dengan transformator daya, tapi kapasitasnya relatif sangat kecil yaitu 300 VA atau kurang dan digunakan untuk keperluan pada rangkaian elektronik.

### 2.3 Minyak Transformator

Sebagian besar kumparan-kumparan dan inti trafo tenaga direndam dalam minyak trafo, terutama trafo-trafo tenaga yang berkapasitas besar, karena minyak trafo mempunyai sifat sebagai media pendingin dan isolasi. Di dalam sebuah transformator terdapat dua komponen yang secara aktif membangkitkan energi panas, yaitu besi (inti) dan tembaga (kumparan). Bila energi panas tidak disalurkan melalui suatu sistem pendinginan akan mengakibatkan besi maupun tembaga akan mencapai suhu yang tinggi, yang akan merusak nilai isolasinya. Pada proses pendinginan tersebut, kumparan dan inti dimasukkan ke dalam suatu jenis minyak, yang dinamakan minyak transformator. Akibatnya dari energi panas yang dibangkitkan dari inti maupun kumparan, maka suhu minyak akan naik. Hal ini dapat mengakibatkan terjadinya perubahan-perubahan pada minyak transformator. Dalam jangka waktu yang lama akan terbentuk berbagai pengotoran yang dapat menurunkan mutu minyak transformator. Sehingga kemampuan pendinginan maupun isolasi minyak akan menurun. Kemudian dapat pula terjadi bahwa hawa lembab yang biasanya terjadi di daerah tropis, mengakibatkan masuknya air didalam minyak transformator. Fungsi minyak transformator lainnya yaitu sebagai insulator dimana minyak akan mengisolasi kumparan di dalam transformator agar tidak terjadi loncatan bunga api listrik (hubungan pendek) akibat tegangan tinggi. Selain itu minyak transformator juga berfungsi sebagai pelindung komponen-komponen di dalam transformator terhadap korosi dan oksidasi. Adapaun dalam aplikasinya, minyak transformator harus memenuhi berbagai persyaratan yang tertuang pada SPLN, "Panduan Pemeliharaan Trafo Tenaga". PT. PLN (PERSERO) P3B, 2003 sebagai berikut [2] :

- 1) Kekuatan isolasi harus tinggi, sesuai IEC 296 minyak trafo harus Class 1 & 2 yaitu untuk minyak baru dan belum di Filter > 30 kV/2,5 mm dan setelah difilter yaitu > 50 kV/2,5 mm.
- 2) Penyalur panas yang baik, berat jenis kecil, sehingga partikel-partikel dalam minyak dapat mengendap dengan cepat.
- 3) Viskositas yang rendah agar lebih mudah bersirkulasi dan kemampuan pendinginan menjadi lebih baik. Pada IEC 296 Viskositas minyak class 1 saat suhu 40o C adalah < 16,5 cSt.
- 4) Titik nyala yang tinggi, tidak mudah menguap yang dapat membahayakan. Sesuai IEC 296 Flash point minyak trafo di atas 163 °C dan Pour point adalah di bawah –30 °C.
- 5) Tidak merusak bahan isolasi padat.
- 6) Sifat kimia yang stabil

Selain syarat diatas, minyak isolasi yang baik juga harus memenuhi syarat sebagai berikut [3]:

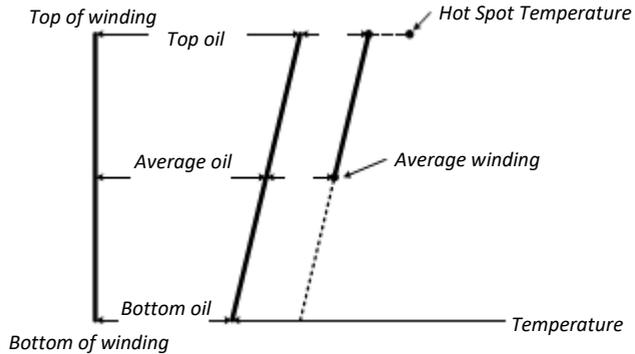
- a. Kejernihan (Appearance)  
Minyak isolasi tidak boleh mengandung suspensi atau endapan (sedimen)
- b. Massa Jenis (Density)  
Massa jenis dibatasi agar air dapat terpisah dari minyak isolasi dan tidak melayang.
- c. Viskositas Kinematik (Kinematic Viscosity)  
Viskositas memegang peranan dalam pendinginan, dipergunakan untuk menentukan kelas minyak dan kurang dipengaruhi oleh konstaminasi atau kerusakan minyak.
- d. Titik Nyala (Flash Point)  
Titik nyala yang rendah menunjukkan adanya kontaminasi zat gabar yang mudah terbakar.
- e. Titik Tuang (Pour Point)  
Titik tuang dipakai untuk mengidentifikasi dan menentukan jenis peralatan yang akan menggunakan minyak isolasi.
- f. Angka Kenetralan (Neutralization Number)  
Angka kenetralan merupakan angka yang menunjukkan penyusun asa minyak isolasi dan dapat mendeteksi kontaminasi minyak, menunjukkan kecenderungan perubahan kimia atau cacat atau indikasi perubahan kimia dalam bahan tambahan (additive). Angka kenetralan dapat dipakai sebagai petunjuk umum untuk menentukan apakah minyak sudah harus diganti atau diolah.

- g. Korosi belerang (Corosive Sulphur)  
Penguujian ini menunjukkan kemungkinan korosi yang dihasilkan dari adanya belerang bebas atau senyawa belerang yang tidak stabil dalam minyak isolasi.
- h. Tegangan Tembus (Breakdown Voltage)  
Tegangan tembus yang terlalu rendah menunjukkan adanya kontaminasi seperti air, kotoran atau partikel konduktif dalam minyak.
- i. Faktor Kebocoran Dielektrik (Dielectric Dissipation Factor)  
Harga yang tinggi dari faktor ini menunjukkan adanya kontaminasi atau hasil kerusakan (deterioration product) misalnya air, hasil oksidasi, logam alkali, koloid bermuatan dan sebagainya.
- j. Stabilitas/Kemantapan Oksidasi (Oxydation Stability)  
Penguujian ini berguna untuk melihat apakah minyak tahan terhadap oksidasi.
- k. Kandungan Air (Water Content)  
Adanya air dalam minyak isolasi akan menurunkan tegangan tembus dan tahanan jenis minyak isolasi dan juga adanya air akan mempercepat kerusakan kertas pengisolasi (insulating paper)
- l. Tahanan Jenis (Resistivity)  
Tahanan jenis yang rendah menunjukkan terjadinya kontaminasi yang bersifat konduktif (conductive contaminants)
- m. Tegangan Permukaan (Interfacial Tension)  
Adanya kontaminasi dengan zat yang terlarut (soluble contamination) atau hasil-hasil kerusakan minyak, umumnya menurunkan nilai tegangan permukaan. Penurunan tegangan permukaan juga menurunkan indikator yang peka bagi awal kerusakan minyak.
- n. Kandungan Gas (Gas Content)
- o. Adanya gas terlarut dan gas bebas dalam minyak isolasi dapat digunakan untuk mengetahui kondisi transformator dalam operasi.

Spesifikasi dan metode pengetesan minyak yang digunakan untuk minyak isolasi transformer adalah menggunakan standar IEC Publ 296 “*Specification for unused mineral insulating oil for transformer and switchgear*”. Jika minyak isolasi transformer didatangkan dengan tangki tersendiri, besar *moisture* yang terdapat dalam minyak tidak boleh lebih besar dari 10 ppm dan dalam masa pengangkutan minyak tidak boleh

## 2.4 Suhu Transformator

Kenaikan suhu dapat diasumsikan dengan diagram thermal sederhana, seperti ditunjukkan gambar 4. Gambar ini dapat dipahami karena merupakan diagram penyederhanaan dari distribusi yang lebih rumit. Kenaikan suhu *top-oil* yang diukur selama pengujian kenaikan suhu, berbeda dengan minyak yang meninggalkan kumparan, minyak pada *top-oil* adalah campuran sebagian dari minyak yang bersirkulasi pada sepanjang kumparan [8].



**Gambar 2.8** Diagram Thermal

Menurut standar IEEE/ANSI dan IEC bahwa metodologi untuk perhitungan minyak dalam transformator adalah seperti rumus pada [5] :

1. Suhu *Top-oil* melebihi suhu lingkungannya

$$\Delta\theta_{TO,U} = \Delta\theta_{TO,R} \left[ \frac{K^2 R + 1}{(R+1)} \right]^n \quad (2.9)$$

$$\Delta\theta_{TO} = (\Delta\theta_{TO,U} - \Delta\theta_{TO,i}) \cdot \left[ 1 - \exp\left(\frac{-t}{\tau_{TO}}\right) \right] + \Delta\theta_{TO,i} \quad (2.10)$$

$$\tau_{TO} = \tau_{TO,R} \cdot f \quad (2.11)$$

Dimana  $\Delta\theta_{TO}$  adalah selisih suhu antara suhu minyak dengan suhu lingkungan ( $\theta_A$ ),  $i$  adalah indeks awal,  $U$  indeks utama,  $R$  adalah rasio hilangnya daya saat keadaan beban nominal

dibanding tanpa beban,  $n$  adalah eksponen empiris,  $\tau_{TO}$  adalah waktu konstan kenaikan suhu *top-oil*  $t$  adalah waktu, dan  $f$  adalah fungsi dari  $\Delta\theta_{TO,U}$ ,  $\Delta\theta_{TO,i}$ .

2. Suhu *Hot Spot* terbesar pada belitan melebihi minyak atas

$$\Delta\theta_{H,U} = \Delta\theta_{H,R} \cdot K^{2m} \quad (2.12)$$

$$\Delta\theta_H = (\Delta\theta_{H,U} - \Delta\theta_{H,i}) \cdot \left[ 1 - \exp\left(\frac{-t}{\tau_w}\right) \right] + \Delta\theta_{H,i} \quad (2.13)$$

Dimana  $\Delta\theta_H$  adalah titik terpanas kenaikan suhu *top-oil*,  $m$  adalah eksponen empiris,  $\tau_w$  adalah waktu konstan suhu belitan.

Titik terpanas dan *top-oil* temperature adalah

$$\theta_H = \theta_A + \Delta\theta_{TO} + \Delta\theta_H \quad (6)$$

$$\theta_{TO} = \theta_A + \Delta\theta_{TO} \quad (7)$$

Pembebanan transformator dapat mempengaruhi kenaikan suhu transformator. Semakin besar pembebanan transformator maka kenaikan suhu tranformator semakin besar.. Jika kenaikan suhu transformator sangat besar hingga melebihi batas maksimum akan menyebabkan penurunan performa konstruksi transformator. Selain itu juga dapat terjadi pengurangan umur pada trafo akibat panas berlebih. Oleh karena itu dalam penggunaan transformator harus mengetahui batas maksimum kenaikan suhu ketika transformator beroperasi. Seperti pada tabel 1 yang menunjukkan batas kenaikan suhu transformator berdasarkan kelas suhu isolasi [7].

**Tabel 2. 1** Batas kenaikan suhu transformator

Sistem Kelas Suhu Isolasi (C)	Kenaikan Suhu <i>Hot Spot</i> Belitan Untuk Kondisi Normal (C)		Kenaikan Rata-Rata Belitan (C)
	Operasi Kontinyu Pada Beban Penuh (C)	Beban Diatas <i>Nameplate Rating</i> (C)	
150	110	140	80
180	140	170	115
220	180	210	150

## 2.5 *BackPropagation Neural Network* (BPNN)

Jaringan Syaraf Tiruan (JST) merupakan salah satu sistem pemrosesan informasi atau data yang didesain dengan meniru cara kerja otak manusia dalam menyelesaikan suatu masalah dengan melakukan proses belajar melalui perubahan bobot sinapsisnya. Salah satu metode yang digunakan dalam JST adalah Backpropagation. Backpropagation adalah algoritma pembelajaran untuk memperkecil tingkat error dengan cara menyesuaikan bobotnya berdasarkan perbedaan output dan target yang diinginkan. Backpropagation juga merupakan sebuah metode sistematis untuk pelatihan multilayer JST. Backpropagation memiliki tiga layer dalam proses pelatihannya, yaitu input layer, hidden layer, dan output layer, dimana backpropagation ini merupakan perkembangan dari single layer network (Jaringan Lapisan Tunggal) yang memiliki dua layer, yaitu input layer dan output layer. Dengan adanya hidden layer pada backpropagation dapat menyebabkan tingkat error pada backpropagation lebih kecil dibanding tingkat error pada single layer network. Hal ini dikarenakan hidden layer pada backpropagation berfungsi sebagai tempat untuk mengupdate dan menyesuaikan bobot, sehingga didapatkan nilai bobot yang baru yang bisa diarahkan mendekati dengan target output yang diinginkan.

Arsitektur algoritma backpropagation terdiri dari tiga layer, yaitu input layer, hidden layer, dan output layer. Pada input layer tidak terjadi proses komputasi, hanya terjadi pengiriman sinyal input



## **BAB 3**

### **PENGAMBILAN DATA DAN PERANCANGAN PROGRAM**

#### **3.1 Pengambilan Data**

Untuk mendukung penelitian ini, maka dilakukan pengambilan data berupa arus, tegangan, *power factor*, pembebanan, *unbalanced load* dan suhu *top-oil* dari transformator. Pengambilan data dilakukan setiap 4 menit sekali.

##### **3.1.1 Data Arus**

Dalam penelitian ini, dilakukan pengukuran arus tiap fasa pada transformator yang diukur dalam satuan Ampere. Arus yang diukur tersebut merupakan arus pada sisi sekunder transformator, dimana arus tersebut merupakan arus yang mengalir menuju beban-beban rumah tangga, dimana besarnya berubah-ubah mengikuti beban puncak dan beban rendahnya pada setiap harinya. Arus pada sisi sekunder adalah arus yang besar jika dibandingkan dengan sisi primer, sehingga arus ini memiliki kontribusi besar terhadap kenaikan suhu transformator. Data arus ini akan dijadikan input untuk memprediksi suhu *top-oil* pada transformator.

##### **3.1.2 Data Pembebanan**

Data pembebanan ini didapat melalui pengukuran. Data pembebanan ini berkaitan dengan rating transformator yaitu persentase antara kapasitas transformator yang sebenarnya dengan pembebanan operasi. Faktor pembebanan atau biasa disebut *load factor* ini sangat mempengaruhi besarnya kenaikan suhu pada transformator. Hal ini terjadi karena, jika transformator beroperasi melebihi dari ratingnya, maka kenaikan suhu pada transformator akan semakin tinggi. Data pembebanan ini akan dijadikan input untuk memprediksi suhu *top-oil* pada transformator.

##### **3.1.3 Data *Unbalanced Load***

Data *Unbalanced Load* ini didapat melalui pengukuran. Data *unbalanced load* merupakan kondisi ketidakseimbangan pada fasa R, S,

dan T. Kondisi ini sangat sering terjadi pada beban-beban rumah tangga karena masing-masing beban tiap fasa besarnya tidak sama. Kondisi ini menyebabkan salah satu fasa mengalami kondisi overload dan akan menyebabkan pemanasan sehingga juga mempunyai kontribusi pada peningkatan kenaikan suhu pada transformator. Data ini merupakan data yang dijadikan input pada peramalan suhu *top-oil* pada transformator.

### 3.1.4 Data Suhu *Top-Oil*

Data suhu *top-oil* didapat melalui pengukuran. Data suhu *top-oil* yang didapat ini merupakan data yang akan dijadikan sebagai data target atau data output. Data suhu *top-oil* ini akan diramalkan menggunakan parameter lain. Data suhu ini diambil tiap 4 menit sekali sesuai dengan data yang lain dimana pengambilannya dilakukan secara bersamaan.

## 3.2 Perancangan Program *Backpropagation Neural Network*

*Backpropagation Neural Network* merupakan algoritma pembelajaran yang terawasi dan memiliki 3 layer, yaitu input layer, hidden layer dengan fungsi aktivasi non-linear (tansig) BP dan linear output layer. Berikut adalah langkah-langkah program *Backpropagation Neural Network* [6] :

- Inialisasi bobot (ditentukan secara random dengan nilai yang cukup kecil)
- Tetapkan : Maksimum Epoch, Target Error, dan *Learning Rate*
- Inialisasi : Epoch=0
- Kerjakan langkah-langkah berikut selama (Epoch<Maksimum Epoch) dan (MSE<Target Error):
  1. Epoch = Epoch +1
  2. Untuk tiap-tiap pasangan elemen yang akan dilakukan pembelajaran, kerjakan:

### ***Feedforward* :**

- a. Tiap-tiap unit input ( $X_i$ ,  $i=1,2,3,\dots,n$ ) menerima sinyal  $x_i$  dan meneruskan sinyal tersebut ke semua unit pada lapisan yang ada di atasnya (lapisan tersembunyi)
- b. Tiap-tiap unit pada suatu lapisan tersembunyi ( $Z_j$ ,  $j=1,2,3,\dots,p$ ) menjumlahkan sinyal-sinyal input terbobot :

$$z\_in_j = b1_j + \sum_{i=0}^n x_i v_{ij} \quad (3.1)$$

Gunakan fungsi aktivasi untuk menghitung sinyal outputnya :

$$z_j = f(z\_in_j) \quad (3.2)$$

dan kirimkan sinyal tersebut ke semua unit di lapisan atasnya (unit-unit output).

- c. Tiap-tiap unit output ( $Y_k$ ,  $k=1,2,3,\dots,m$ ) menjumlahkan sinyal-sinyal input terbobot.

$$y\_in_k = b2_k + \sum_{i=0}^p z_i w_{jk} \quad (3.3)$$

gunakan fungsi aktivasi untuk menghitung sinyal outputnya :

$$y_k = f(y\_in_k) \quad (3.4)$$

dan kirimkan sinyal tersebut ke semua unit di lapisan atasnya (unit-unit outputnya).

**Backpropagation :**

- d. Tiap-tiap unit output ( $Y_k$ ,  $k=1,2,3,\dots,m$ ) menerima target pada yang berhubungan dengan pola input pembelajaran, hitung informasi errornya :

$$\delta 2_k = (t_k - y_k) f'(y\_in_k) \quad (3.5)$$

$$\varphi 2_{jk} = \delta_k z_j \quad (3.6)$$

$$\beta 2_k = \delta_k \quad (3.7)$$

kemudian hitung koreksi bobot (digunakan untuk memperbaiki nilai  $w_{jk}$ ) :

$$\Delta w_{jk} = \alpha \varphi_{jk} \quad (3.8)$$

hitung juga koreksi bias (digunakan untuk memperbaiki nilai  $b2_k$ ) :

$$\Delta b2_k = \alpha \beta_k \quad (3.9)$$

Langkah (d) ini dilakukan sebanyak jumlah lapisan tersembunyi, yaitu menghitung informasi error dari suatu lapisan tersembunyi ke lapisan tersembunyi sebelumnya.

- e. Tiap-tiap unit tersembunyi ( $Z_j$ ,  $j=1,2,3,\dots,p$ ) menjumlahkan delta inptnya (dari unit-unit yang berada pada lapisan di atasnya) :

$$\delta\_in_j = \sum_{k=1}^m \delta_k w_{jk} \quad (3.10)$$

kalikan nilai ini dengan turunan dari fungsi aktivasinya untuk menghitung informasi error:

$$\delta 1_j = \delta_{in_j} f'(z_{in_j}) \quad (3.11)$$

$$\varphi 1_{ij} = \delta_j x_j \quad (3.12)$$

$$\beta 1_j = \delta 1_j \quad (3.13)$$

kemudian hitung koreksi bobot (digunakan untuk memperbaiki nilai  $v_{ij}$ ):

$$\Delta v_{ij} = \alpha \varphi 1_{ij} \quad (3.14)$$

hitung koreksi bias (digunakan untuk memperbaiki nilai  $b1_j$ ):

$$\Delta b1_j = \alpha \varphi 1_j \quad (3.15)$$

- f. Tiap-tiap unit output ( $Y_k$ ,  $k=1,2,3,\dots,m$ ) memperbaiki bias dan bobotnya ( $j=0,1,2,3,\dots,p$ ):

$$w_{jk}(\text{baru}) = w_{jk}(\text{lama}) + \Delta w_{jk} \quad (3.16)$$

$$b2_k(\text{baru}) = b2_k(\text{lama}) + \Delta b2_k \quad (3.17)$$

Tiap-tiap unit tersembunyi ( $Z_j$ ,  $j=1,2,3,\dots,p$ )

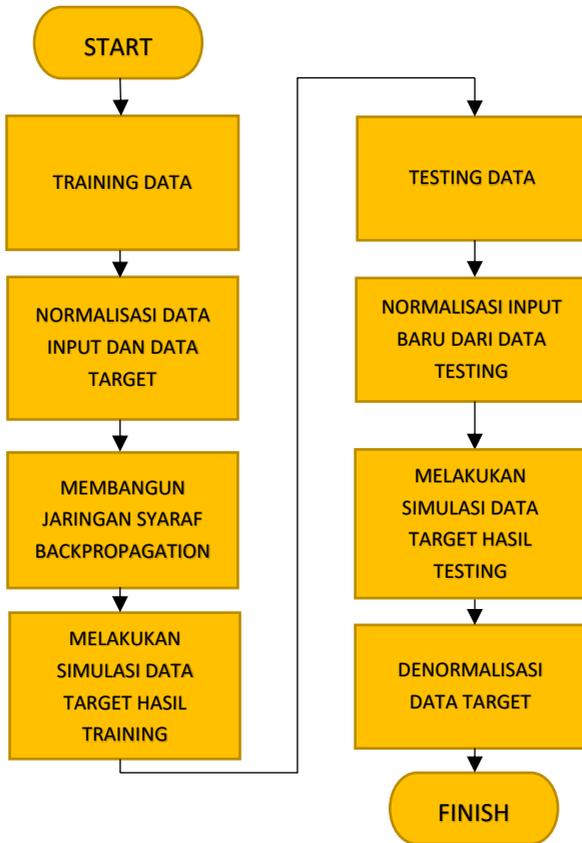
memperbaiki bias dan bobotnya ( $i=0,1,2,3,\dots,n$ ):

$$v_{ij}(\text{baru}) = v_{ij}(\text{lama}) + \Delta v_{ij} \quad (3.18)$$

$$b1_j(\text{baru}) = b1_j(\text{lama}) + \Delta b2_j \quad (3.19)$$

### 3. Hitung MSE

Algoritma dari program BPNN dijelaskan dengan flowchart seperti pada gambar 3.1, dimana dijelaskan algoritma training dan testing pada jaringan.



