



**ANALISIS KONDISI TRANSFORMATOR DAYA DENGAN METODE  
DGA (*DISSOLVED GAS ANALYSIS*) MENGGUNAKAN *ARTIFICIAL  
NEURAL NETWORK* BERBASIS STANDAR IEC PADA PT.PLN  
TRANSMISI JAWA BAGIAN TIMUR DAN BALI**

**SKRIPSI**

Oleh

**Dedi Roli Sukarman  
NIM 131910201070**

**PROGRAM STUDI STRATA SATU (S1)  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2018**



**ANALISIS KONDISI TRANSFORMATOR DAYA DENGAN METODE  
DGA (*DISSOLVED GAS ANALYSIS*) MENGGUNAKAN *ARTIFICIAL  
NEURAL NETWORK* BERBASIS STANDAR IEC PADA PT.PLN  
TRANSMISI JAWA BAGIAN TIMUR DAN BALI**

**SKRIPSI**

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi syarat-syarat  
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Elektro (S1)  
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh

**Dedi Roli Sukarman  
NIM 131910201070**

**PROGRAM STUDI STRATA SATU (S1)  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2018**

## PERSEMBAHAN

Dengan penuh rasa syukur saya ucapkan kepada Allah SWT atas segala karunia-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Skripsi ini merupakan langkah awal untuk menuju kesuksesan yang lebih baik lagi, karenanya dengan segala kerendahan hati kupersembahkan skripsi ini kepada:

1. Allah SWT yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang.
2. Nabi besar Muhammad SAW, yang menjadi suri tauladan bagi seluruh umat.
3. Kedua orang tuaku, Bapak Saelan dan Ibu Suratemi yang tiada henti-hentinya mengirimkan doa, memberikan dukungan baik moril maupun materiil dan senantiasa mencurahkan kasih sayang luar biasa kepadaku.
4. Kakakku Sugeng Pramono, S.Pd. terima kasih atas segala dukungan, semangat dan doa selama ini.
5. Dosen Pembimbing Utama Bapak Ir. Widyono Hadi, M.T., dan Dosen Pembimbing Anggota Bapak Dr. Triwahju Hardianto, S.T., M.T., yang bersedia meluangkan waktu dan pikirannya dalam membimbing dan memberikan motivasi.
6. Semua guru dari TK, SD, SMP, SMA serta seluruh dosen jurusan Teknik Elektro yang telah berbagi ilmu yang sangat bermanfaat.
7. Almamater Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

## MOTTO

“Barang siapa bersungguh-sungguh, sesungguhnya kesungguhannya itu  
adalah untuk dirinya sendiri”.

(Terjemahan QS. *Al – Ankabut* ayat 6)<sup>1</sup>

Jangan pernah takut untuk mencoba. Bila kita takut akan kegagalan, berarti kita  
telah membatasi kemampuan kita.

(Hitam Putih)

Tujuan pendidikan itu untuk mempertajam kecerdasan, memperkuat kemauan  
serta memperhalus perasaan.

(Tan Malaka)

---

<sup>1</sup> Departemen Agama Republik Indonesia. 1992. *Al Qur'an dan Terjemahannya*. Semarang : PT. Tanjung Mas Inti Semarang

**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Dedi Roli Sukarman

NIM : 131910201070

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Analisis Kondisi Transformator Daya dengan Metode DGA (*Dissolved Gas Analysis*) Menggunakan *Artificial Neural Network* Berbasis Standar IEC pada PT.PLN Transmisi Jawa Bagian Timur dan Bali” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 31 Agustus 2018

Yang menyatakan,

Dedi Roli Sukarman

NIM 131910201070

**SKRIPSI**

**ANALISIS KONDISI TRANSFORMATOR DAYA DENGAN METODE  
DGA (*DISSOLVED GAS ANALYSIS*) MENGGUNAKAN *ARTIFICIAL  
NEURAL NETWORK* BERBASIS STANDAR IEC PADA PT.PLN  
TRANSMISI JAWA BAGIAN TIMUR DAN BALI**

Oleh

Dedi Roli Sukarman

NIM 131910201070

Pembimbing :

Dosen Pembimbing Utama : Ir. Widyono Hadi, M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Dr. Triwahju Hardianto, S.T., M.T.