**Gambar 3. 1** Flowchart Algoritma BPNN

Algoritma dari BPNN terbagi menjadi 2, yaitu training data dan testing data. Fungsi dari training data adalah untuk memberikan pembelajaran atau melatih BPNN sehingga dapat mengenali pola suatu data target atau untuk mengenali karakteristik dari data input terhadap output (target). Sebelum dilakukan training data input dan output, perlu dilakukan normalisasi data input ataupun output untuk menyelaraskan. Nilai dari data normalisasi berkisar antara 0 sampai 1. Setelah data dilakukan normalisasi, langkah selanjutnya yaitu membangun jaringan

syaraf *backpropagation*, dimana hal ini merupakan pembentukan arsitektur BPNN yang akan digunakan untuk melakukan training data. Kemudian data input dan target tersebut dapat disimulasikan dan akan diperoleh hasil dari training data. Data hasil training kemudian diplot untuk membandingkan dengan data targetnya. Jika training data sudah dilakukan, maka data yang telah ditargetkan sebelumnya dapat diramalkan. Proses peramalan ini bisa disebut juga dengan testing data. Sebelum testing data, diperlukan proses normalisasi data input yang baru untuk menyelaraskan dengan training data yang sudah dilakukan. Karena pembelajaran jaringan syaraf tersebut menggunakan data yang telah dinormalisasi. Data yang telah dinormalisasi dapat dilakukan testing data untuk didapatkan hasil prediksi data yang diinginkan. Untuk memperoleh nilai data hasil prediksi yang sebenarnya, maka perlu dilakukan proses denormalisasi agar data yang sebelumnya telah dinormalisasi dapat kembali menjadi data dengan nilai yang sebenarnya. Setelah didenormalisasi, data dapat diplot dan dibandingkan dengan data yang ditargetkan (data aktual). Dengan membandingkan data peramalan dengan data aktual, maka error dari peramalan menggunakan BPNN dapat diketahui. Untuk mengetahui errornya dapat menggunakan rumus *Mean Absolute Percent Error* (MAPE) seperti ditunjukkan pada fungsi berikut.

$$\text{MAPE} = \frac{1}{n} \sum \frac{|Data\ Aktual - Data\ Forecast|}{Data\ Aktual} \times 100\% \quad (3.20)$$

Semakin kecil error yang didapatkan, maka akan semakin bagus, yang artinya data hasil prediksi mendekati data aktualnya.

## BAB 4

### PENGOLAHAN DATA DAN HASIL ANALISIS

Pada bab ini berisi tentang penjelasan data-data yang akan digunakan untuk training dan testing. Data tersebut diambil dari hasil pengukuran transformator distribusi yang dibebani oleh beban-beban rumah tangga dan pabrik. Data tersebut berupa data arus tiap fasa, pembebanan, *unbalanced load* dan suhu *top-oil*. Data tersebut diambil setiap 4 menit sekali selama 1 hari. Data yang didapatkan dari hasil pengukuran ini akan digunakan untuk mengestimasi suhu *top-oil* menggunakan parameter-parameter lain yang telah ditentukan. Pada penelitian ini data yang akan digunakan menggunakan kapasitas 100 KVA, 160 KVA dan 200 KVA. Dimana transformator dengan kapasitas 100 KVA berjumlah 4 buah, transformator dengan kapasitas 160 KVA berjumlah 4 buah, transformator dengan kapasitas 200 KVA berjumlah 4 buah. Maka total trafo yang diukur adalah 12 buah. Berikut data transformator tersebut.

**Tabel 4. 1** Data transformator

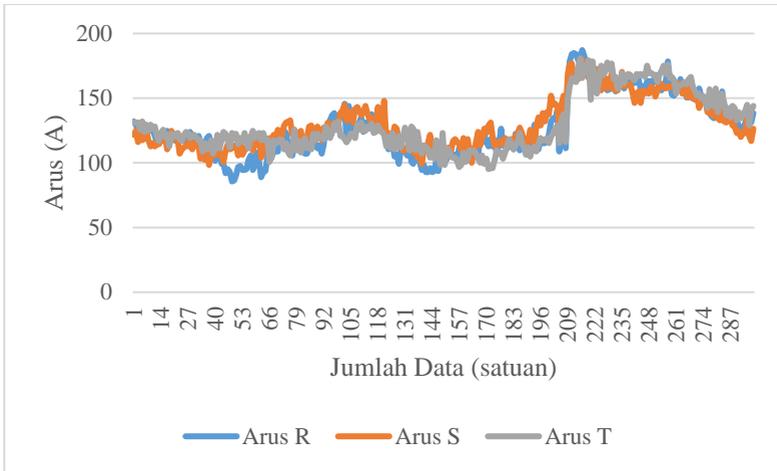
No.	Kode Gardu	Kapasitas	Tahun Buat	Keterangan
1	M.190	100 KVA	2005	Gardu umum (Rumah tangga)
2	M.180	100 KVA	2006	Gardu khusus (Pabrik)
3	M.071	100 KVA	2005	Gardu umum (Rumah tangga)
4	M.218	100 KVA	2004	Gardu umum (Rumah tangga)
5	M.295	160 KVA	2008	Gardu umum (Rumah tangga)
6	M.199	160 KVA	1997	Gardu umum (Rumah tangga)
7	M.391	160 KVA	2009	Gardu umum (Rumah tangga)
8	M.406	160 KVA	1987	Gardu khusus (Pabrik)
9	M.040	200 KVA	1992	Gardu umum (Rumah tangga)
10	M.049-1	200 KVA	2010	Gardu khusus (Pabrik)
11	M.057	200 KVA	1978	Gardu umum (Rumah tangga)
12	M.FRSM	200 KVA	2009	Gardu khusus (Swalayan)

Untuk transformator M.190 dilakukan pengambilan data pada tanggal 1 Mei 2014 dari pukul 01.17 sampai pukul 23.59 WIB. Transformator M.180 dilakukan pengambilan data pada tanggal 1 Mei 2014 pukul 01.07 WIB sampai dengan tanggal 2 Mei 2014 pukul 23.59 WIB. Transformator M.071 dilakukan pengambilan data pada tanggal 1 Mei 2014 dari pukul 01.06 sampai pukul 23.58 WIB. Transformator M.218 dilakukan pengambilan data pada tanggal 1 Mei 2014 dari pukul 01.00 sampai dengan tanggal 2 Mei 2014 pukul 23.59 WIB. Transformator M.295 dilakukan pengambilan data pada tanggal 1 Mei 2014 pukul 00.58 sampai dengan tanggal 2 Mei 2014 pukul 23.58 WIB. Transformator M.199 dilakukan pengambilan data pada tanggal 1 Mei 2014 pukul 01.04 sampai dengan tanggal 2 Mei 2014 pukul 23.58 WIB. Transformator M.391 dilakukan pengambilan data pada tanggal 1 Mei 2014 dari pukul 00.02 sampai pukul 23.58 WIB. Transformator M.406 dilakukan pengambilan data pada tanggal 1 Mei 2014 pukul 00.02 sampai dengan pukul 23.57 WIB. Transformator M.040 dilakukan pengambilan data pada tanggal 1 Mei 2014 pukul 00.08 sampai pukul 23.56 WIB. Transformator M.049-1 dilakukan pengambilan data pada tanggal 1 Mei 2014 pukul 01.00 sampai dengan tanggal 2 Mei 2014 pukul 23.59 WIB. Transformator M.057 dilakukan pengambilan data pada tanggal 1 Mei 2014 pukul 01.08 sampai dengan tanggal 2 Mei 2014 pukul 23.59 WIB. Transformator M.FRSM dilakukan pengambilan data pada tanggal 1 Mei 2014 pukul 00.59 sampai dengan pukul 23.59 WIB. Proses pengolahan data merupakan tahap terpenting untuk melakukan estimasi suhu *top-oil* transformator agar didapatkan hasil estimasi yang bagus. Karena itu perlu dilakukan analisa dengan mendetail terkait dengan karakteristik dan pola dari seluruh parameter yang memiliki kemungkinan cukup besar dalam kontribusi peningkatan suhu dari transformator. Dalam hal ini beberapa data yang ada untuk dijadikan input pada estimasi suhu *top-oil* transformator adalah tegangan, arus, *power factor*, pembebanan, *unbalanced load*, energi dan suhu *top-oil*. Untuk pemilihan parameter input sendiri yaitu dengan menganalisa beberapa parameter tersebut melalui grafik. Dengan melihat grafik akan didapatkan karakteristik yang sama antara beberapa parameter seperti arus, pembebanan, dan *unbalanced load* dengan suhu *top-oil*. Sedangkan parameter lainnya seperti tegangan tidak dipilih karena nilainya relatif sama disetiap kondisinya sepanjang hari,

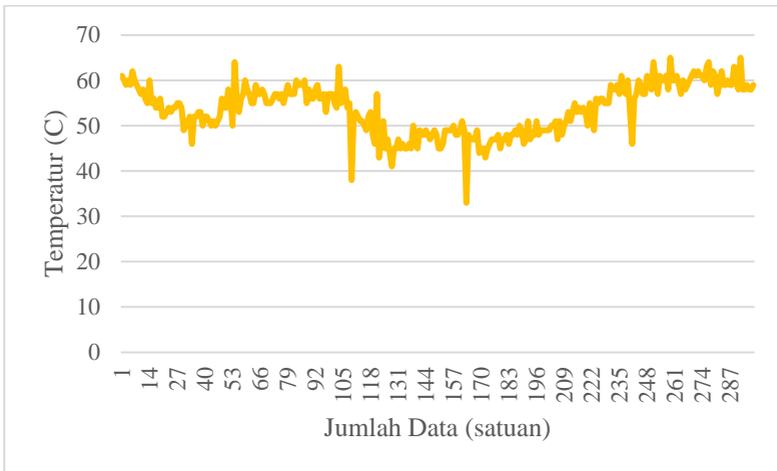
terkecuali ketika terjadi arus hubung singkat. Kemudian parameter *power factor* tidak digunakan karena nilainya tidak begitu berpengaruh pada kenaikan suhu *top-oil* dan besarnya juga relatif sama pada setiap kondisi di sepanjang hari. Untuk energi juga tidak digunakan karena tidak memiliki karakteristik yang sama dengan arus, pembebanan, dan *unbalanced load*.

#### **4.1 Data Arus tiap Fasa dan Suhu *Top-Oil***

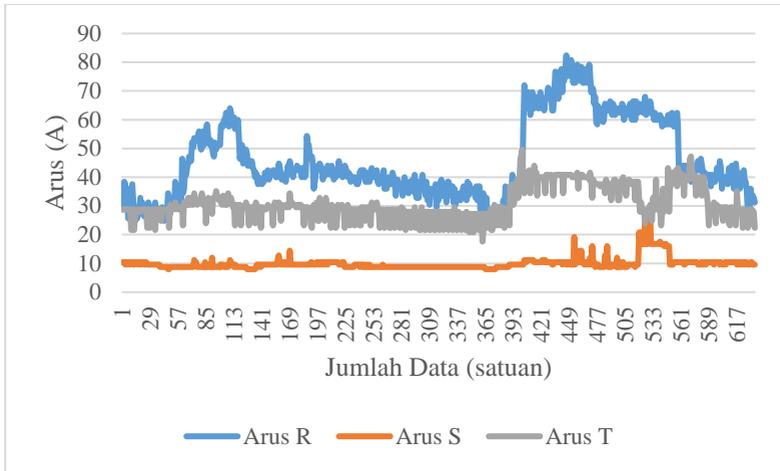
Dalam melakukan estimasi *thermal* terdapat beberapa hal yg perlu diperhatikan yaitu penentuan parameter input yang mempengaruhi panas pada operasional transformator berbeban. Parameter yang menyebabkan panas pada transformator tersebut adalah kenaikan suhu transformator, dalam hal ini termasuk suhu *top-oil*. Untuk mendapatkan estimasi yang tepat data suhu *top-oil* perlu dibandingkan dengan data arus tiap fasa untuk mengetahui karakteristik dari suhu *top-oil* dengan beberapa kondisi arus yang berbeda-beda sesuai dengan kapasitas transformator masing-masing. Data arus ini merupakan arus sekunder dari transformator itu sendiri, dimana arus tersebut merupakan arus yang mengalir menuju beban-beban pelanggan, baik itu beban rumah tangga, perkantoran, maupun industri. Sehingga parameter arus ini merupakan parameter yang cukup penting untuk mengestimasi suhu *top-oil*. Karena arus yang menuju beban (arus sekunder dari transformator) lebih besar jika dibandingkan dengan arus primer. Sehingga arus yang besar ini memiliki kontribusi yang cukup besar terhadap kenaikan suhu *top-oil* sesuai dengan besar kecilnya arus yang mengalir ke beban. Berikut ini adalah data-data perbandingan antara Suhu dan Arus pada tiap transformator untuk kapasitas 100 KVA, 160 KVA, Dan 200 KVA .



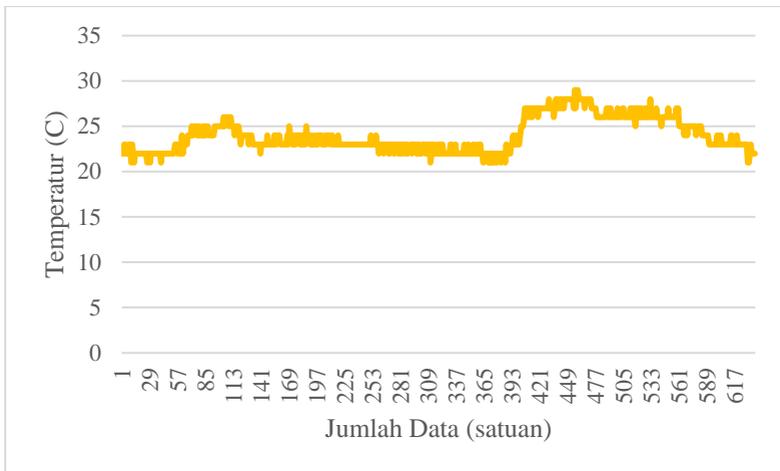
**Gambar 4. 1** Grafik Arus tiap fasa transformator M.190



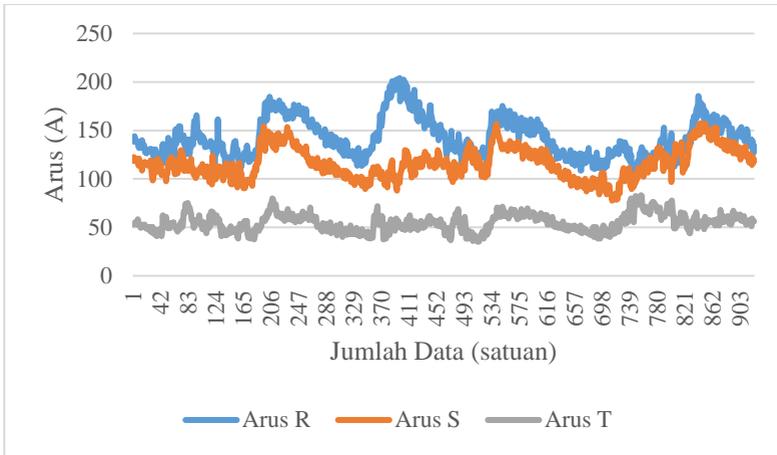
**Gambar 4. 2** Grafik suhu *top-oil* transformator M.190



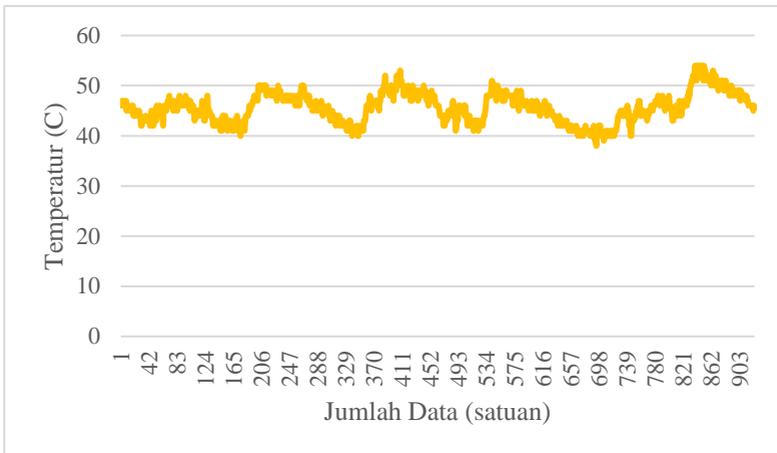
**Gambar 4. 3** Grafik Arus tiap fasa transformator M.180



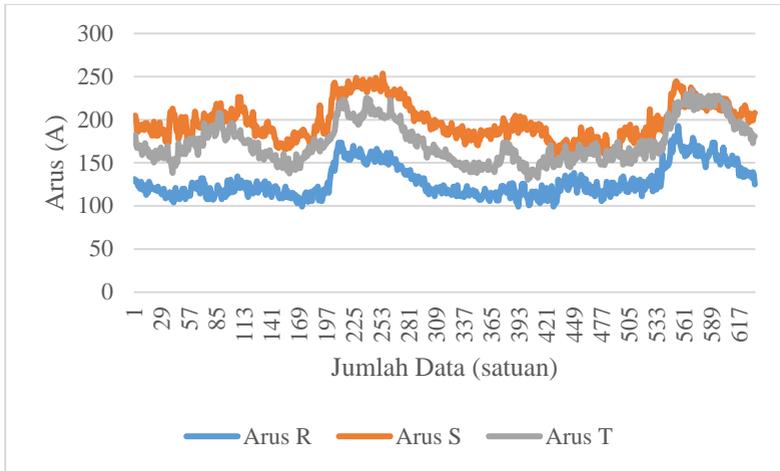
**Gambar 4. 4** Grafik suhu *top-oil* transformator M.180



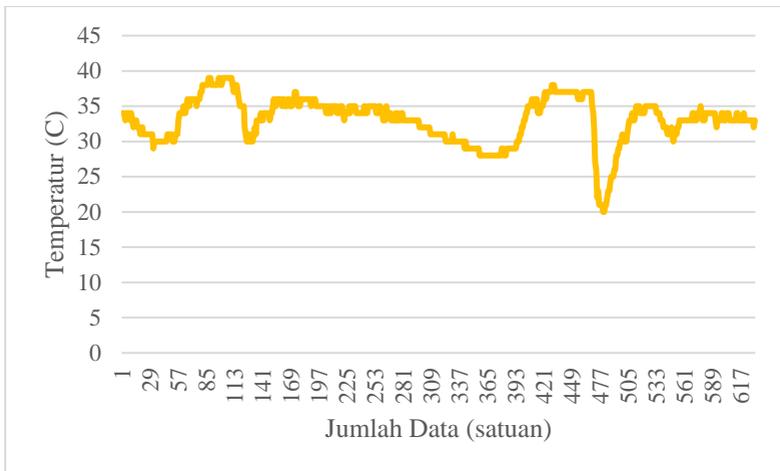
**Gambar 4. 5** Grafik Arus tiap fasa transformator M.071



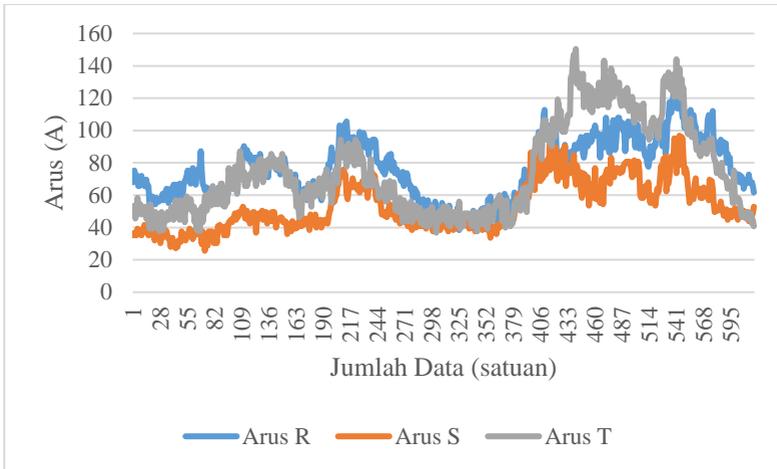
**Gambar 4. 6** Grafik suhu *top-oil* transformator M.071



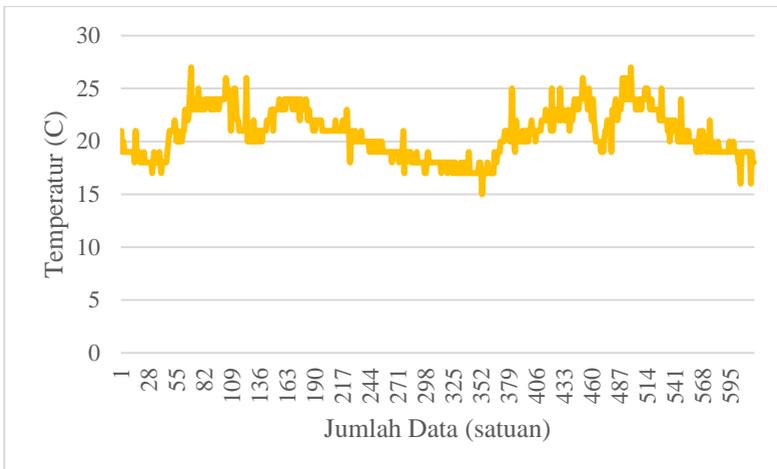
**Gambar 4. 7** Grafik Arus tiap fasa transformator M.218



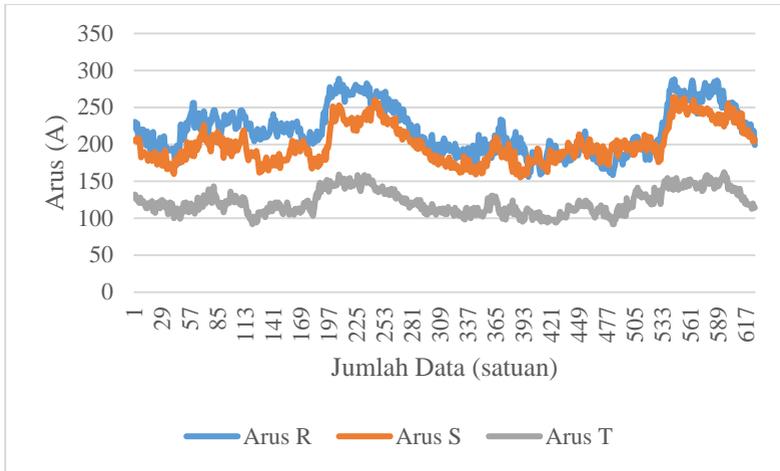
**Gambar 4. 8** Grafik suhu *top-oil* transformator M.218



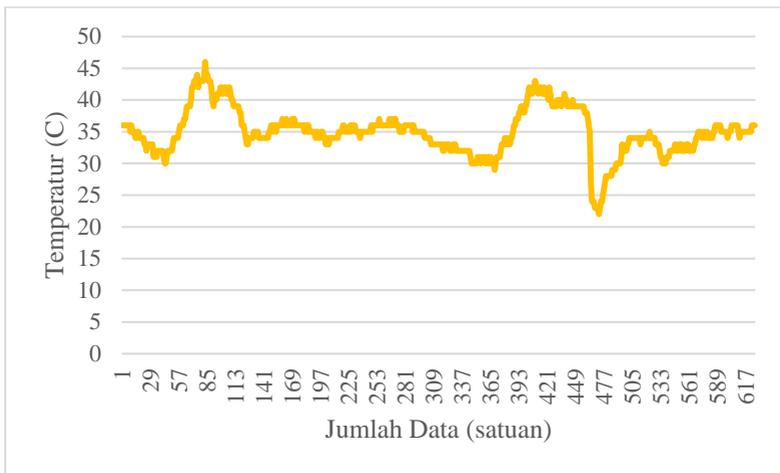
**Gambar 4. 9** Grafik Arus tiap fasa transformator M.295



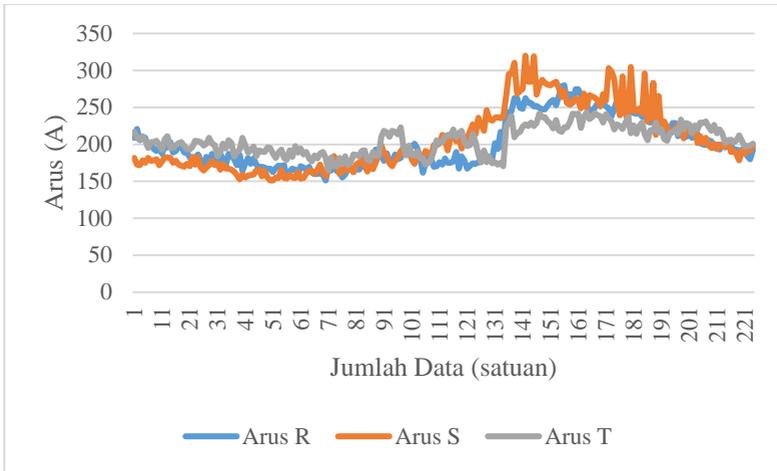
**Gambar 4. 10** Grafik suhu *top-oil* transformator M.295



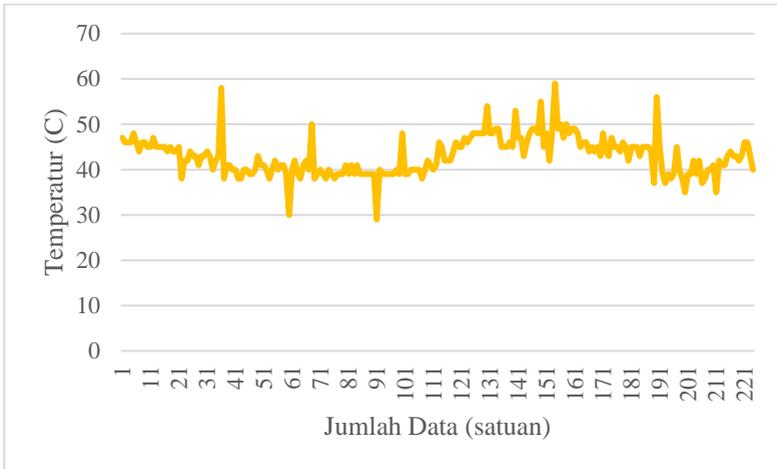
**Gambar 4. 11** Grafik Arus tiap fasa transformator M.199



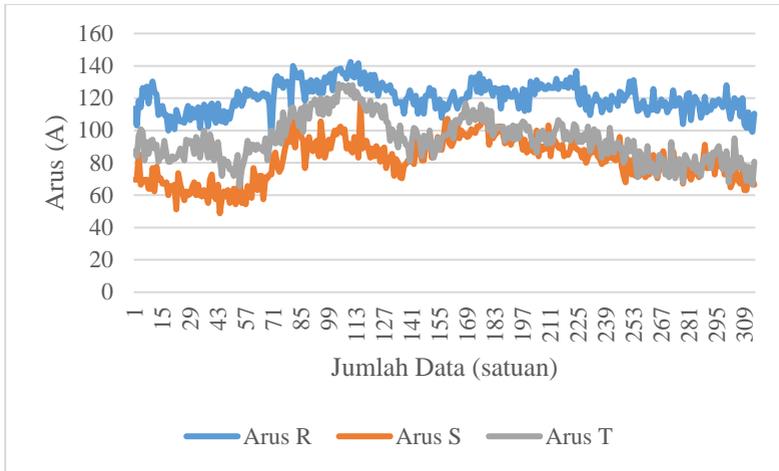
**Gambar 4. 12** Grafik suhu *top-oil* transformator M.199



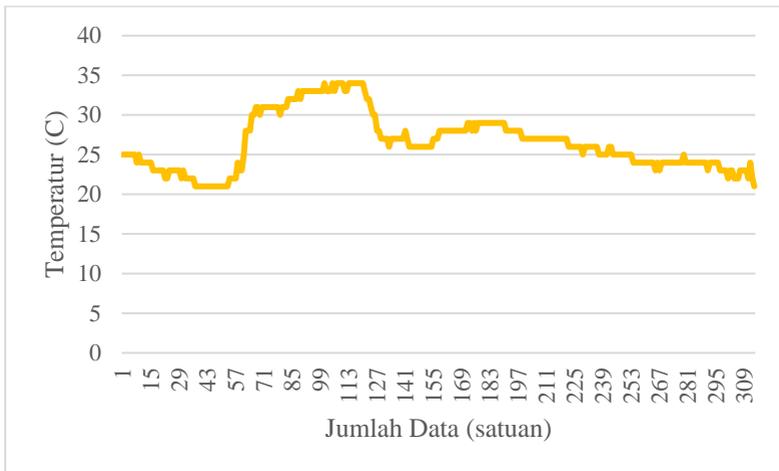
**Gambar 4. 13** Grafik Arus tiap fasa transformator M.391



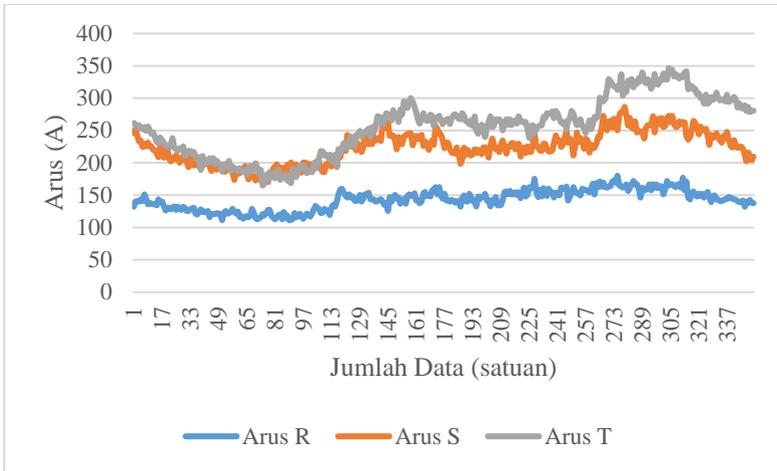
**Gambar 4. 14** Grafik suhu *top-oil* transformator M.391



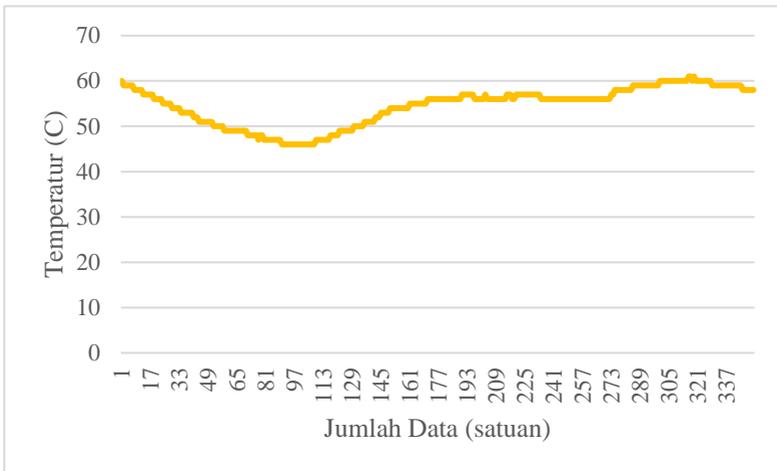
**Gambar 4. 15** Grafik Arus tiap fasa transformator M.406



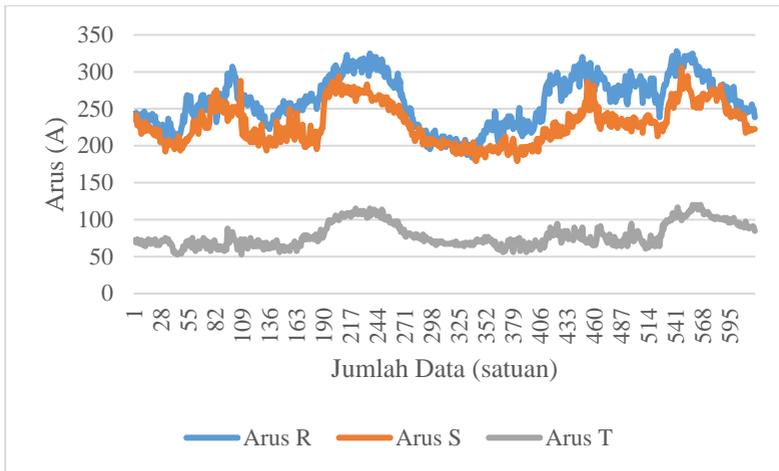
**Gambar 4. 16** Grafik suhu *top-oil* transformator M.406



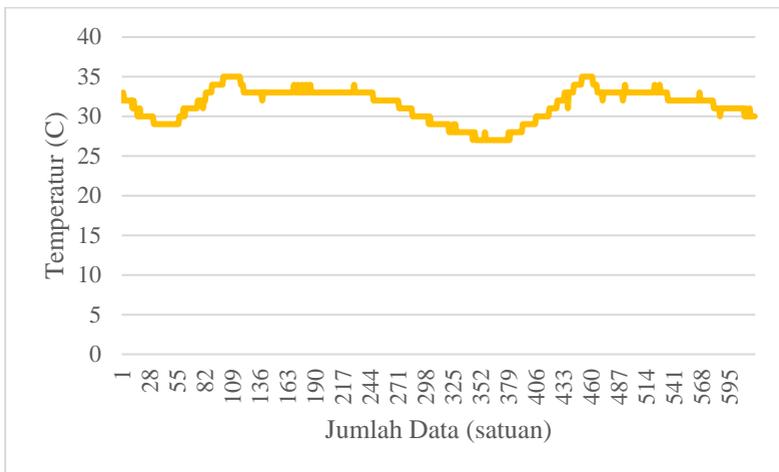
**Gambar 4. 17** Grafik Arus tiap fasa transformator M.040



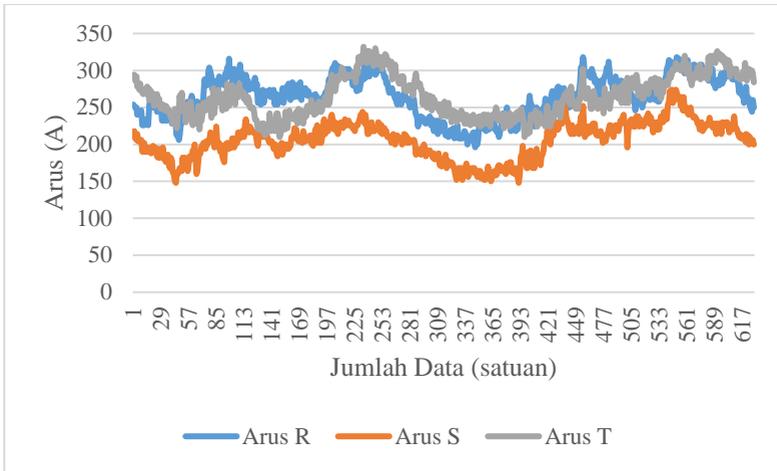
**Gambar 4. 18** Grafik suhu *top-oil* transformator M.040



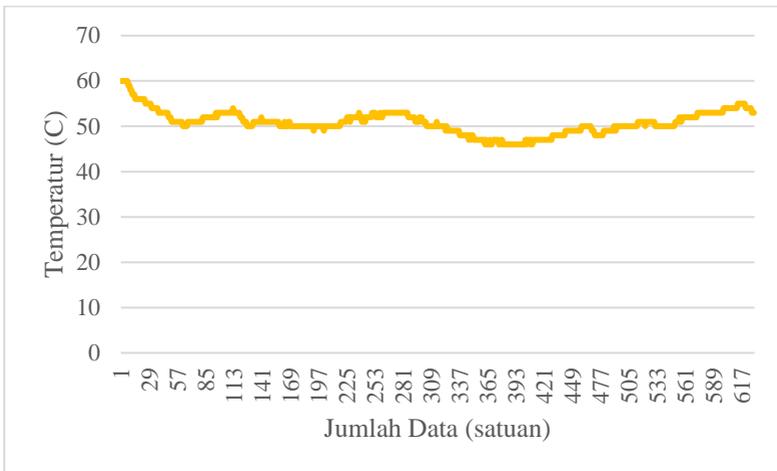
**Gambar 4. 19** Grafik Arus tiap fasa transformator M.049-1



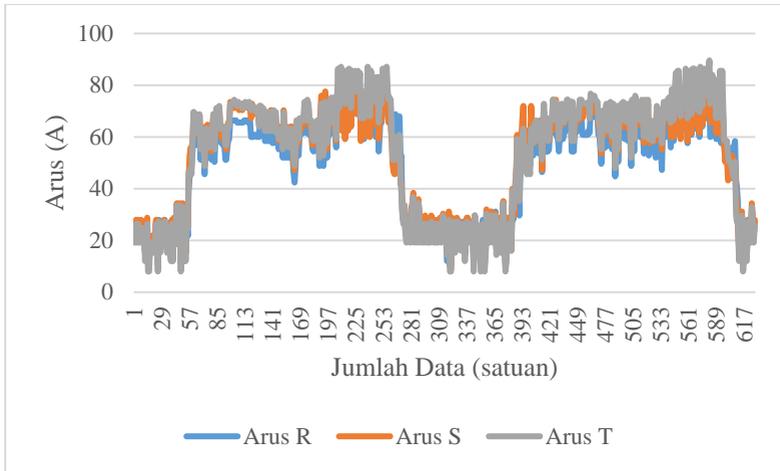
**Gambar 4. 20** Grafik suhu *top-oil* transformator M.049-1



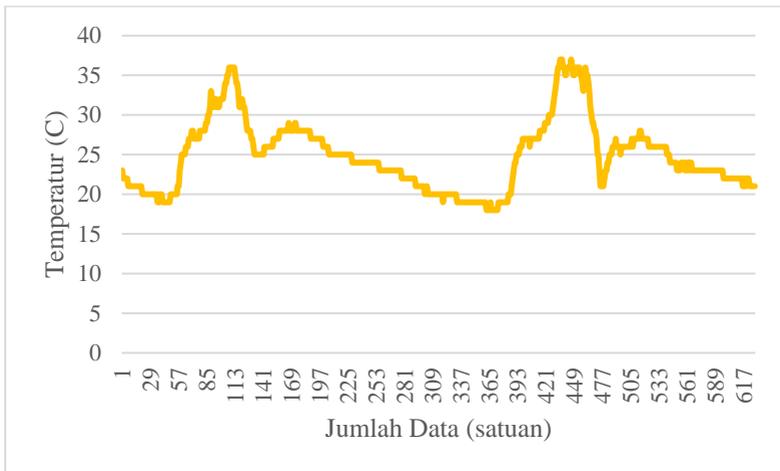
**Gambar 4. 21** Grafik Arus tiap fasa transformator M.057



**Gambar 4. 22** Grafik suhu *top-oil* transformator M.057



**Gambar 4. 23** Grafik Arus tiap fasa transformator M.FRSM



**Gambar 4. 24** Grafik suhu *top-oil* transformator M.FRSM

Untuk melihat karakteristik antara arus dan suhu pada masing-masing transformator dengan kapasitas 100 KVA dapat dilihat pada gambar 4.1 sampai dengan gambar 4.8. Sedangkan untuk melihat karakteristik antara arus dan suhu pada masing-masing transformator dengan kapasitas 160 KVA dapat dilihat pada gambar 4.9 sampai dengan gambar 4.16. Dan untuk melihat karakteristik antara arus dan suhu pada masing-masing transformator dengan kapasitas 200 KVA dapat dilihat pada gambar 4.17 sampai dengan gambar 4.24. Grafik tersebut digunakan untuk melihat/mengetahui karakteristik antara data suhu *top-oil* terhadap data arus tiap fasanya.

Selain itu juga digunakan untuk menentukan dan mengetahui apakah arus tiap fasa merupakan parameter yang tepat untuk dijadikan input dalam prediksi suhu *top-oil* transformator. Pada pemilihan data arus ini, dipilih dengan beberapa kondisi nilai arus, mulai dari dengan nilai arus dengan range dibawah 0-50 A, 50-100 A, dan diatas 100 A. Pemilihan arus tersebut dengan beberapa nilai range arus dengan pertimbangan agar algoritma yang digunakan dapat mengenali pola dari seluruh kondisi transformator, mulai dari kondisi beban minimum hingga saat beban maksimum dengan kata lain arus terkecil dan terbesar.

Keberhasilan estimasi ini sangat bergantung dari variasi data yang di training. Karena semakin varian kondisi data input dan output yang akan di training, maka tingkat keberhasilan estimasi untuk memprediksi temperature *top-oil* juga akan semakin tinggi dan mendekati akurat. Maka dari itu data yang digunakan ini dipilih dari beberapa kondisi yang ada mulai dari nilai arus terkecil hingga arus terbesar. Semakin kecil arus yang mengalir menuju beban, maka semakin kecil pula nilai suhu *top-oil* dari transformator, begitu juga sebaliknya semakin besar nilai arus yang mengalir menuju beban, maka semakin besar pula nilai suhu *top-oil* dari transformator. Dengan demikian arus merupakan parameter yang tepat untuk dijadikan sebagai input dalam melakukan estimasi *thermal* transformator ini.

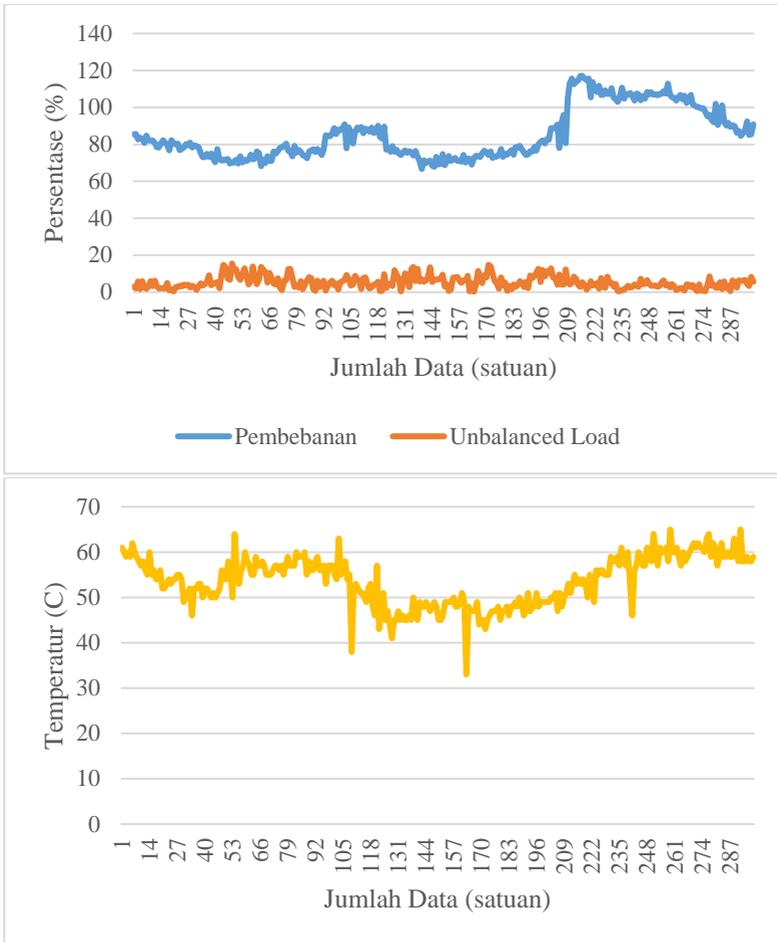
#### **4.2 Data Pembebanan, *Unbalanced Load* dan Suhu *Top-Oil***

Kenaikan suhu dari transformator sangat bergantung pada kondisi pembebanan transformator itu sendiri. Pembebanan merupakan faktor utama yang perlu diperhatikan dalam estimasi ini. Karena kondisi suhu dengan pembebanan cukup linier. Disaat beban puncak dalam arti kondisi

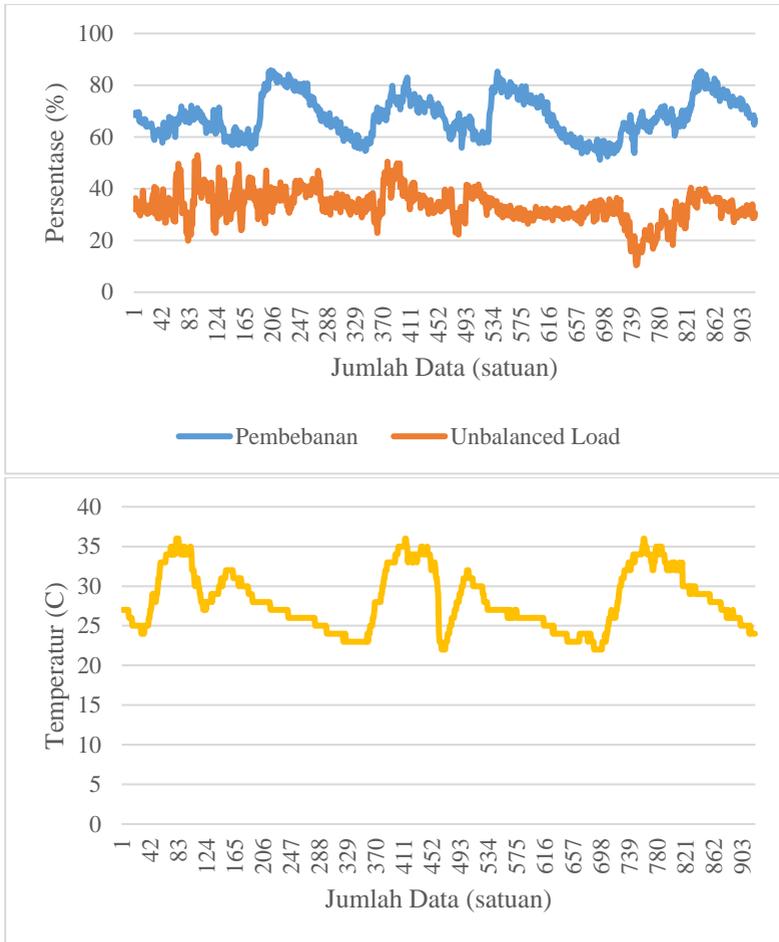
dari transformator pada pembebanan penuh bahkan bisa melebihi ratingnya, maka suhu transformator akan mengalami kenaikan mengikuti besar pembebanannya. Sedangkan ketika pembebanan minimum suhu transformator akan mengalami penurunan juga mengikuti penurunan pembebanan tersebut. Dapat dilihat pada grafik dibawah ini, untuk seluruh transformator mulai dari kapasitas 100 KVA, 160 KVA, dan 200 KVA menunjukkan karakteristik yang sama antara pembebanan dan suhu *top-oil*. Dari grafik tersebut menunjukkan kelinieran dari suhu *top-oil* dengan pembebanan. Karena itu pembebanan merupakan parameter yang paling utama untuk dijadikan input dalam estimasi suhu transformator untuk memprediksi suhu *top-oil* pada transformator.