**PENGESAHAN**

Skripsi berjudul “Analisis Kondisi Transformator Daya dengan Metode DGA (*Dissolved Gas Analysis*) Menggunakan *Artificial Neural Network* Berbasis Standar IEC pada PT.PLN Transmisi Jawa Bagian Timur dan Bali” karya Dedi Roli Sukarman telah diuji dan disahkan pada :

hari, tanggal : Jumat, 31 Agustus 2018

tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim penguji:

Ketua,

Anggota I,

Ir. Widyono Hadi, M.T.  
NIP 196104141989021001

Dr. Triwahju Hardianto, S.T., M.T.  
NIP 197008261997021001

Anggota II,

Anggota III,

Suprihadi Prasetyono, S.T., M.T.  
NIP 197004041996011001

Khairul Anam, S.T., M.T., Ph.D.  
NIP 197804052005011002

Mengesahkan  
Dekan,

Dr. Ir. Entin Hidayah, M.UM.  
NIP 19661215 199503 2 001

## RINGKASAN

**Analisis Kondisi Transformator Daya dengan Metode DGA (*Dissolved Gas Analysis*) Menggunakan *Artificial Neural Network* Berbasis Standar IEC pada PT.PLN Transmisi Jawa Bagian Timur dan Bali;** Dedi Roli Sukarman, 131910201070; 2018; 123 halaman; Program Studi Strata 1 (S1) Teknik, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Jember.

Transformator merupakan komponen utama dalam sistem tenaga listrik yang berfungsi sebagai pengubah level tegangan. Pada umumnya transformator diharuskan bekerja secara terus-menerus agar proses penyaluran energi listrik tetap berjalan lancar. Karena perannya yang vital, untuk menjaga keandalan transformator perlu dilakukan suatu pengujian untuk mengetahui kondisi transformator secara dini.

Metode pengujian yang dapat dilakukan untuk mengetahui kondisi transformator adalah pengujian minyak transformator dengan metode DGA. Dalam metode DGA terdapat berbagai macam metode interpretasi data untuk mengidentifikasi kondisi transformator secara dini, salah satunya yaitu menggunakan Standar IEC 60599. Metode IEC merupakan metode yang efektif untuk mendeteksi kondisi transformator. Cara kerja metode ini yaitu dengan membandingkan konsentrasi zat terlarut, kemudian hasilnya direpresentasikan kedalam sembilan macam kondisi. Akan tetapi metode ini memiliki kelemahan yaitu lama waktu dalam proses analisis. Oleh karena itu untuk mengatasi kekurangan tersebut maka pada penelitian ini digunakan metode *Artificial Neural Network* (ANN) dengan rasio perbandingan gas sebagai inputnya dan kondisi transformator sebagai targetnya.

Berdasarkan uraian tersebut maka dalam penelitian ini dirancang sebuah penelitian yang berjudul “Analisis Kondisi Transformator Daya dengan Metode DGA (*Dissolved Gas Analysis*) Menggunakan *Artificial Neural Network* Berbasis Standar IEC pada PT.PLN Transmisi Jawa Bagian Timur dan Bali”. Penggunaan metode *neural network* pada penelitian ini diharapkan mampu meningkatkan



akurasi dan mempercepat proses dalam analisis kondisi transformator. Sehingga dalam pelaksanaannya mampu menjadi salah satu cara yang efektif dan cepat guna untuk mengidentifikasi kondisi transformator.

Proses *training* algoritma *neural network* menggunakan 100 data untuk setiap kondisi berdasarkan standar IEC. Konfigurasi arsitektur jaringan yang paling baik yaitu konfigurasi dengan 3 neuron pada *input layer*, 20 neuron pada *hidden layer* pertama, 10 neuron pada *hidden layer* kedua dan 4 neuron pada *output layer* dengan fungsi transfer *logsig*, *tansig* dan *purelin*. Hasil *training* tersebut memberikan nilai regression sebesar 0,9998 dan MSE (*Mean Square Error*) sebesar 0,0008. Kekurangan dari model *neural network* adalah ketidakmampuan untuk membedakan konsentrasi minyak yang memiliki konsentrasi zat terlarut rendah dan tinggi, selain itu karena metode IEC ini menggunakan perbandingan Rasio untuk menentukan kondisi transformator maka metode IEC atau *neural network* biasa susah mengidentifikasi hasil Rasio yang memiliki nilai NaN dan *infinity* (hasil pembagian dengan bilangan penyebut 0). Oleh karena itu penambahan fungsi IEEE digunakan untuk menambah sensitifitas sistem dalam membaca kondisi normal pada sistem *neural network*.

Pengujian *neural network* dilakukan sebanyak 351 data yang diperoleh dari PT. PLN Transmisi Jawa Bagian Timur dan Bali. Pengujian pertama dilakukan untuk mengetahui jumlah kondisi transformator yang dapat didiagnosis oleh masing-masing metode. Dari pengujian tersebut diperoleh hasil bahwa metode IEC mampu mendiagnosis 131 data, metode *neural network* biasa mampu mendiagnosis 282 data dan metode *neural network* dengan fungsi tambahan IEEE C57.108-2008 mampu mendiagnosis 314 data. Pengujian yang kedua dilakukan untuk mengetahui akurasi dari metode NN dan NN+. Perbandingan nilai akurasi dari kedua metode tersebut mengacu pada standar IEC 60599, sehingga data yang digunakan berdasarkan data yang terdeteksi oleh metode IEC yaitu sebanyak 131 data. Dari pengujian data tersebut diperoleh nilai akurasi untuk model *neural network* sebesar 92,37 %, sedangkan untuk model *neural network* dengan fungsi tambahan IEEE diperoleh akurasi sebesar 94,66 %. Sehingga penambahan fungsi IEEE C57.108-2008 pada sistem mampu memperbaiki hasil dari metode *neural network* biasa.

## SUMMARY

**Analysis of Power Transformer Condition with DGA Method (Dissolved Gas Analysis) using IEC Standard Based on Artificial Neural Network at PT. PLN Transmisi Jawa Bagian Timur dan Bali;** Dedi Roli Sukarman, 131910201070; 2018; 123 pages; Program of Study (S1) of Engineering, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering University of Jember.

The Transformer is a major component in electric power system which serve as a voltage converter. In general, the transformer is required to work continuously in order to keep the process of distribution of electrical energy running smoothly. Because of the vital role, to maintain reliability transformer needs to do a test to determine the condition transformer of incipient fault.

Testing method that can be done to determine the condition transformer is a transformer oil testing by the method of DGA. at DGA method there are various methods of data interpretation for identify conditions early transformer, one of which is using Standard IEC 60599. IEC method is an effective method to detecting condition of the transformer. This method works by comparing the concentration of solute, then the results are represented into nine kinds of conditions. However, this method has the disadvantage that it takes a long time in the analysis process. Therefore, to overcome these shortcomings, this research used methods artificial Neural network (ANN) with a ratio of gas as input and conditions transformer as a target.

Based on the description, in this study designed a study entitled "Analysis of Power Transformer Condition Method DGA (Dissolved Gas Analysis) Use Artificial Neural Network based IEC standard on PT.PLN Transmisi Jawa Bagian Timur dan Bali ". The use of neural network method in this study is expected to increase accuracy and speed up the process in the analysis of the condition of the transformer. so that in practice able to become one of the effective and quick way to to identify the condition of the transformer.

The training process of neural network algorithm using 100 data points for each condition based on the IEC standards. The best network architecture Configuration is configured with 3 neurons in the input layer, 20 neurons in the first hidden layers, 10 neurons in the second hidden layer and 4 neurons in the output layer with transfer function using logsig, tansig and purelin. The training results provide regression value of 0.9998 and the MSE (Mean Square Error) is 0.0008. Shortage of models of neural networks is the inability to distinguish between concentrations of oil that have solute concentration of low and high, and also because the method IEC uses a comparison of ratios to determine the condition of the transformer, then the method IEC or network in plain difficult to identify the results ratio has a value of NaN and infinity (denominator of the division with the number 0). Therefore, the addition of IEEE functions used to increase the sensitivity of the system under normal conditions on the system reads the neural network.