Selain itu untuk beberapa transformator juga terjadi kondisi *unbalanced load* pada salah satu fasa dari transformator, dimana kondisi beban pada setiap fasa besarnya tidak sama. Hal ini menyebabkan peningkatan kenaikan suhu *top-oil* pada salah satu fasa yang menyuplai beban berlebih dibandingkan fasa lainnya. Namun terdapat beberapa kondisi ketika *unbalanced load* relatif tinggi namun masih dalam batas operasi, dalam arti operasi dari beban terbesar pada salah satu fasanya masih di bawah rating operasi transformatornya, maka kenaikan suhu tidak akan signifikan. Sedangkan ketika rata-rata pembebanan transformator kecil, namun terjadi *unbalanced load*, dimana pada salah satu fasanya beroperasi melebihi dari ratingnya, maka kenaikan suhu dari transformator akan terjadi secara signifikan. Hal ini menyebabkan kekuatan isolasi dari minyak transformator mengalami penurunan. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa kedua parameter ini merupakan parameter yang cukup besar untuk memberikan kontribusi dalam peningkatan kenaikan suhu *top-oil* dari transformator.

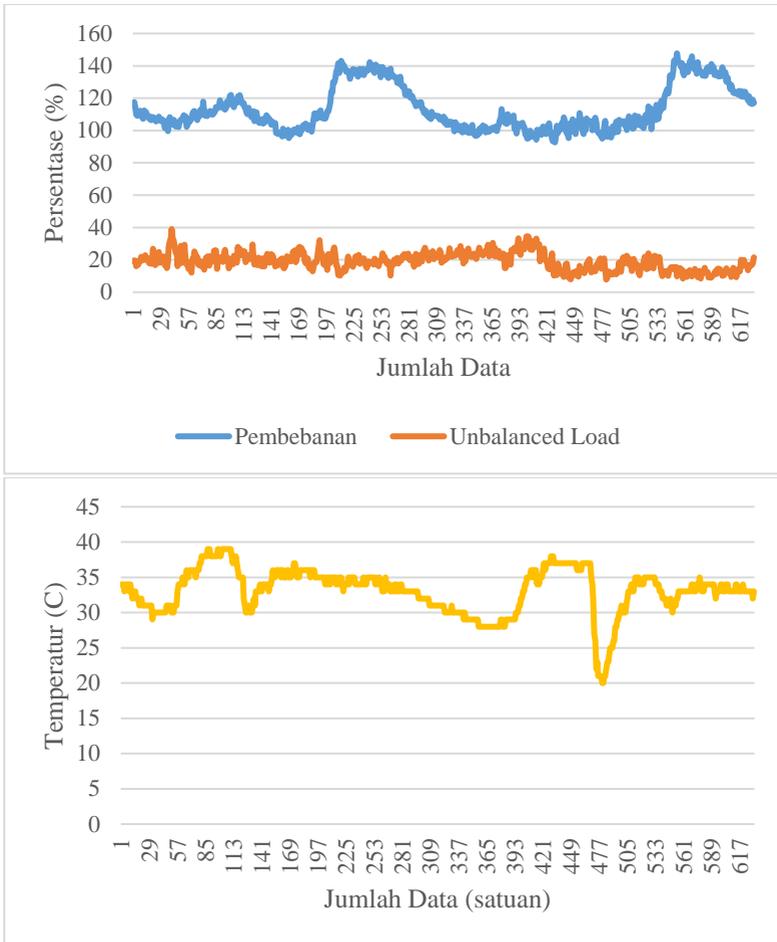
Berikut adalah karakteristik data pembebanan dan *unbalanced load* terhadap suhu *top-oil*. Berdasarkan gambar grafik dibawah menunjukkan bahwa, parameter pembebanan dan *unbalanced load* merupakan parameter input yang saling berkorelasi dalam peningkatan kenaikan suhu *top-oil* dari transformator.



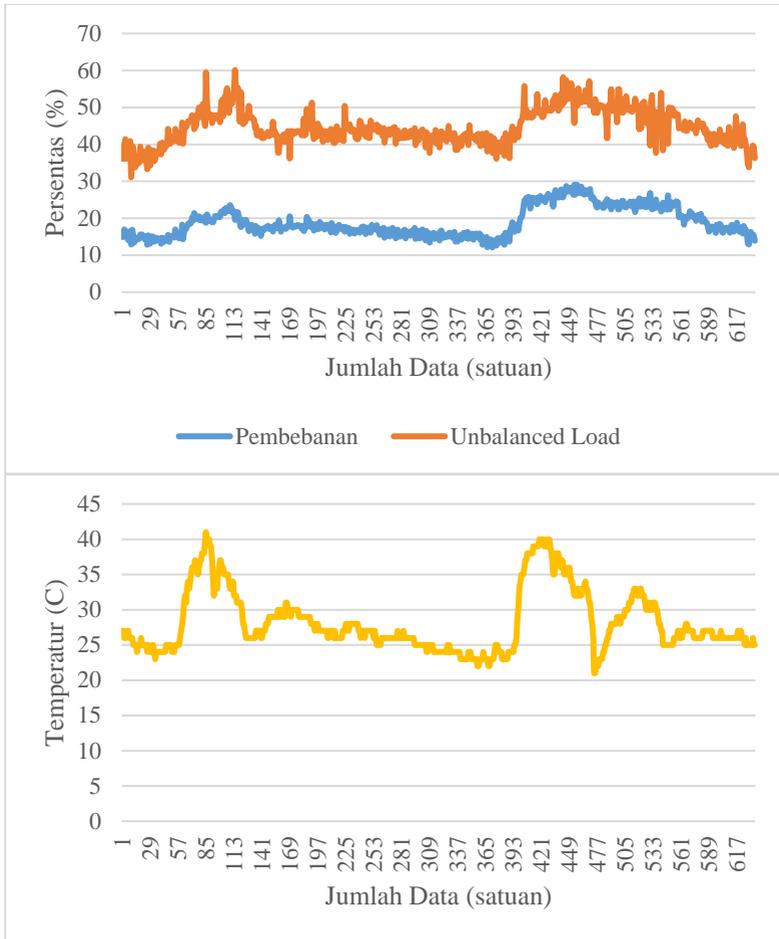
**Gambar 4. 25** Grafik pembebanan, *unbalanced* dan suhu *top-oil* transformator M.190



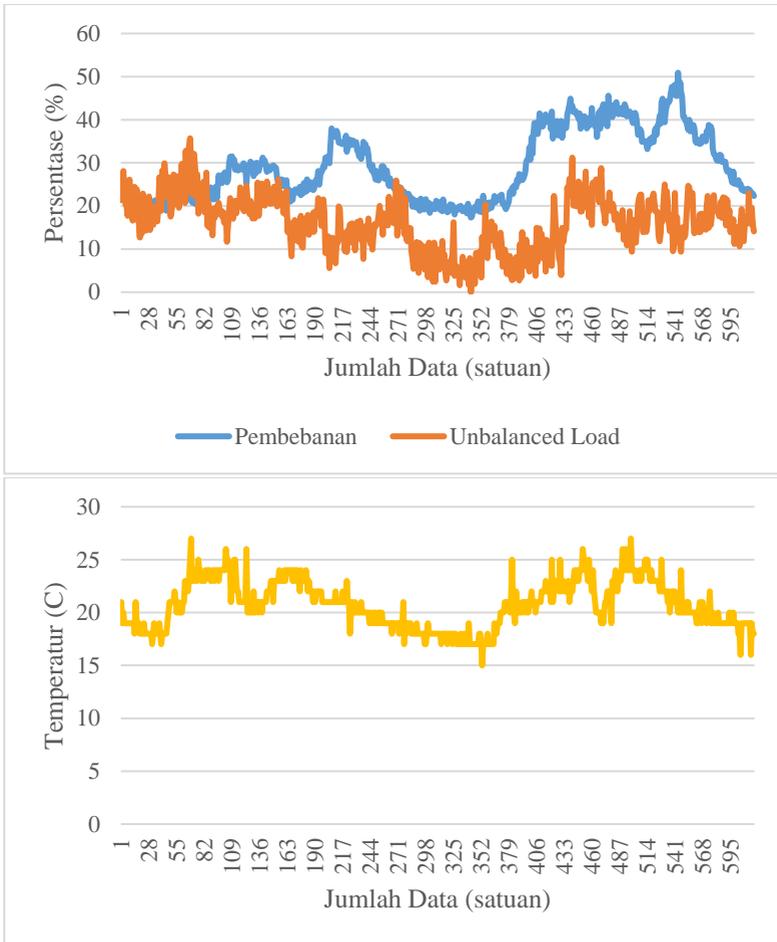
**Gambar 4. 26** Grafik pembebanan, *unbalanced load* dan suhu *top-oil* transformator M.071



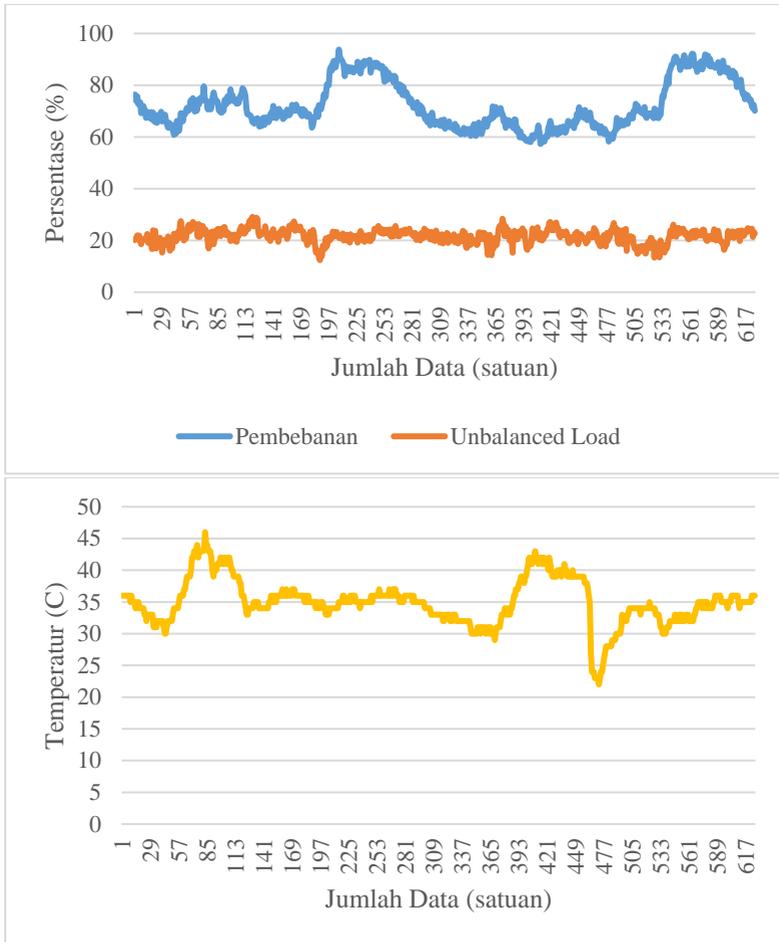
**Gambar 4. 27** Grafik pembebanan, *unbalanced load* dan suhu *top-oil* transformator M.218



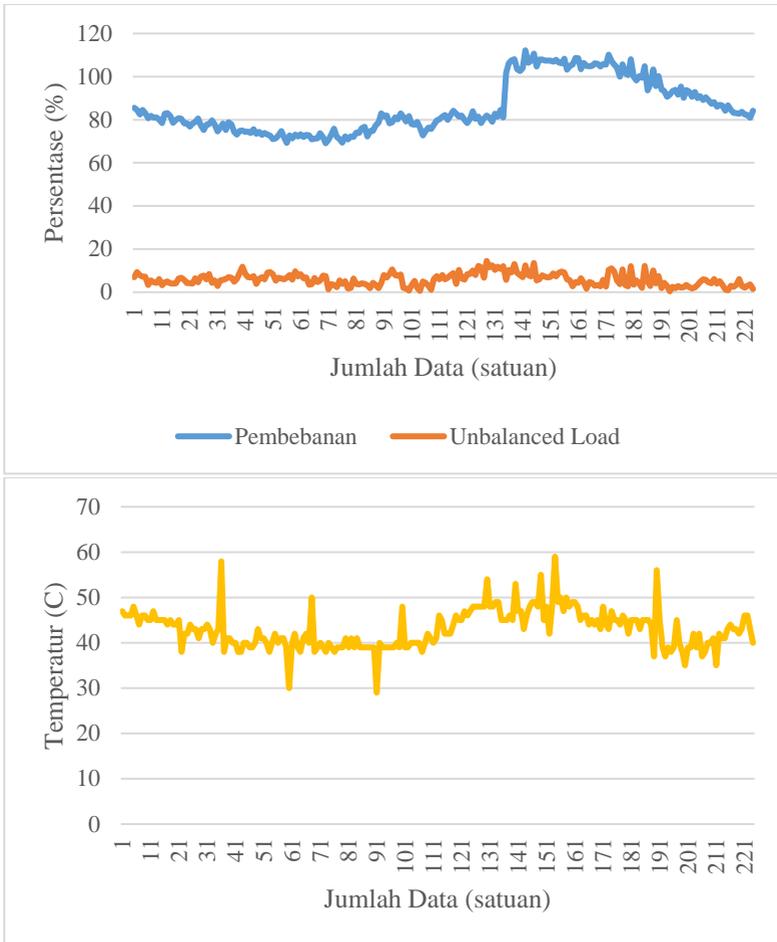
**Gambar 4. 28** Grafik pembebanan, *unbalanced load* dan suhu *top-oil* transformator M.180



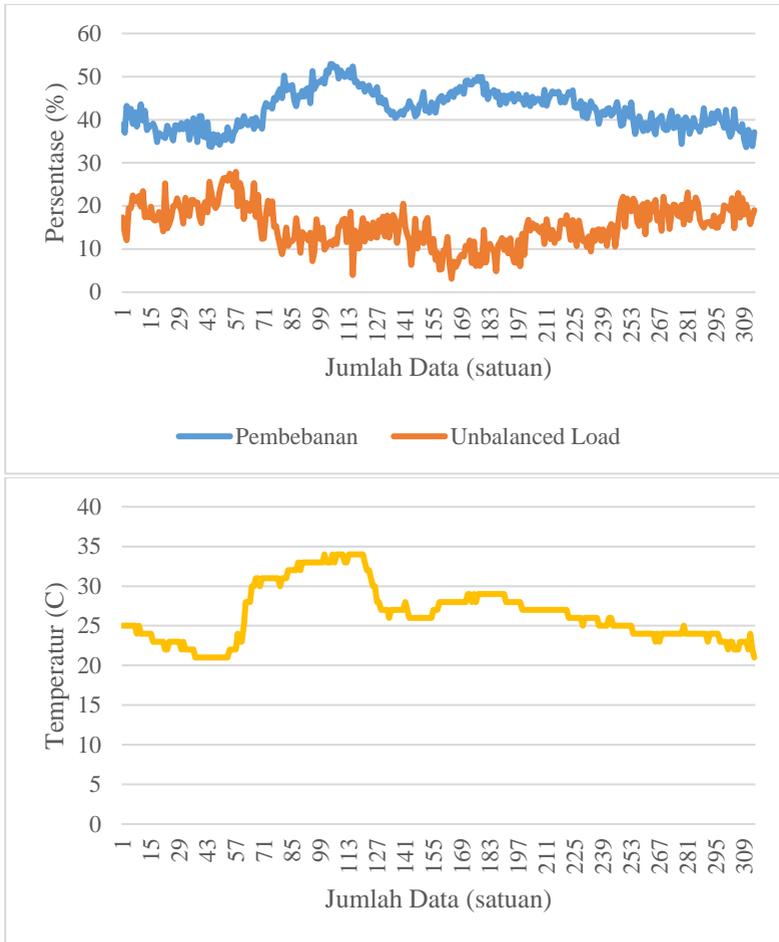
**Gambar 4. 29** Grafik pembebanan, *unbalanced load* dan suhu *top-oil* transformator M.295



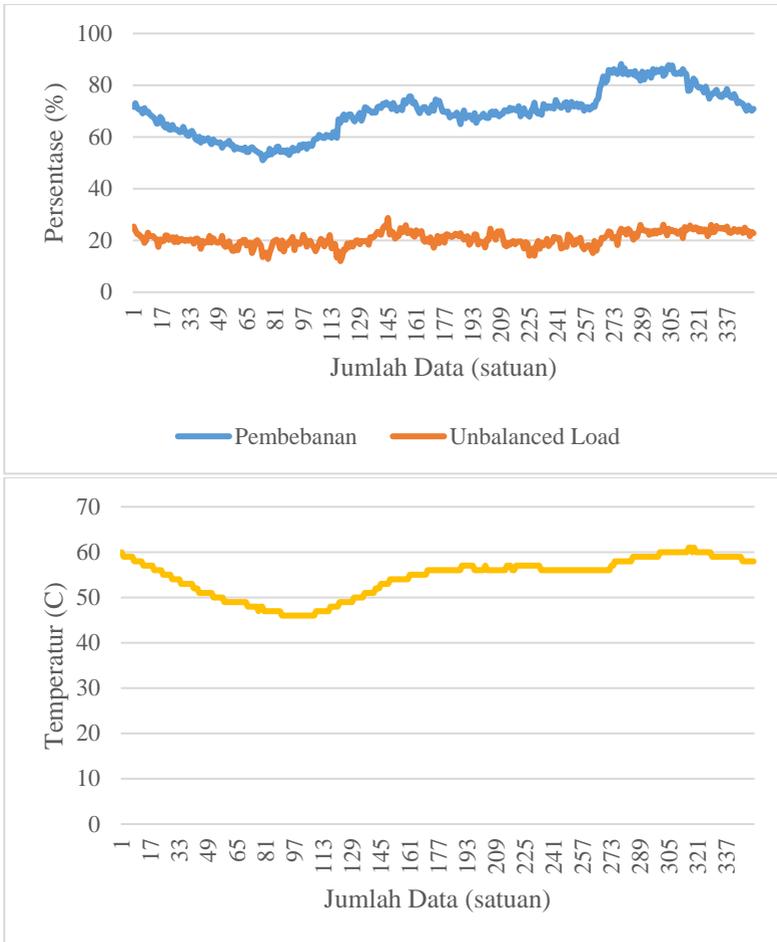
**Gambar 4. 30** Grafik pembebanan, *unbalanced load* dan suhu *top-oil* transformator M.199



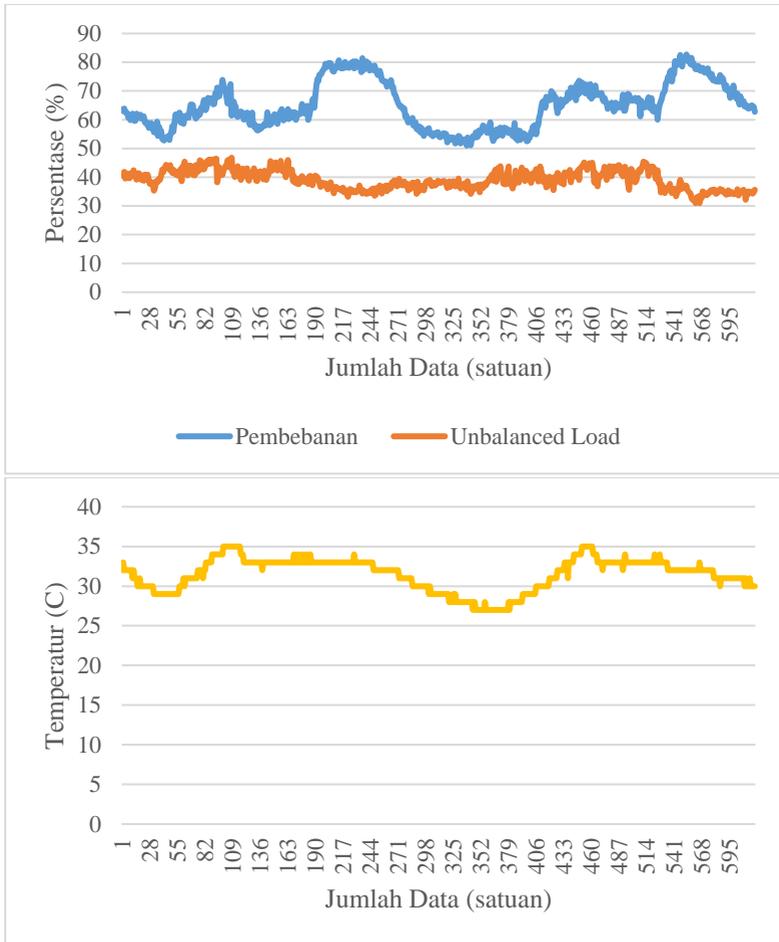
**Gambar 4. 31** Grafik pembebanan, *unbalanced load* dan suhu *top-oil* transformator M.391



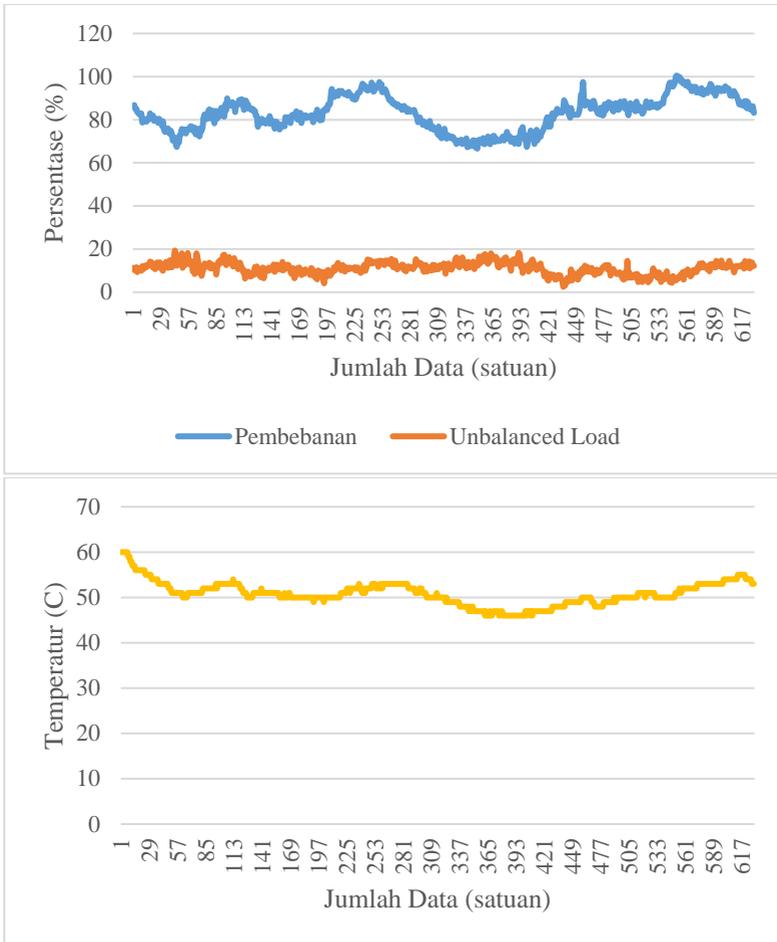
**Gambar 4. 32** Grafik pembebanan, *unbalanced load* dan suhu *top-oil* transformator M.406



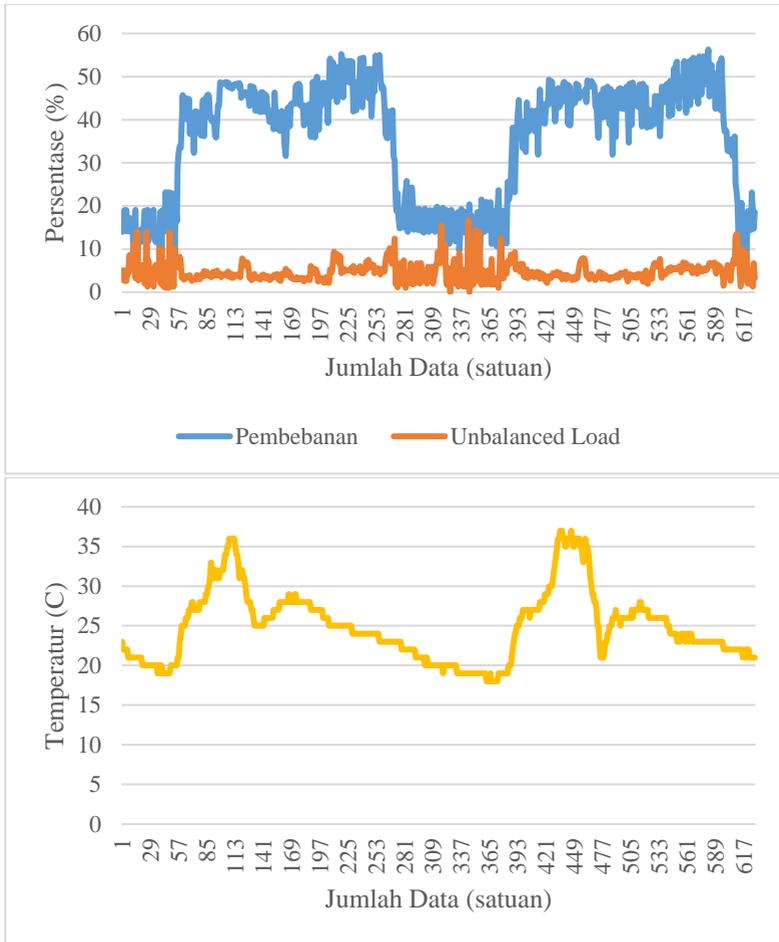
**Gambar 4. 33** Grafik pembebanan, *unbalanced load* dan suhu *top-oil* transformator M.040



**Gambar 4. 34** Grafik pembebanan, *unbalanced load* dan suhu *top-oil* transformator M.049-1



**Gambar 4. 35** Grafik pembebanan, *unbalanced load* dan suhu *top-oil* transformator M.057



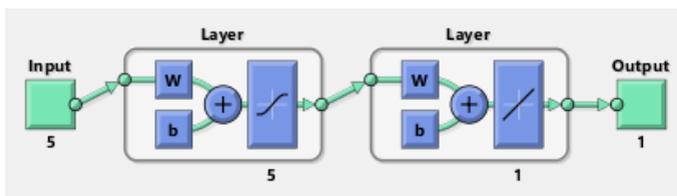
**Gambar 4. 36** Grafik pembebanan, *unbalanced load* dan suhu *top-oil* transformator M.FRSM

Untuk perbandingan karakteristik antara pembebanan, *unbalanced load* dan suhu pada masing-masing transformator dengan kapasitas 100 KVA dapat dilihat pada gambar 4.25 sampai dengan gambar 4.28. Sedangkan untuk perbandingan karakteristik antara pembebanan, *unbalanced load* dan suhu pada masing-masing transformator dengan kapasitas 160 KVA dapat dilihat pada gambar 4.29 sampai dengan gambar 4.32. Dan untuk perbandingan karakteristik antara pembebanan, *unbalanced load* dan suhu pada masing-masing transformator dengan kapasitas 200 KVA dapat dilihat pada gambar 4.33 sampai dengan gambar 4.36. Grafik-grafik tersebut digunakan untuk menunjukkan bahwa parameter-parameter yang akan digunakan tersebut memiliki karakteristik yang sama untuk setiap data outputnya. Dengan mengetahui karakteristik pada masing-masing transformator pada setiap kapasitas yang berbeda tersebut maka kita dapat menentukan parameter-parameter yang dapat digunakan. Data-data yang telah dipilih tersebut harus memiliki pola dan karakteristik yang sama untuk memperoleh hasil prediksi yang bagus dan mendekati data aktual atau data yang sebenarnya. Data pembebanan dan data *unbalanced load* ini akan dijadikan input untuk memodelkan suhu *top-oil* dari transformator dan digunakan untuk memprediksi suhu *top-oil* dari transformator dengan kapasitas yang sama ataupun dengan kapasitas yang berbeda.

### **4.3 Arsitektur *BackPropagation Neural Network***

*BackPropagation Neural Network* merupakan metode estimasi yang menggunakan konsep pendekatan fungsi *feedforward* dan *backward* pada hidden layer untuk mengatur bobot pada arsitektur BPNN. Dalam BPNN terbagi menjadi dua proses yaitu pelatihan dan pengujian. Data input yang akan digunakan akan dibagi menjadi dua bagian yaitu data training dan data testing. Untuk jumlah data dari kedua bagian tersebut lebih banyak pada bagian training dibandingkan testing karena untuk mendapatkan estimasi yang tepat, data input yang harus dipelajari polanya harus lebih banyak dan lebih varian. Pada proses pelatihan akan didapatkan karakteristik output yang telah ditargetkan. Karakteristik tahap pelatihan tersebut akan menghasilkan *weigh* dan *bias* yang akan digunakan untuk melakukan pengujian input yang baru pada estimasi. Dengan demikian prediksi output dan besar error estimasi akan didapatkan. Pada estimasi

suhu *top-oil* dari transformator ini menggunakan 5 neuron dan 2 layer pada hidden layer dan menggunakan fungsi aktivasi tansig dan purelinier. Sedangkan untuk proses training data input, algoritma yang digunakan pada estimasi ini adalah *backpropagation* Lavenberg Marquardt. Dengan menggunakan maksimal epoch yaitu 1000 epoch, dan goal training yaitu 0 karakteristik dari data target atau dalam estimasi ini yaitu suhu *top-oil* dapat diikuti dengan baik. Berikut adalah gambar diagram arsitektur dari *Backpropagation* yang akan digunakan pada estimasi ini.



**Gambar 4. 37** Arsitektur dari Backpropagation Neural Network

### 4.3.1 Penentuan Input

Setelah melakukan analisa grafik dari masing-masing parameter input yang ada, dengan beberapa pertimbangan dalam pemilihan parameter yang memiliki karakteristik atau pengaruh pada nilai output (data target), maka parameter input dapat ditentukan. Terdapat 5 input yang dipilih, yaitu arus tiap fasa (R S T), pembebanan dan *unbalanced load* pada transformator. Parameter input ini memiliki pengaruh besar terhadap output, dimana output tersebut adalah suhu *top-oil* dari transformator. Input tersebut didapatkan dari 12 buah transformator yang dioperasikan untuk menyuplai beban rumah tangga yaitu sebanyak 8 transformator dan 4 transformator untuk menyuplai beban industri. Dari 12 transformator tersebut terdapat 3 jenis kapasitas transformator yang berbeda-beda diantaranya 4 buah transformator dengan kapasitas 100 KVA, 4 buah transformator dengan kapasitas 160 KVA, dan 4 buah transformator dengan kapasitas 200 KVA.

### 4.3.2 Penentuan Output

Data yang akan menjadi output pada estimasi ini merupakan data target ditentukan dari data yang ingin kita jadikan target. Output tersebut merupakan data yang kita ingin modelkan menggunakan parameter yang

lain seperti arus, pembebanan, dan *unbalanced load*. Dalam menentukan keluaran dari estimasi ini dilakukan prediksi menggunakan *BackPropagation Neural Network*. Data output yang digunakan adalah suhu *top-oil*. Suhu *top-oil* ini dimodelkan dengan parameter input arus tiap fasa (R S T), pembebanan, dan *unbalanced load*.

#### **4.3.3 Tahap Pelatihan**

Pada tahap ini data ditraining untuk mengetahui pola dan karakteristik dari data target (output). BPNN akan mempelajari karakteristik tersebut sehingga dengan pembelajaran ini BPNN mampu mengenali data input baru yang kemudian outputnya dapat diramalkan. Proses pembelajaran suatu pola ini dilakukan dengan cara memperbaiki bobot (*weight*) dan bias di tiap layer dan disetiap iterasi. Untuk bobot dan bias awal ditentukan secara random mulai dari -0,5 hingga 0,5. Kemudian pada tiap iterasi akan dibentuk 1 neuron yang terdiri dari *weight* dan bias hingga mendekati nilai yang ditargetkan. Neuron yang memiliki total error terkecil akan diterima sebagai neuron yang baru. Kemudian error pada jaringan syaraf akan dicek ulang, dan apabila error jaringan sudah kecil atau sesuai dengan goal training, maka iterasi dihentikan, namun apabila errornya masih besar maka akan ditambahkan neuron berikutnya, demikian seterusnya. Namun apabila error tidak mengecil hingga batas maksimum epoch yaitu 1000, maka neuron yang digunakan adalah neuron terakhir sesaat sebelum iterasi dihentikan.

#### **4.3.4 Tahap Pengujian**

Pada tahap pengujian ini, BPNN akan memanggil hasil training yang telah dilakukan sebelumnya. Data yang dipanggil yaitu *weight* dan bias. Dengan *weight* dan bias yang telah diperoleh dari hasil training ini, maka BPNN akan mampu mengenali data input yang baru sesuai dengan karakteristik yang sudah dipelajari sebelumnya. Sehingga BPNN mampu membuat hasil peramalan atau *forecasting* terhadap data yang ditargetkan (output). Hasil dari estimasi tersebut bergantung pada pelatihan BPNN sebelumnya. Jika data yang digunakan tidak memiliki karakteristik atau parameter yang digunakan tidak sesuai dan variasi dari data input yang digunakan terlalu sedikit maka error dari hasil prediksi akan besar. Karena estimasi menggunakan BPNN akan lebih maksimal apabila data yang

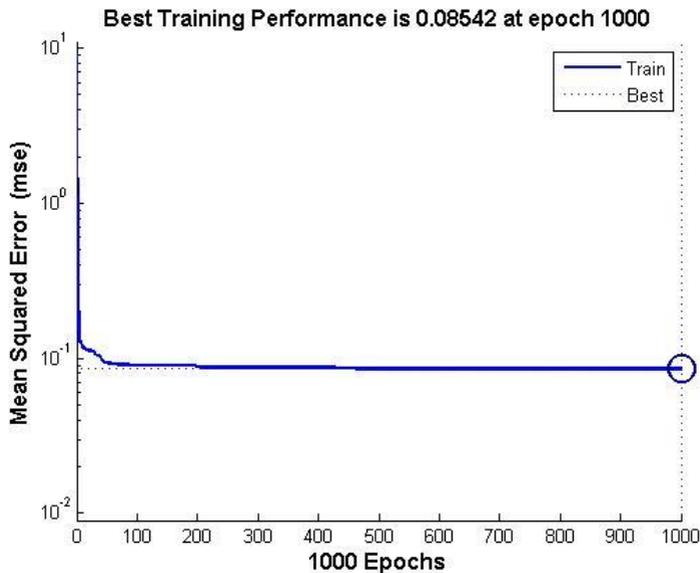
digunakan sesuai dengan karakteristik, sehingga mampu mengenali input data yang baru.

#### **4.4 Estimasi Suhu *Top-Oil* Menggunakan *BackPropagation Neural Network***

Pada penelitian ini estimasi suhu *top-oil* menggunakan BPNN dibagi menjadi 7 jenis estimasi. Karena ada 3 kapasitas transformator yang berbeda, yaitu 100 kVA, 160 kVA dan 200 kVA, maka untuk tiap kapasitas transformator akan dibuat estimasinya untuk mengetahui apakah tiap kapasitas tersebut dapat memodelkan suhu *top-oil* dengan menggunakan parameter-parameter yang lain. Dari tiap kapasitas kita mendapatkan 1 estimasi. Tiap estimasi transformator dibagi menjadi 2, yaitu transformator yang digunakan untuk *training* dan transformator yang digunakan untuk *forecasting* atau peramalan. Kemudian untuk estimasi dengan 2 kapasitas berbeda didapatkan 3 estimasi yaitu 100 kVA dengan 160 kVA, 100 kVA dengan 200 kVA, dan 160 kVA dengan 200 kVA. Untuk estimasi yang terakhir menggunakan 3 kapasitas tersebut untuk dibuat estimasinya. Tujuannya adalah untuk mengetahui apakah parameter yang diinputkan dapat digunakan untuk memodelkan transformator dengan kapasitas yang berbeda.

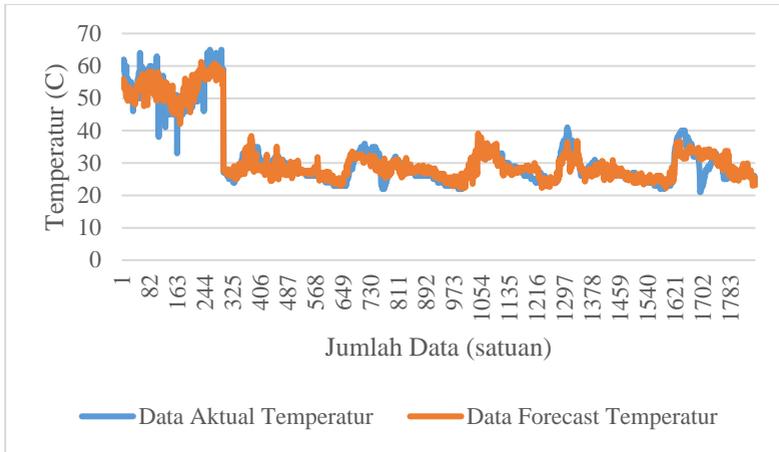
##### **4.4.1 Estimasi Suhu *Top-Oil* Transformator 100 kVA**

Pada estimasi transformator 100 kVA terdapat 4 buah transformator. 3 buah transformator ditraining dan 1 sisanya untuk ditesting (diramal). Transformator yang ditraining adalah transformator M.190, M.180, dan M.071. Kemudian transformator yang akan dimodelkan atau ditesting adalah transformator M.218.



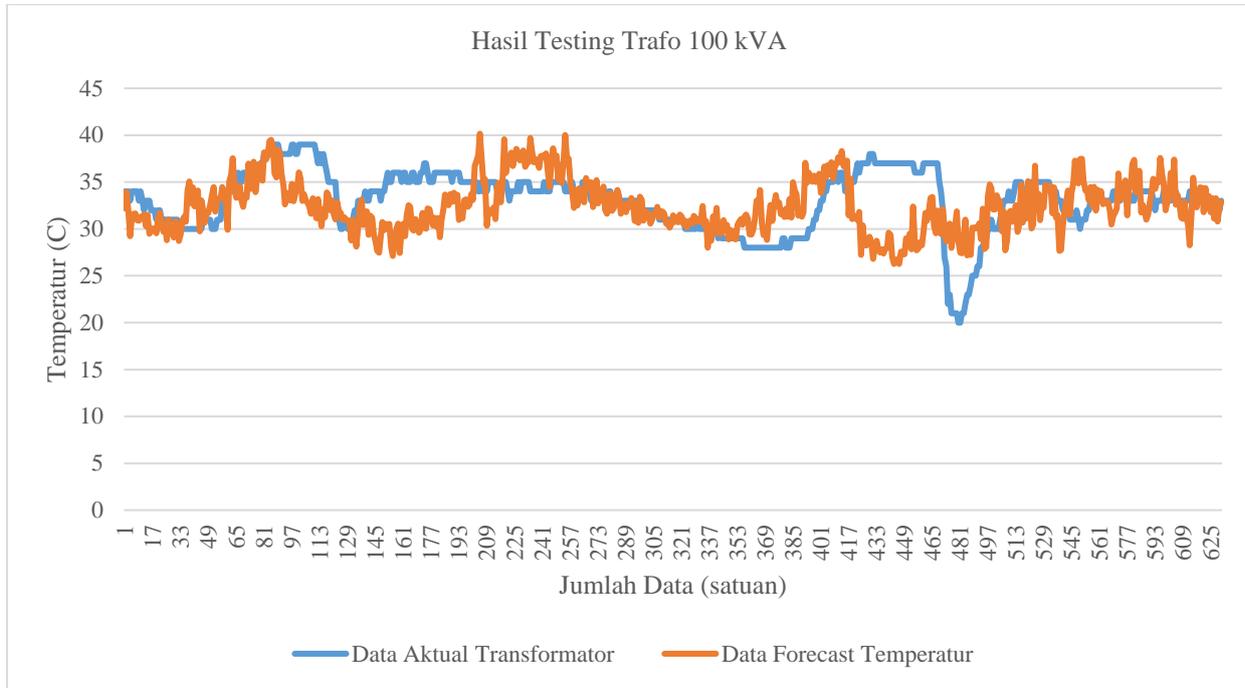
**Gambar 4. 38** Proses training BPNN pada kapasitas 100 kVA

Gambar 4.38 menunjukkan grafik performance proses training data transformator 160 kVA menggunakan BPNN. Berdasarkan gambar tersebut iterasi akan berhenti pada epoch ke-1000, karena maksimum epoch dari BPNN yaitu 1000 epoch sehingga fungsi kinerja *Mean Square Error* (MSE) akan berhenti pada iterasi sesaat sebelum iterasi 1000 yaitu dengan nilai 0,08542. Program diatur agar iterasi berhenti ketika MSE = 0 atau iterasi sudah mencapai iterasi epoch ke-1000. Sehingga ketika iterasi berhenti maka output hasil pembelajaran akan ditampilkan. Pada dasarnya setiap data memiliki error, akan tetapi untuk menghentikan pelatihan digunakan error jaringan. Apabila error jaringan sudah mencapai goal yang kita inginkan iterasi akan berhenti. Error jaringan syaraf tersebut dinamakan MSE. Iterasi juga akan berhenti ketika epoch sudah mencapai ke-1000 meskipun goal training belum mencapai 0.



**Gambar 4. 39** 1855 data training transformator 100 kVA

Dari gambar grafik hasil training data yang dapat dilihat pada gambar 4.39 menunjukkan bahwa hasil data pembelajaran dengan data aktual memiliki selisih yang sangat kecil, dimana data hasil pembelajaran mampu mengikuti data yang ditargetkan dengan baik. Dengan jumlah data training 1855 data, BPNN mampu mengetahui karakteristik data yang telah dilatih dengan baik. Dengan mengatur MSE sebesar 0, data peramalan mampu mendekati data yang ditargetkan pada sebelumnya. Parameter yang digunakan untuk membuat estimasi suhu *top-oil* ini adalah arus tiap fasa (R S T), pembebanan, dan *unbalanced load*. Parameter-parameter yang telah dipilih tersebut merupakan parameter yang cocok digunakan untuk membuat estimasi suhu *top-oil*. Karena karakteristik antara parameter input berpengaruh besar terhadap perubahan dari suhu minyak transformator. Untuk itu estimasi suhu *top-oil* dari transformator dapat dimodelkan dengan tepat menggunakan metode Backpropagation Neural Network.

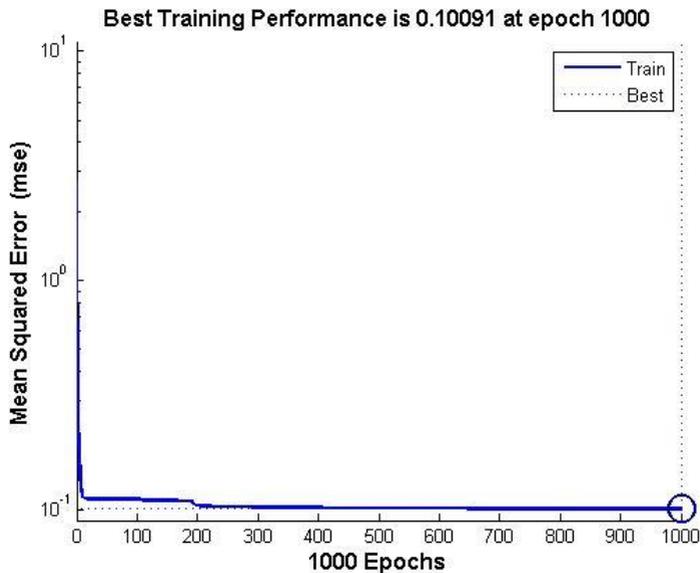


**Gambar 4. 40** 631 data testing transformator dengan kapasitas 100 kVA

Berdasarkan gambar 4.40 dari hasil testing 631 data transformator 100 kVA dapat dilihat bahwa apabila dibandingkan antara grafik data suhu aktual dengan data suhu forecasting menunjukkan selisih yang cukup kecil. Nilai suhu *top-oil* pada hasil peramalan dapat memperoleh nilai yang hampir sama dengan nilai suhu *top-oil* pada data aktual. *Mean Absolute Percent Error* (MAPE) dari hasil forecasting untuk estimasi pada kapasitas 100 kVA ini adalah sebesar 8.9 %. Dengan demikian tingkat kebenaran hasil prediksi sebesar 91,1 %. Besarnya error tersebut masih dibawah 10%. Maka dapat disimpulkan bahwa parameter input yang digunakan, yaitu arus tiap fase (R S T), pembebanan, dan *unbalanced load* dapat digunakan untuk memodelkan suhu *top-oil* dari transformator dengan kapasitas yang sama, yaitu kapasitas 100 KVA.

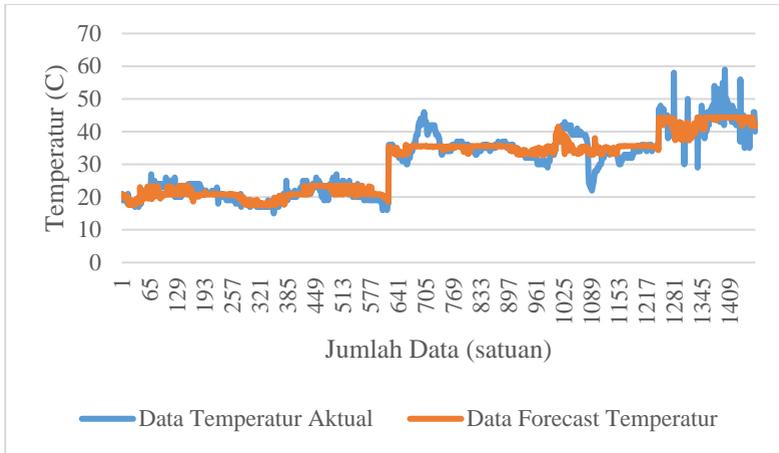
#### **4.4.2 Estimasi Suhu *Top-Oil* Transformator 160 kVA**

Pada estimasi suhu *top-oil* transformator dengan kapasitas 160 kVA digunakan 4 buah transformator. 3 buah transformator untuk digunakan sebagai data training dan 1 sisanya untuk digunakan sebagai data testing atau diprediksi. Transformator yang digunakan sebagai data training adalah transformator M.295, M.199, dan M.391. Sedangkan untuk transformator yang digunakan sebagai data testing adalah transformator M.406.



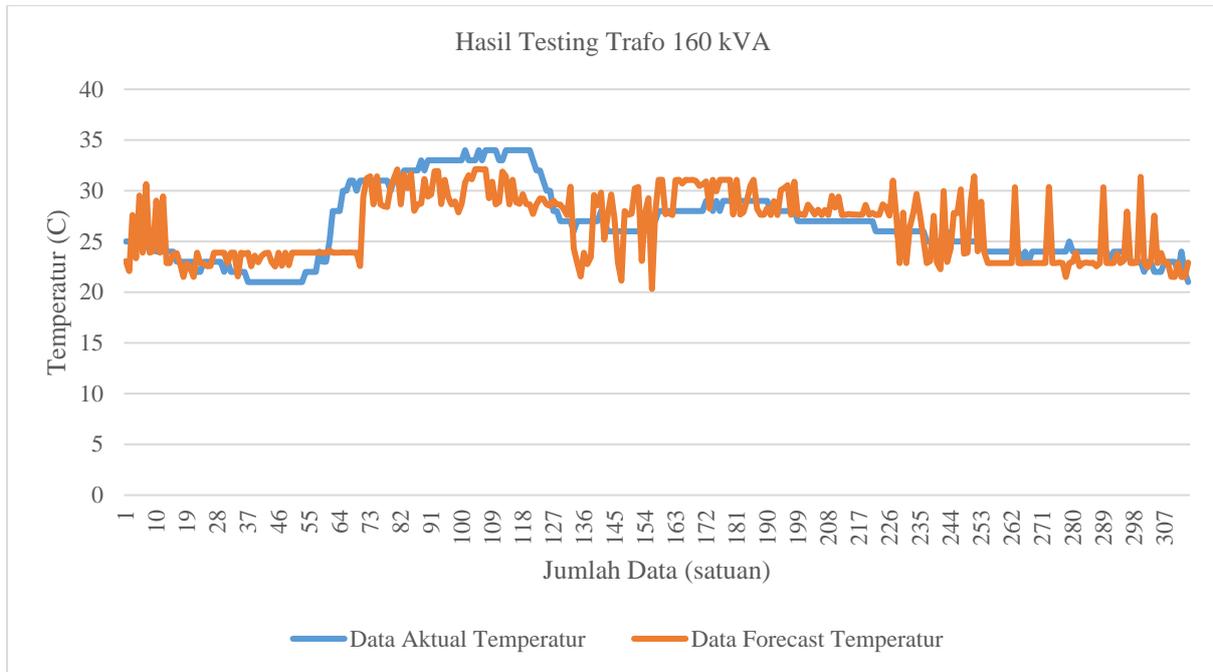
**Gambar 4. 41** Proses training BPNN pada kapasitas 160 kVA

Gambar 4.41 menunjukkan grafik performance proses training data transformator 160 kVA menggunakan BPNN. Berdasarkan gambar tersebut iterasi akan berhenti pada epoch ke-1000, karena maksimum epoch dari BPNN yaitu 1000 epoch sehingga fungsi kinerja *Mean Square Error* (MSE) akan berhenti pada iterasi sesaat sebelum iterasi 1000 yaitu dengan nilai sebesar 0,10091. Program diatur agar iterasi berhenti ketika MSE = 0 atau iterasi sudah mencapai iterasi epoch ke-1000. Sehingga ketika iterasi berhenti maka output hasil pembelajaran akan ditampilkan. Iterasi juga akan berhenti ketika epoch sudah mencapai ke-1000 meskipun goal training belum mencapai 0. MSE merupakan error jaringan dimana error di setiap neuron dirata-ratakan. Error pada setiap neuron selalu diperbaiki di setiap iterasinya. Apabila error yang baru lebih kecil maka error neuron yang lama akan diganti, namun apabila error neuron yang baru lebih besar maka error yang lama akan tetap dipertahankan.



**Gambar 4. 42** 1468 data training transformator 160 KVA

Dari gambar grafik hasil training data yang dapat dilihat pada gambar 4.42 menunjukkan bahwa hasil data pembelajaran dengan data aktual memiliki selisih yang kecil, dimana data hasil pembelajaran mampu mengikuti data yang ditargetkan dengan baik. Dengan jumlah data training sebanyak 1468 data, BPNN mampu mengetahui karakteristik data yang telah dilatih dengan baik. Dengan mengatur MSE sebesar 0, data peramalan mampu mendekati data yang ditargetkan pada sebelumnya. Parameter yang digunakan untuk membuat estimasi suhu top-oil sama dengan pada estimasi sebelumnya. Dapat disimpulkan bahwa estimasi suhu top-oil dari transformator dapat dimodelkan dengan tepat menggunakan metode Backpropagation Neural Network dengan parameter arus tiap fasa (R S T), pembebanan, dan *unbalanced load* disertai pengaturan spesifikasi Neural Network yang telah diatur diatas.

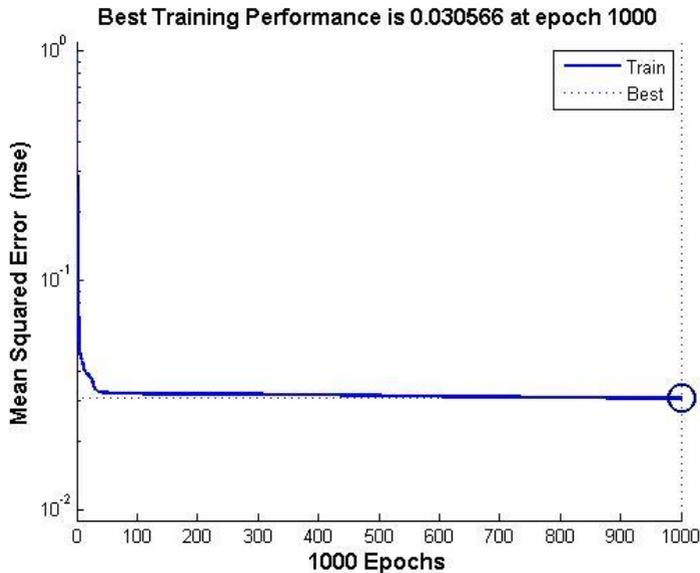


**Gambar 4. 43** 314 data testing transformator dengan kapasitas 160 KVA

Berdasarkan gambar 4.43 dari hasil testing 314 data transformator 160 KVA dapat dilihat bahwa apabila dibandingkan antara grafik data suhu aktual dengan data suhu forecasting menunjukkan selisih yang sangat kecil. Nilai suhu *top-oil* pada hasil peramalan dapat memperoleh nilai yang hampir sama dengan nilai suhu *top-oil* pada data aktual. *Mean Absolute Percent Error* (MAPE) dari hasil forecasting untuk estimasi pada kapasitas 100 KVA ini adalah sebesar 7,86 %. Dengan demikian tingkat kebenaran hasil prediksi sebesar 92,14 %. Besarnya error tersebut masih dibawah 10%. Maka dapat disimpulkan bahwa parameter input yang digunakan, yaitu arus tiap fasa (R S T), pembebanan, dan *unbalanced load* dapat digunakan untuk memodelkan suhu *top-oil* dari transformator dengan kapasitas yang sama, yaitu kapasitas 160 KVA.

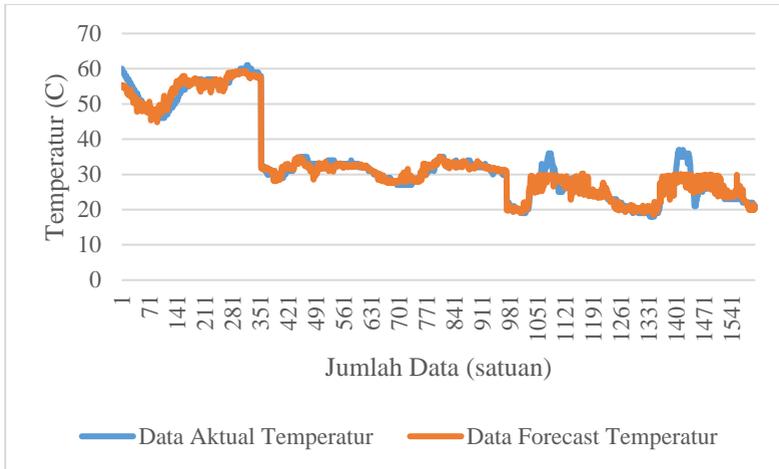
#### **4.4.3 Estimasi Suhu *Top-Oil* Transformator 200 kVA**

Pada estimasi suhu *top-oil* transformator dengan kapasitas 200 KVA digunakan 4 buah transformator. 3 buah transformator untuk digunakan sebagai data training dan 1 sisnya untuk digunakan sebagai data testing atau yang akan diprediksi. Transformator yang akan ditraining tersebut adalah transformator M.040, M.049-1, dan M.FRSM. Sedangkan untuk transformator yang akan ditesting adalah transformator M.057.



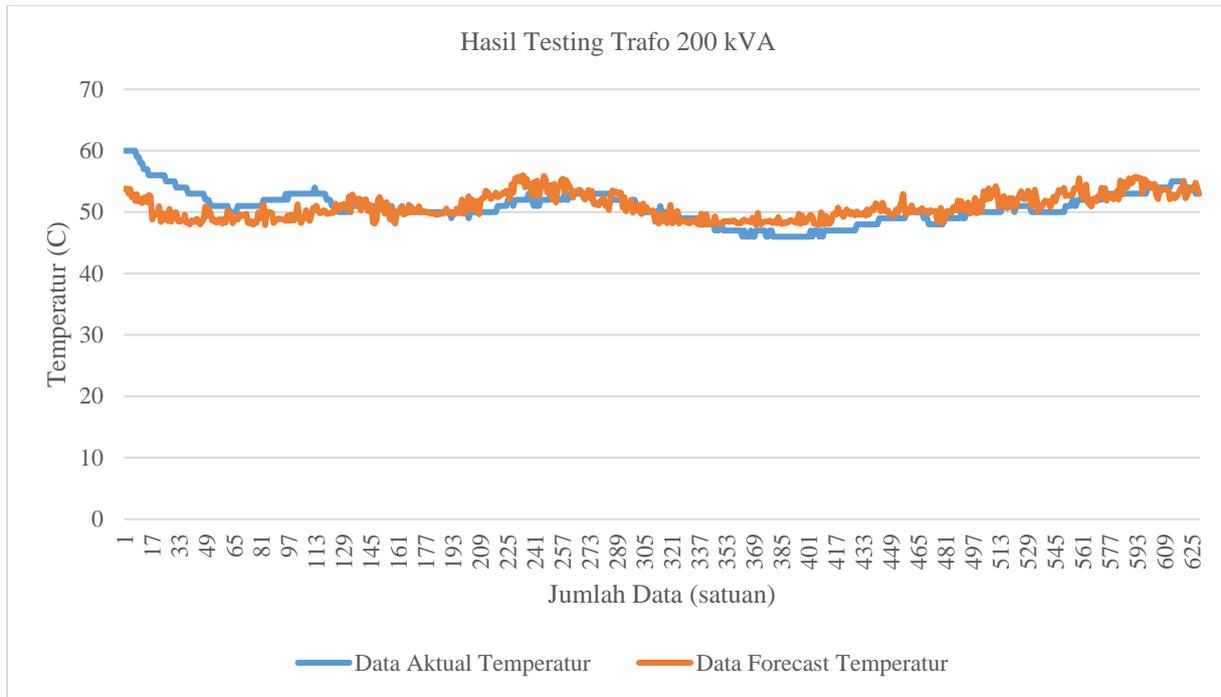
**Gambar 4. 44** Proses training BPNN pada kapasitas 200 kVA

Gambar 4.44 menunjukkan grafik performance proses training data transformator 200 KVA menggunakan BPNN. Berdasarkan gambar tersebut iterasi akan berhenti pada epoch ke-1000, karena maksimum epoch dari BPNN yaitu 1000 epoch sehingga fungsi kinerja *Mean Square Error* (MSE) akan berhenti pada iterasi sesaat sebelum iterasi 1000 yaitu dengan nilai sebesar 0,030566. Program diatur agar iterasi berhenti ketika MSE = 0 atau iterasi sudah mencapai iterasi epoch ke-1000. Sehingga ketika iterasi berhenti maka output hasil pembelajaran akan ditampilkan. Iterasi juga akan berhenti ketika epoch sudah mencapai ke-1000 meskipun goal training belum mencapai 0. MSE merupakan error jaringan dimana error di setiap neuron dirata-ratakan. Error pada setiap neuron selalu diperbaiki di setiap iterasinya. Apabila error yang baru lebih kecil maka error neuron yang lama akan diganti, namun apabila error neuron yang baru lebih besar maka error yang lama akan tetap dipertahankan.



**Gambar 4. 45** 1600 data training transformator 200 KVA

Dari gambar grafik hasil training data yang dapat dilihat pada gambar 4.45 menunjukkan bahwa hasil data pembelajaran dengan data aktual memiliki selisih yang sangat kecil, dimana data hasil pembelajaran mampu mengikuti data yang ditargetkan dengan baik. Dengan jumlah data training sebanyak 1600 data, BPNN mampu mengetahui karakteristik data yang telah dilatih dengan baik. Dengan mengatur MSE sebesar 0, data peramalan mampu mendekati data yang ditargetkan pada sebelumnya. Parameter yang digunakan untuk membuat estimasi suhu top-oil sama dengan pada estimasi sebelumnya. Dapat disimpulkan bahwa estimasi suhu top-oil dari transformator dapat dimodelkan dengan tepat menggunakan metode Backpropagation Neural Network dengan parameter arus tiap fasa (R S T), pembebanan, dan *unbalanced load* disertai pengaturan spesifikasi Neural Network yang telah diatur diatas.

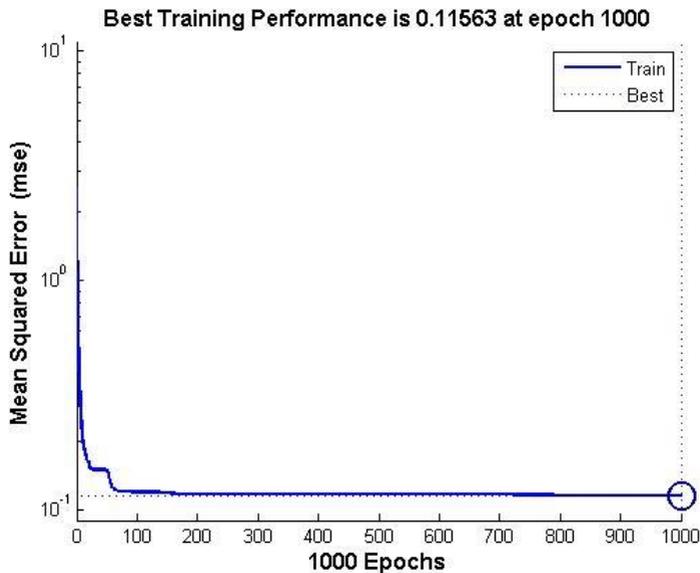


**Gambar 4. 46** 629 data testing transformator dengan kapasitas 200 kVA

Berdasarkan gambar 4.46 dari hasil testing 629 data transformator 200 kVA dapat dilihat bahwa apabila dibandingkan antara grafik data suhu aktual dengan data suhu forecasting menunjukkan selisih yang sangat kecil. Nilai suhu *top-oil* pada hasil peramalan dapat memperoleh nilai yang hampir sama dengan nilai suhu *top-oil* pada data aktual. *Mean Absolute Percent Error* (MAPE) dari hasil forecasting untuk estimasi pada kapasitas 100 KVA ini adalah sebesar 3.64%. Dengan demikian tingkat kebenaran hasil prediksi sebesar 96,36%. Besarnya error tersebut masih dalam batas toleransi alat ukur yang ada yaitu sebesar -5% sampai dengan 5%. Maka dapat disimpulkan bahwa parameter input yang digunakan, yaitu arus tiap fas (R S T), pembebanan, dan *unbalanced load* dapat digunakan untuk memodelkan suhu *top-oil* dari transformator dengan kapasitas yang sama, yaitu kapasitas 200 KVA.

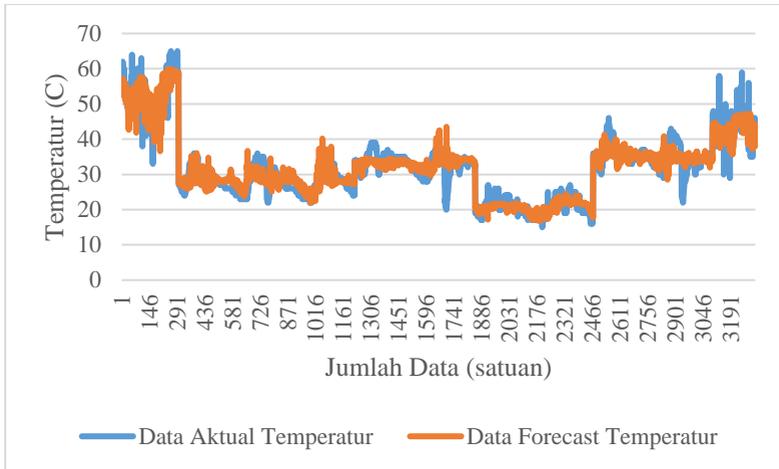
#### **4.4.4 Estimasi Suhu *Top-Oil* Transformator dengan Kapasitas 100 kVA dan 160 kVA**

Pada estimasi suhu *top-oil* transformator dengan kapasitas 100 kVA dan 160 kVA digunakan 8 buah transformator. 4 buah transformator dengan kapasitas 100 kVA dan 4 buah transformator dengan kapasitas 160 kVA. 6 buah untuk digunakan sebagai data training yang terdiri dari 3 buah transformator dengan kapasitas 100 kVA dan 160 kVA. Sedangkan 2 buah sisanya yang terdiri dari kapasitas 100 kVA dan 160 kVA untuk digunakan sebagai data testing atau yang akan diprediksi. Transformator yang akan ditraining untuk kapasitas 100 kVA adalah transformator M.190, M.071, dan M.218, sedangkan untuk kapasitas 160 kVA adalah M.295, M.199, dan M.391. Sedangkan untuk transformator yang akan ditesting adalah transformator M.180 dan M.406.



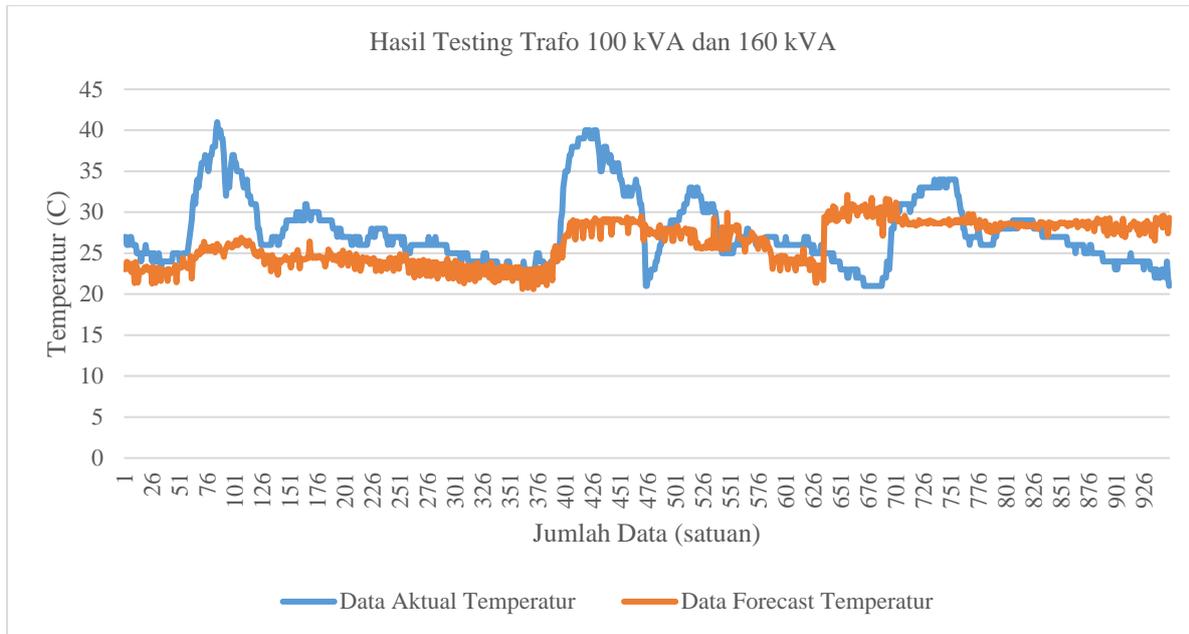
**Gambar 4. 47** Proses training BPNN pada kapasitas 100 kVA dan 160 kVA

Gambar 4.47 menunjukkan grafik performance proses training data transformator 100 kVA dan 160 KVA menggunakan BPNN. Berdasarkan gambar tersebut iterasi akan berhenti pada epoch ke-1000, karena maksimum epoch dari BPNN yaitu 1000 epoch sehingga fungsi kinerja *Mean Square Error* (MSE) akan berhenti pada iterasi sesaat sebelum iterasi 1000 yaitu dengan nilai sebesar 0,11563. Program diatur agar iterasi berhenti ketika  $MSE = 0$  atau iterasi sudah mencapai iterasi epoch ke-1000. Sehingga ketika iterasi berhenti maka output hasil pembelajaran akan ditampilkan. Iterasi juga akan berhenti ketika epoch sudah mencapai ke-1000 meskipun goal training belum mencapai 0. MSE merupakan error jaringan dimana error di setiap neuron dirata-ratakan. Error pada setiap neuron selalu diperbaiki di setiap iterasinya. Apabila error yang baru lebih kecil maka error neuron yang lama akan diganti, namun apabila error neuron yang baru lebih besar maka error yang lama akan tetap dipertahankan.



**Gambar 4. 48** 3319 data training transformator 100 kVA dan 160 kVA

Dari gambar grafik hasil training data yang dapat dilihat pada gambar 4.48 menunjukkan bahwa hasil data pembelajaran dengan data aktual memiliki selisih yang sangat kecil, dimana data hasil pembelajaran mampu mengikuti data yang ditargetkan dengan baik. Dengan jumlah data training sebanyak 3319 data, BPNN mampu mengetahui karakteristik data yang telah dilatih dengan baik. Dengan mengatur MSE sebesar 0, data peramalan mampu mendekati data yang ditargetkan pada sebelumnya. Parameter yang digunakan untuk membuat estimasi suhu top-oil sama dengan pada estimasi sebelumnya. Dapat disimpulkan bahwa estimasi suhu top-oil dari transformator dapat dimodelkan dengan tepat menggunakan metode Backpropagation Neural Network dengan parameter arus tiap fasa (R S T), pembebanan, dan *unbalanced load* disertai pengaturan spesifikasi Neural Network yang telah diatur diatas.

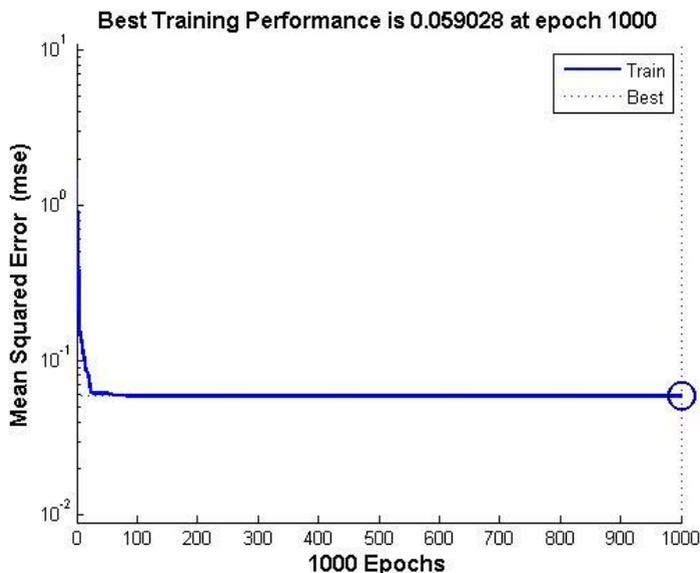


**Gambar 4. 49** 949 data testing transformator dengan kapasitas 100 kVA dan 160 kVA

Berdasarkan gambar 4.49 dari hasil testing 949 data transformator 100 kVA dan 160 kVA dapat dilihat bahwa apabila dibandingkan antara grafik data suhu aktual dengan data suhu forecasting menunjukkan selisih yang kecil. Nilai suhu *top-oil* pada hasil peramalan dapat memperoleh nilai yang hampir sama dengan nilai suhu *top-oil* pada data aktual. *Mean Absolute Percent Error* (MAPE) dari hasil forecasting untuk estimasi pada kapasitas 100 kVA dan 160 kVA ini adalah sebesar 12.96%. Dengan demikian tingkat kebenaran hasil prediksi sebesar 87,04%. Error prediksi pada estimasi ini masih tinggi, sehingga diperlukan parameter lain untuk memperkecil error prediksi seperti parameter harmonik, vibrasi maupun suhu lingkungan dan juga diperlukan *hybrid* metode untuk memperoleh hasil yang maksimal. Maka dapat disimpulkan bahwa parameter input yang digunakan, yaitu arus tiap fasa (R S T), pembebanan, dan *unbalanced load* tidak cukup bagus digunakan untuk memodelkan suhu *top-oil* dari transformator dengan kapasitas yang berbeda, yaitu kapasitas 100 kVA dan 160 kVA. Sehingga diperlukan parameter tambahan dan modifikasi metode agar estimasi yang diperoleh nantinya semakin bagus.

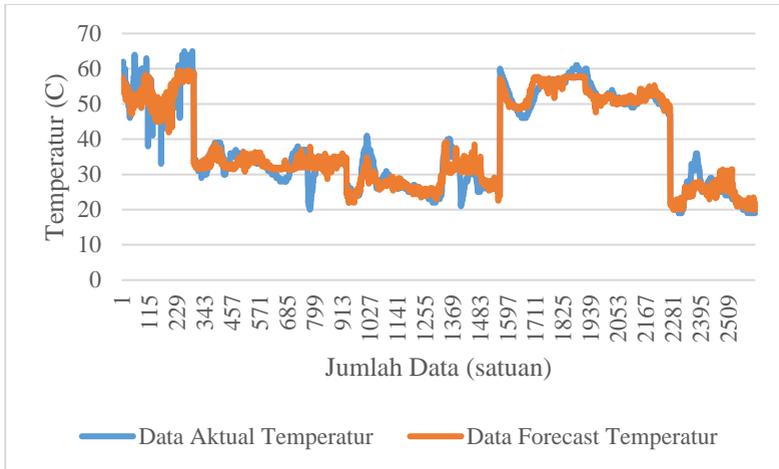
#### **4.4.5 Estimasi Suhu Top-Oil Transformator dengan Kapasitas 100 kVA dan 200 kVA**

Pada estimasi suhu *top-oil* transformator dengan kapasitas 100 kVA dan 200 kVA digunakan 8 buah transformator. 4 buah transformator dengan kapasitas 100 kVA dan 4 buah transformator dengan kapasitas 200 kVA. 6 buah untuk digunakan sebagai data training yang terdiri dari 3 buah transformator dengan kapasitas 100 kVA dan 200 kVA. Sedangkan 2 buah sisanya yang terdiri dari kapasitas 100 kVA dan 200 kVA untuk digunakan sebagai data testing atau yang akan diprediksi. Transformator yang akan ditraining untuk kapasitas 100 kVA adalah transformator M.190, M.218, dan M.180, sedangkan untuk kapasitas 200 kVA adalah M.040, M.057, dan M.FRSM. Sedangkan untuk transformator yang akan ditesting adalah transformator M.071 dan M.049-1.



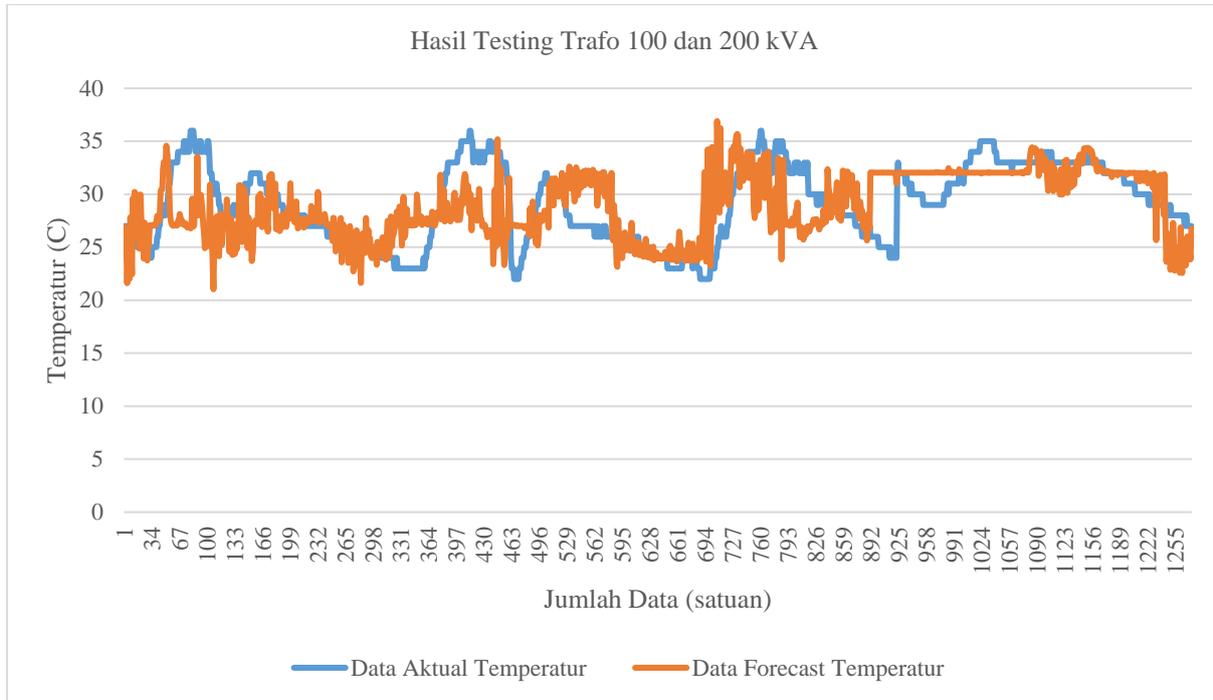
**Gambar 4. 50** Proses training BPNN pada kapasitas 100 kVA dan 200 kVA

Gambar 4.50 menunjukkan grafik performance proses training data transformator 100 kVA dan 200 kVA menggunakan BPNN. Berdasarkan gambar tersebut iterasi akan berhenti pada epoch ke-1000, karena maksimum epoch dari BPNN yaitu 1000 epoch sehingga fungsi kinerja *Mean Square Error* (MSE) akan berhenti pada iterasi sesaat sebelum iterasi 1000 yaitu dengan nilai sebesar 0,059028. Program diatur agar iterasi berhenti ketika  $MSE = 0$  atau iterasi sudah mencapai iterasi epoch ke-1000. Sehingga ketika iterasi berhenti maka output hasil pembelajaran akan ditampilkan. Iterasi juga akan berhenti ketika epoch sudah mencapai ke-1000 meskipun goal training belum mencapai 0. MSE merupakan error jaringan dimana error di setiap neuron dirata-ratakan. Error pada setiap neuron selalu diperbaiki di setiap iterasinya. Apabila error yang baru lebih kecil maka error neuron yang lama akan diganti, namun apabila error neuron yang baru lebih besar maka error yang lama akan tetap dipertahankan.



**Gambar 4. 51** 2620 data training transformator 100 kVA dan 200 kVA

Dari gambar grafik hasil training data yang dapat dilihat pada gambar 4.51 menunjukkan bahwa hasil data pembelajaran dengan data aktual memiliki selisih yang sangat kecil, dimana data hasil pembelajaran mampu mengikuti data yang ditargetkan dengan baik. Dengan jumlah data training sebanyak 2620 data, BPNN mampu mengetahui karakteristik data yang telah dilatih dengan baik. Dengan mengatur MSE sebesar 0, data peramalan mampu mendekati data yang ditargetkan pada sebelumnya. Parameter yang digunakan untuk membuat estimasi suhu top-oil sama dengan pada estimasi sebelumnya. Dapat disimpulkan bahwa estimasi suhu top-oil dari transformator dapat dimodelkan dengan tepat menggunakan metode Backpropagation Neural Network dengan parameter arus tiap fasa (R S T), pembebanan, dan *unbalanced load* disertai pengaturan spesifikasi Neural Network yang telah diatur diatas.

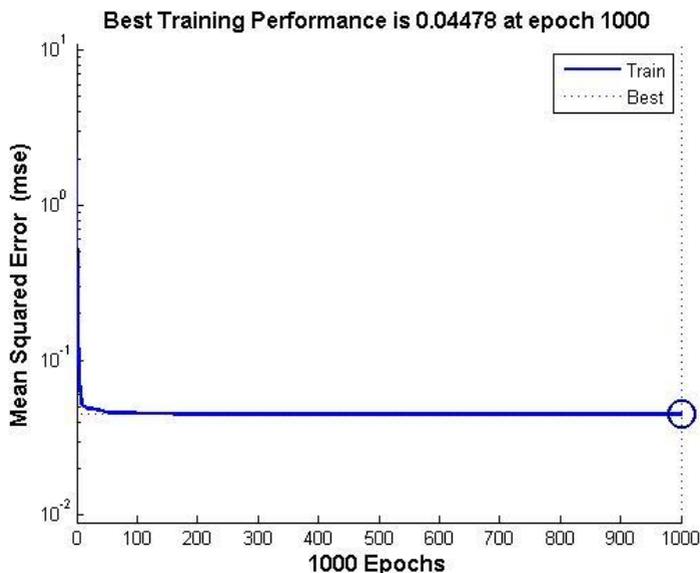


**Gambar 4. 52** 1274 data testing transformator dengan kapasitas 100 kVA dan 200 kVA

Berdasarkan gambar 4.52 dari hasil testing 1274 data transformator 100 kVA dan 200 kVA dapat dilihat bahwa apabila dibandingkan antara grafik data suhu aktual dengan data suhu forecasting menunjukkan selisih yang sangat kecil. Nilai suhu *top-oil* pada hasil peramalan dapat memperoleh nilai yang hampir sama dengan nilai suhu *top-oil* pada data aktual. *Mean Absolute Percent Error* (MAPE) dari hasil forecasting untuk estimasi pada kapasitas 100 kVA dan 200 kVA ini adalah sebesar 9.3%. Dengan demikian tingkat kebenaran hasil prediksi sebesar 90,7%. Besarnya error tersebut masih dibawah 10%. Maka dapat disimpulkan bahwa parameter input yang digunakan, yaitu arus tiap fas (R S T), pembebanan, dan *unbalanced load* dapat digunakan untuk memodelkan suhu *top-oil* dari transformator dengan kapasitas yang berbeda, yaitu kapasitas 100 kVA dan 200 kVA.

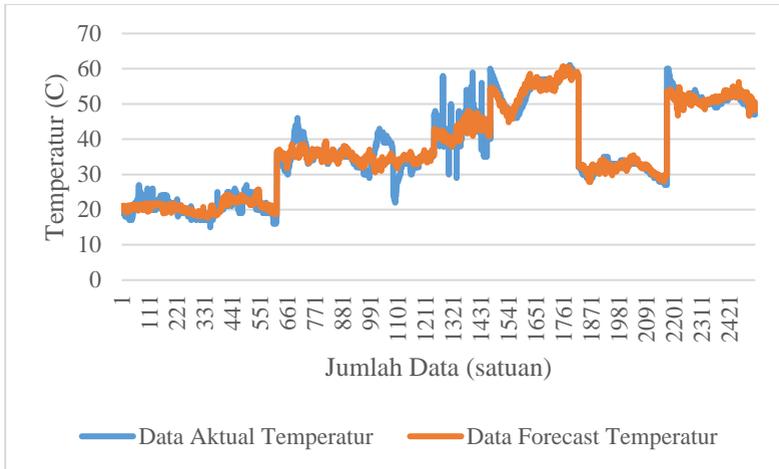
#### **4.4.6 Estimasi Suhu *Top-Oil* Transformator dengan Kapasitas 160 kVA dan 200 kVA**

Pada estimasi suhu *top-oil* transformator dengan kapasitas 160 kVA dan 200 kVA digunakan 8 buah transformator. 4 buah transformator dengan kapasitas 160 kVA dan 4 buah transformator dengan kapasitas 200 kVA. 6 buah untuk digunakan sebagai data training yang terdiri dari 3 buah transformator dengan kapasitas 160 kVA dan 200 kVA. Sedangkan 2 buah sisanya yang terdiri dari kapasitas 160 kVA dan 200 kVA untuk digunakan sebagai data testing atau yang akan diprediksi. Transformator yang akan ditraining untuk kapasitas 100 kVA adalah transformator M.295, M.199, dan M.391, sedangkan untuk kapasitas 200 kVA adalah M.040, M.057, dan M.049-1. Sedangkan untuk transformator yang akan ditesting adalah transformator M.406 dan M.FRSM.



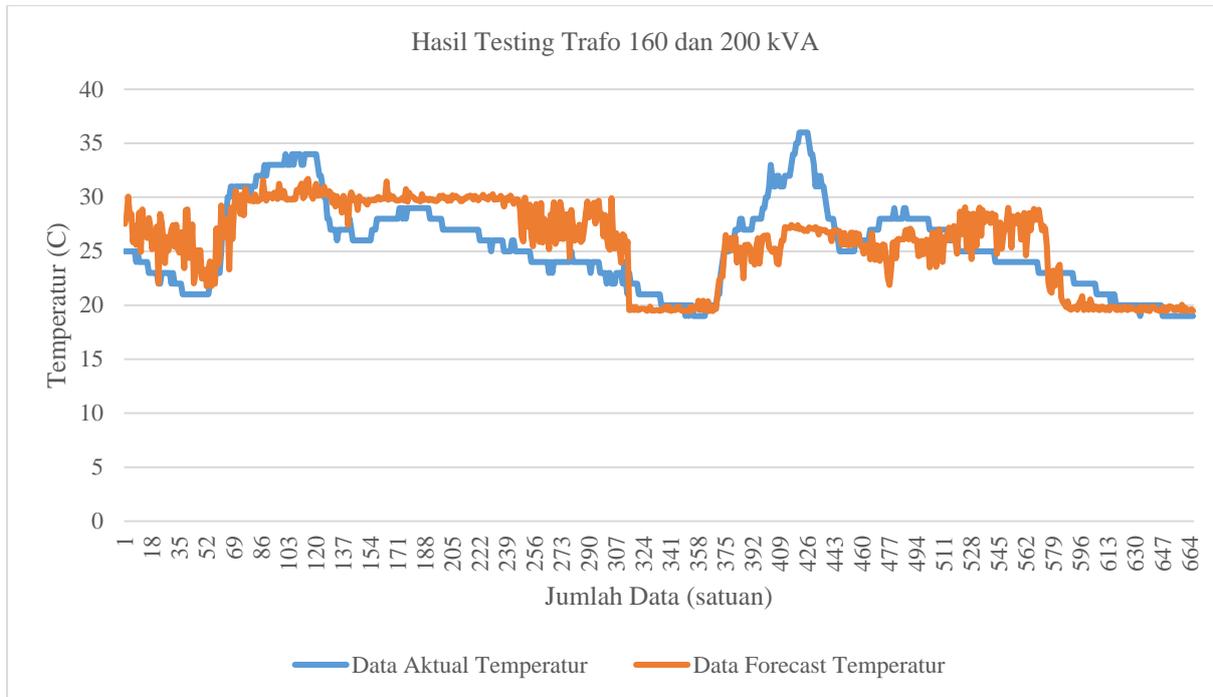
**Gambar 4. 53** Proses training BPNN pada kapasitas 160 kVA dan 200 kVA

Gambar 4.53 menunjukkan grafik performance proses training data transformator 160 kVA dan 200 kVA menggunakan BPNN. Berdasarkan gambar tersebut iterasi akan berhenti pada epoch ke-1000, karena maksimum epoch dari BPNN yaitu 1000 epoch sehingga fungsi kinerja *Mean Square Error* (MSE) akan berhenti pada iterasi sesaat sebelum iterasi 1000 yaitu dengan nilai sebesar 0,04478. Program diatur agar iterasi berhenti ketika  $MSE = 0$  atau iterasi sudah mencapai iterasi epoch ke-1000. Sehingga ketika iterasi berhenti maka output hasil pembelajaran akan ditampilkan. Iterasi juga akan berhenti ketika epoch sudah mencapai ke-1000 meskipun goal training belum mencapai 0. MSE merupakan error jaringan dimana error di setiap neuron dirata-ratakan. Error pada setiap neuron selalu diperbaiki di setiap iterasinya. Apabila error yang baru lebih kecil maka error neuron yang lama akan diganti, namun apabila error neuron yang baru lebih besar maka error yang lama akan tetap dipertahankan.



**Gambar 4. 54** 2524 data training transformator 160 kVA dan 200 kVA

Dari gambar grafik hasil training data yang dapat dilihat pada gambar 4.54 menunjukkan bahwa hasil data pembelajaran dengan data aktual memiliki selisih yang sangat kecil, dimana data hasil pembelajaran mampu mengikuti data yang ditargetkan dengan baik. Dengan jumlah data training sebanyak 2524 data, BPNN mampu mengetahui karakteristik data yang telah dilatih dengan baik. Dengan mengatur MSE sebesar 0, data peramalan mampu mendekati data yang ditargetkan pada sebelumnya. Parameter yang digunakan untuk membuat estimasi suhu top-oil sama dengan pada estimasi sebelumnya. Dapat disimpulkan bahwa estimasi suhu top-oil dari transformator dapat dimodelkan dengan tepat menggunakan metode Backpropagation Neural Network dengan parameter arus tiap fasa (R S T), pembebanan, dan *unbalanced load* disertai pengaturan spesifikasi Neural Network yang telah diatur diatas.

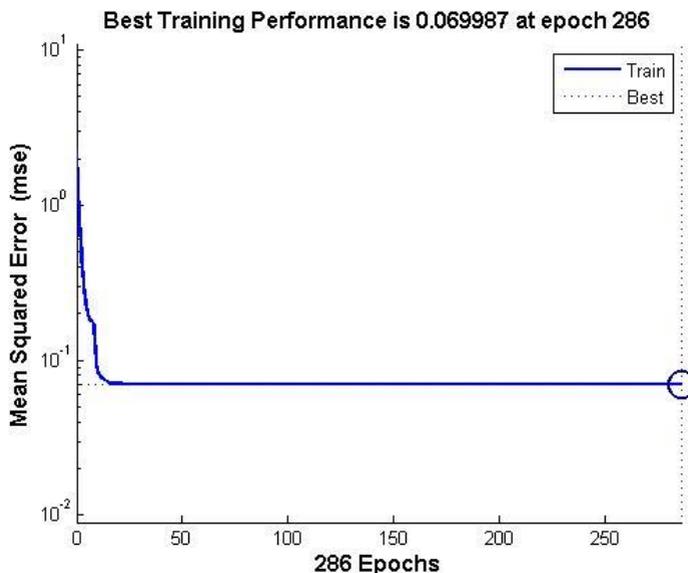


**Gambar 4. 55** 666 data testing transformator dengan kapasitas 160 kVA dan 200 kVA

Berdasarkan gambar 4.55 dari hasil testing 666 data transformator 160 kVA dan 200 kVA dapat dilihat bahwa apabila dibandingkan antara grafik data suhu aktual dengan data suhu forecasting menunjukkan selisih yang sangat kecil. Nilai suhu *top-oil* pada hasil peramalan dapat memperoleh nilai yang hampir sama dengan nilai suhu *top-oil* pada data aktual. *Mean Absolute Percent Error* (MAPE) dari hasil forecasting untuk estimasi pada kapasitas 160 kVA dan 200 kVA ini adalah sebesar 9.67%. Dengan demikian tingkat kebenaran hasil prediksi sebesar 90,33%. Besarnya error tersebut masih 10%. Maka dapat disimpulkan bahwa parameter input yang digunakan, yaitu arus tiap fasa (R S T), pembebanan, dan *unbalanced load* dapat digunakan untuk memodelkan suhu *top-oil* dari transformator dengan kapasitas yang berbeda, yaitu kapasitas 160 kVA dan 200 kVA.

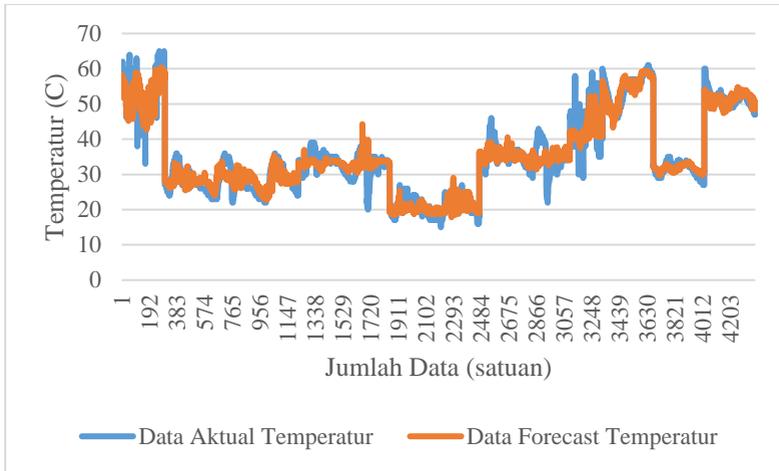
#### **4.4.7 Estimasi Suhu *Top-Oil* Transformator dengan Kapasitas 100 kVA, 160 kVA dan 200 kVA**

Pada estimasi yang ketujuh yaitu dengan menyatukan transformator 100 kVA, transformator 160 kVA dan transformator 200 kVA. Data ketiga transformator dengan kapasitas berbeda tersebut setelah disatukan kemudian dibagi menjadi 2 data, yaitu data training dan data testing. Untuk kapasitas 100 kVA digunakan 3 buah transformator yang ditraining yaitu M.190, M.071, dan M.218. Sedangkan untuk kapasitas 160 kVA digunakan 3 buah transformator untuk ditraining yaitu M.295, M.199, dan M.391. Dan untuk kapasitas 200 kVA digunakan 3 buah transformator yaitu M.040, M.049-1, dan M.057. Kemudian untuk data testingnya masing-masing kapasitas menggunakan 1 buah transformator, untuk kapasitas 100 kVA yang digunakan adalah M.180, sedangkan untuk kapasitas 160 kVA yang digunakan adalah M.406, dan yang terakhir untuk kapasitas 200 kVA yang digunakan adalah M.FRSM.



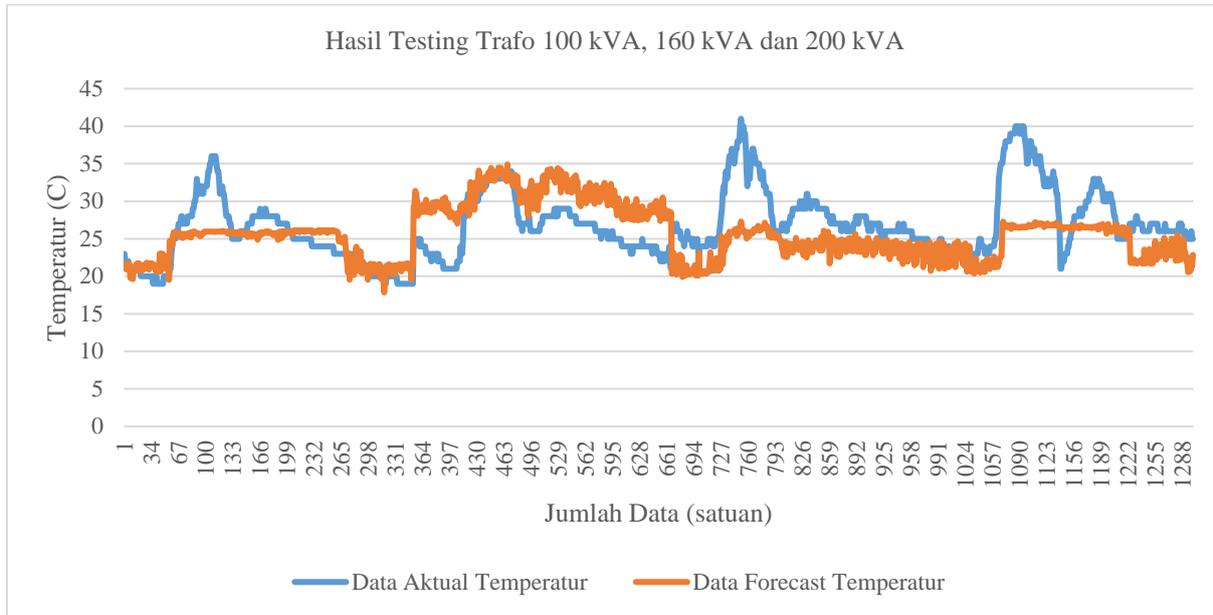
**Gambar 4. 56** Proses training BPNN pada kapasitas 100 kVA, 160 kVA, dan 200 kVA

Gambar 4.56 menunjukkan grafik performance proses training data transformator dengan kapasitas berbeda-beda. Untuk kapasitas yang digunakan antara lain adalah kapasitas 100 kVA, 160 kVA dan 200 kVA menggunakan BPNN. Berdasarkan gambar tersebut iterasi akan berhenti pada epoch ke-286, dengan nilai *Mean Square Error* (MSE) sebesar 0,069987. Program diatur agar iterasi berhenti ketika MSE = 0 atau iterasi sudah mencapai iterasi epoch ke-1000. Sehingga ketika iterasi berhenti maka output hasil pembelajaran akan ditampilkan. Iterasi juga akan berhenti ketika epoch sudah mencapai ke-1000 meskipun goal training belum mencapai 0. MSE merupakan error jaringan dimana error di setiap neuron dirata-ratakan. Error pada setiap neuron selalu diperbaiki di setiap iterasinya. Apabila error yang baru lebih kecil maka error neuron yang lama akan diganti, namun apabila error neuron yang baru lebih besar maka error yang lama akan tetap dipertahankan.



**Gambar 4. 57** 4375 data training transformator kapasitas 100 kVA, 160 kVA, dan 200 kVA.

Dari gambar grafik hasil training data yang dapat dilihat pada gambar 4.57 menunjukkan bahwa hasil data pembelajaran dengan data aktual memiliki selisih yang sangat kecil, dimana data hasil pembelajaran mampu mengikuti data yang ditargetkan dengan baik. Dengan jumlah data training sebanyak 4375 data, BPNN mampu mengetahui karakteristik data yang telah dilatih dengan baik. Dengan mengatur MSE sebesar 0, data peramalan mampu mendekati data yang ditargetkan pada sebelumnya. Parameter yang digunakan untuk membuat estimasi suhu top-oil sama dengan pada estimasi sebelumnya. Dapat disimpulkan bahwa estimasi suhu top-oil dari transformator dapat dimodelkan dengan tepat menggunakan metode Backpropagation Neural Network dengan parameter arus tiap fasa (R S T), pembebanan, dan *unbalanced load* disertai pengaturan spesifikasi Neural Network yang telah diatur diatas.



**Gambar 4.58** 1301 data testing transformator dengan kapasitas 100 kVA, 160 kVA, dan 200 kVA.

Berdasarkan gambar 4.58 dari hasil testing 1301 data transformator beda kapasitas dapat dilihat bahwa apabila dibandingkan antara grafik data suhu aktual dengan data suhu forecasting menunjukkan selisih yang kecil. Nilai suhu *top-oil* pada hasil peramalan dapat memperoleh nilai yang hampir sama dengan nilai suhu *top-oil* pada data aktual. *Mean Absolute Percent Error* (MAPE) dari hasil forecasting untuk estimasi pada kapasitas yang berbeda-beda ini adalah sebesar 13,23 %. Dengan demikian tingkat kebenaran hasil prediksi sebesar 86,77 %. Besarnya error tersebut diatas 10%. Maka dapat disimpulkan bahwa parameter input yang digunakan, yaitu arus tiap fasa (R S T), pembebanan, dan *unbalanced load* tidak cukup baik digunakan untuk memodelkan suhu *top-oil* dari transformator dengan kapasitas yang berbeda, diantaranya adalah kapasitas 100 kVA, 160 kVA, dan 200 kVA. Maka dari itu diperlukan parameter tambahan lainnya untuk memperoleh estimasi yang lebih bagus seperti parameter harmonisa, vibrasi maupun suhu lingkungan dan juga diperlukan *hybrid* metode untuk memperkecil error prediksi. Jika dibandingkan hasil estimasi antara estimasi pada kapasitas yang sama dengan estimasi pada kapasitas yang berbeda menunjukkan hasil yang lebih akurat pada estimasi dengan kapasitas yang sama. Hal ini dapat terjadi karena data pada estimasi kapasitas yang sama lebih mirip karakteristiknya dibandingkan dengan kapasitas yang berbeda, selain itu juga jenis trafo yang digunakan juga berbeda-beda, serta umur pemasangan transformator masing-masing kapasitas berbeda-beda pula, sehingga BPNN dapat mempelajari pola dan karakteristik data input-dan output dengan lebih baik pada kapasitas yang sama dibandingkan dengan pada kapasitas yang berbeda. Selain itu banyaknya jumlah data yang digunakan baik pada data training maupun testing juga mempengaruhi performa dari masing-masing estimasi. Berikut adalah perbandingan jumlah data training dan testing untuk kapasitas yang sama dan berbeda dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4.2 Perbandingan Jumlah Data Training dan Testing

No	Kapasitas	Jumlah Data Training	Jumlah Data Testing	MSE (%)
1	100 kVA	1855	631	8,9
2	160 kVA	1468	314	7,86
3	200 kVA	1853	629	3,64
4	100 kVA dan 160 kVA	3319	949	12,96
5	100 kVA dan 200 kVA	2620	1274	9,3
6	160 kVA dan 200 kVA	2524	666	9,67
7	100 kVA, 160 kVA, dan 200 kVA	4375	1301	13,23

Dapat dilihat pada tabel 4.2 hasil estimasi pada kapaitas yang sama memiliki nilai MAPE yang lebih kecil jika dibandingkan dengan hasil estimasi pada kapasitas yang berbeda. Hasil estimasi yang paling bagus yaitu pada kapasitas yang sama dengan kapasitas 200 kVA dengan nilai MAPE sebesar 3,64%. Dan hasil estimasi yang paling jelek yaitu pada kapasitas yang berbeda yaitu pada estimasi untuk kapasitas campuran antara 100 kVA, 160 kVA dan 200 kVA dengan nilai MAPE sebesar 13,23%. Pada estimasi dengan kapasitas yang sama terjadi perbedaan yang cukup signifikan antara estimasi kapasitas 200 kVA dengan estimasi kapasitas 100 kVA dan 160 kVA, dimana hasil estimasi kapasitas 200 kVA memiliki nilai MAPE yang lebih kecil dibandingkan dengan estimasi pada kapasitas 100 kVA dan 160 kVA. Hal ini disebabkan karena jenis transformator yang berbeda-beda, kualitas minyak yang digunakan juga berbeda, umur dari masing-masing transformator berbeda dan tipe pendinginan yang berbeda-beda pada setiap transformatornya. Sehingga menyebabkan hasil estimasinya juga berbeda.

Kemudian untuk estimasi pada kapasitas yang berbeda dipengaruhi oleh estimasi pada kapasitas yang sama. Estimasi pada 2 kapasitas berbeda yang terdapat trafo dengan kapasitas 200 kVA memiliki hasil yang lebih bagus dibandingkan jika tidak terdapat kapasitas 200 kVA. Dapat dilihat pada table bahwa estimasi pada kapasitas 100 kVA-

200 kVA, dan 160 kVA-200 kVA memiliki MAPE lebih kecil dibandingkan dengan estimasi pada kapasitas 100 kVA-160 kVA. Hal ini terjadi karena pengaruh hasil estimasi kapasitas 200 kVA sehingga hasil estimasi yang terdapat kapasitas 200 kVA-nya akan memiliki nilai MAPE yang lebih kecil atau dengan kata kata lain hasil estimasinya lebih bagus. Untuk memperbaiki estimasi pada 2 kapasitas berbeda ini dapat digunakan parameter tambahan seperti parameter harmonisa, vibrasi, dan juga suhu lingkungan.

Pada estimasi campuran 3 kapasitas berbeda yaitu antara 100 kVA, 160 kVA, dan 200 kVA memiliki nilai MAPE yang masih tinggi yaitu 13,23%. Nilai MAPE ini cukup besar sehingga pada estimasi 3 kapasitas berbeda ini tidak cukup hanya dengan menggunakan parameter arus, pembebanan, dan juga *unbalanced load*, sehingga diperlukan tambahan parameter input untuk memperbaiki estimasi ini, dan juga diperlukan *hybrid* metode antara BackPropagation dengan metode lainnya. Penyebab lainnya yang bisa mempengaruhi hasil estimasi yaitu tingkat kelinieran data, semakin tinggi tingkat kelinieran data, maka semakin sulit *neural network* untuk mengenali pola maupun karakteristik data. Banyaknya parameter input yang digunakan juga sangat berpengaruh pada hasil estimasi, semakin banyak parameter input yang digunakan, maka hasil estimasi akan semakin baik. Begitu pula sebaliknya, semakin sedikit parameter input yang digunakan, maka akan semakin jelek hasil estimasinya. Selain itu pemilihan data yang digunakan sebagai data training juga menentukan tingkat keberhasilan estimasi. Semakin banyak variasi data yang digunakan untuk training, maka semakin mudah juga neural network mempelajari berbagai macam kondisi, sehingga estimasinya akan semakin bagus. Untuk estimasi menggunakan parameter tambahan yaitu suhu lingkungan, didapatkan hasil lebih buruk dibandingkan dengan tidak melibatkan parameter suhu lingkungan. Hal ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor seperti metode ini tidak dapat mengestimasi suhu *top-oil* pada beban-beban puncak, faktor lain yaitu karena terdapat beberapa trafo yang nilai suhu lingkungannya memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan suhu *top-oil* trafo. Sehingga pembelajaran pola mengidentifikasi beberapa hal yang berbeda sehingga sulit untuk dilinierkan.

*----Halaman ini sengaja dikosongkan----*

## **BAB 5**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Setelah dilakukan proses studi literatur, pengolahan data dan estimasi transformator, maka didapat hasil yang dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Hasil prediksi suhu *top-oil* untuk kapasitas transformator 100 kVA memiliki nilai *Mean Absolut Percent Error* (MAPE) sebesar 8,9%. Untuk kapasitas 160 kVA memiliki nilai MAPE sebesar 7,86%. Untuk kapasitas 200 kVA memiliki nilai MAPE sebesar 3,64%. Untuk kapasitas 100 kVA dan 160 kVA memiliki nilai MAPE sebesar 12,96%. Untuk kapasitas 100 kVA dan 200 kVA memiliki nilai MAPE sebesar 9,3%. Untuk kapasitas 160 kVA dan 200 kVA memiliki nilai MAPE sebesar 9,67%. Dan untuk transformator dengan 3 kapasitas berbeda nilai MAPEnya adalah 13,23%
2. Untuk membuat estimasi suhu *top-oil* transformator pada kapasitas yang sama dapat digunakan parameter input arus, pembebanan dan *unbalanced load*.
3. Untuk membuat estimasi suhu *top-oil* di transformator yang berbeda kapasitas, maka diperlukan parameter tambahan lainnya seperti harmonisa, vibrasi maupun suhu lingkungan serta *hybrid* metode untuk memperoleh hasil yang lebih baik.

#### **5.2 Penelitian Selanjutnya**

Untuk mengembangkan penelitian yang berkaitan dengan topik sama, yaitu estimasi suhu minyak transformator maka saran untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Perlu parameter yang berbeda untuk mendapatkan pola estimasi yang lebih bagus dan akurat, seperti harmonik, vibrasi dan suhu lingkungan.
2. Menggunakan lebih banyak varian kapasitas transformator agar dapat dilakukan pembelajaran yang lebih banyak. Sehingga mampu memprediksi pada semua jenis transformator
3. Menggunakan metode prediksi yang berbeda untuk membandingkan keefektifan dalam melakukan prediksi suhu minyak transformator. Secara khusus *hybrid* metode backpropagation dengan yang lainnya

seperti metode *differential evolution* akan menghasilkan prediksi yang lebih akurat.

Untuk mengembangkan kelanjutan dari penelitian estimasi suhu minyak transformator yaitu *lifetime* transformator maka saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut:

1. Membuat estimasi suhu *top-oil*, *average-oil*, dan *bottom-oil* yang digunakan sebagai estimasi suhu hot spot.
2. Menggunakan transformator Gardu Induk atau transformator pembangkit agar parameter-parameter yang digunakan untuk menghitung suhu *hot-spot* lebih lengkap.
3. Menghitung susut umur dari transformator melalui perhitungan yang berdasarkan pada suhu *hot-spot* sehingga *lifetime* dari transformator dapat diketahui.
4. Pengintegrasian *software* dan *hardware* sehingga dapat melakukan pengolahan data dengan monitoring online untuk mendapatkan *lifetime* dari transformator.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Statistik PLN 20115, 31:621.3, Sekretariat Perusahaan PT PLN (Persero), 2015
- [2] SPLN, "Panduan Pemeliharaan Trafo Tenaga". PT. PLN (PERSERO) P3B, 2003.
- [3] SPLN 49-1:1992 Minyak Isolasi Bagian 1: Pedoman penerapan Spesifikasi dan pemeliharaan minyak isolasi, 1982.
- [4] Rigatos G, Siano P. Power transformers' condition monitoring using neural modeling and the local statistical approach to fault diagnosis. Elsevier Electrical Power and Energy Systems 80 (2016) 150–159
- [5] Jardini JA, Brittes JL, Magrini LC, Bini MA, Yasuoka J. Power transformer temperature evaluation for overloading conditions. IEEE Trans Power Deliv 2005;20(1):179–84.
- [6] Kusuma Dewi, Sri. "Membangun Jaringan Syaraf Tiruan, Matlab dan Excel Link." CV.GRAHA ILMU, 2004.
- [7] Amry, M. Rizqi Choirul., "Prediksi Suhu Minyak Transformator Distribusi (20 kV/220 V) dengan Metode Radial Basis Function Neural Network (RBFNN)", Jurnal Teknik Pomits Vol.1, No.1, (2016) 1-5.
- [8] Harlow, James H., "Electric Power Transformer Engineering", CRC Press LLC, 2004.

***----Halaman ini sengaja dikosongkan----***

## BIOGRAFI PENULIS

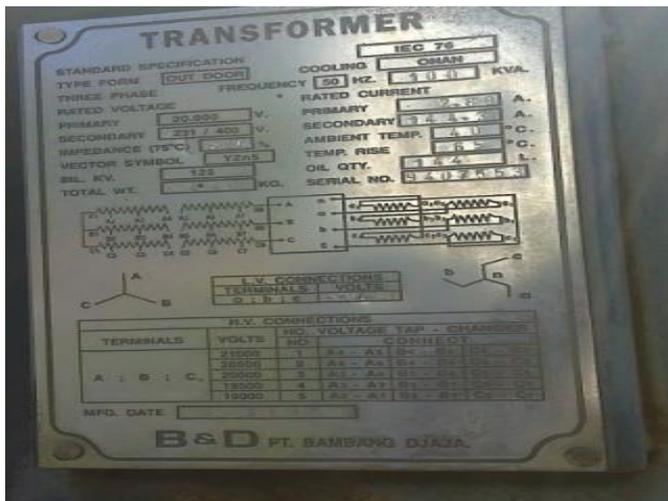


Ahmad Ali Ma'shum atau biasa dikenal dengan Ma'shum. Putra Kedua dari ketiga bersaudara ini lahir di Kelurahan Sukoharjo, Kecamatan Kanigaran, Kota Probolinggo pada tanggal 2 Oktober 1994. Mengawali pendidikannya di TK Tunas Bhakti Kota Probolinggo, SDN Sukoharjo 1 Kota Probolinggo, SMPN 1 Kota Probolinggo hingga tingkat atas di SMAN 1 Kota Probolinggo. Pada tahun 2013, mulai berhijrah untuk melanjutkan pendidikan di perguruan tinggi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, tepatnya di Jurusan Teknik Elektro.

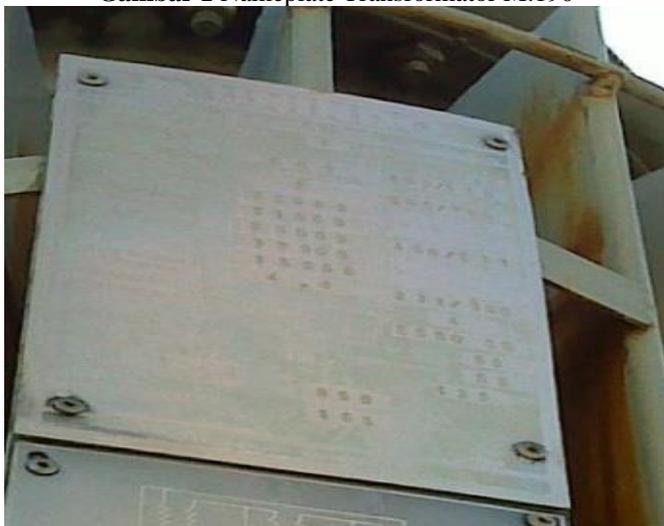
Dia menempuh bidang Teknik Sistem Tenaga dan menjadi Asisten Laboratorium di Laboratorium Instrumentasi, Pengukuran dan Identifikasi Sistem Tenaga (LIPIST). Motto hidupnya adalah “Hadapi Tantangan”

*---Halaman ini sengaja dikosongkan---*

## LAMPIRAN



**Gambar 1** Nameplate Transformator M.190



**Gambar 2** Nameplate Transformator M.071



**Gambar 3** Nameplate Transformator M.218



**Gambar 4** Nameplate Transformator M.295





**Gambar 7** Nameplate Transformator M.406



**Gambar 8** Nameplate Transformator M.040



Gambar 9 Nameplate Transformator M.049-1



Gambar 10 Nameplate Transformator M.057



**Gambar 11** Nameplate Transformator M.FRSM



**Gambar 12** Nameplate Transformator M.180