Neural network data testing done as much as 351 data obtained from PT. PLN Transmisi Jawa Bagian Timur dan Bali. The first test was conducted to determine the number of transformer condition that can be diagnosed by each method. From these tests showed that the IEC method is able to diagnose 131 data, the neural network method capable of diagnosing as many as 282 data and methods of neural network with additional functions IEEE C57.108-2008 able to diagnose as many as 314 data. The second testing was conducted to determine the accuracy of the NN method and NN+ method. Comparison of the accuracy values of the two methods are based on IEC 60599 standards, so that the data used is based on the data detected by the IEC method as many as 131 data. From the testing data obtained accuracy values for the neural network models amounted to 92.37%, while for neural network models with additional IEEE functions, accuracy is obtained 94.66%. So the addition of IEEE C57.108-2008 functions on the system can improve the results of the neural network method.

## PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi berjudul ” Analisis Kondisi Transformator Daya dengan Metode DGA (*Dissolved Gas Analysis*) Menggunakan *Artificial Neural Network* Berbasis Standar IEC pada PT.PLN Transmisi Jawa Bagian Timur dan Bali”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan beberapa pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua saya Bapak Saelan dan Ibu Suratemi yang tiada henti-hentinya mengirimkan doa, memberikan dukungan baik moril maupun materiil dan kasih sayang yang tak terkira kepadaku.
2. Ibu Dr. Ir. Entin Hidayah, M.U.M. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember.
3. Bapak Dr. Ir. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Jember.
4. Bapak HRB. Moch. Ghozali, S.T., M.T. selaku Ketua Prodi S1 Jurusan Teknik Elektro Universitas Jember.
5. Bapak Ir. Widnyono Hadi, M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama dan Bapak Dr. Triwahju Hardiantom S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu dan pikiran guna memberikan bimbingan dan pengarahan dalam penyusunan proyek akhir ini.
6. Bapak Suprihadi Prasetyono, S.T., M.T. selaku Penguji 1 dan Bapak Dr. Khairul Anam, S.T., M.T., Ph.D. selaku Penguji 2 yang telah memberikan saran dan arahan kepada penulis.
7. Seluruh Dosen yang ada di Fakultas Teknik khususnya Teknik Elektro beserta karyawan.
8. Pihak PT. PLN Distribusi Jawa Timur Area Jember yang membantu dalam pengambilan data dan membantu memberikan materi.

9. Kakakku Sugeng Pramono, S.Pd. yang selalu memberikan semangat dan dukungan kepadaku.
10. Adinda Melinda Putri Pertiwi beserta keluarga yang selalu memberi dukungan dan motivasi hingga saat ini.
11. Cries Avian, S.T., Cholid, Ghofur dan Fian yang bersedia bertukar pikiran dan berdiskusi untuk membantu penulis dalam memecahkan persoalan materi skripsi.
12. Keluarga besar Teknik Elektro khususnya angkatan 2013 (INTEL UJ), terima kasih atas dukungan dan motivasi yang kalian berikan.
13. Sahabat KEMENGLICIOUS, ria, bima, dewi novi, ellyana, chisco, dharna dan dewi riyandani yang selalu mendukung layaknya sebuah keluarga.
14. Semua pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu, terima kasih atas dukungan dan motivasi kalian dalam penyusunan proyek akhir ini.

Semoga skripsi ini dapat memberikan informasi dan manfaat dalam mengembangkan ilmu pengetahuan khususnya untuk disiplin ilmu teknik elektro. Kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan untuk dapat menyempurnakan skripsi ini.

Jember, 31 Agustus 2018

Penulis

**DAFTAR ISI**

	Halaman
<b>HALAMAN SAMPUL</b> .....	<b>i</b>
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	<b>iii</b>
<b>HALAMAN MOTTO</b> .....	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	<b>v</b>
<b>HALAMAN PEMBIMBING</b> .....	<b>vi</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	<b>vii</b>
<b>RINGKASAN</b> .....	<b>vii</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>x</b>
<b>PRAKATA</b> .....	<b>xii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xix</b>
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Batasan Masalah .....	4
1.4 Tujuan .....	4
1.5 Manfaat .....	4
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>5</b>
2.1 Transformator .....	5
2.2 Minyak Transformator .....	9
2.2.1 Syarat – Syarat Minyak Transformator .....	9
2.2.2 Sifat – Sifat Material Bahan Isolasi Cair .....	9
2.3 Kegagalan Isolasi Transformator .....	12
2.4 DGA ( <i>Dissolved Gas Analysis</i> ) .....	14
2.5 Metode DGA <i>Key Gas</i> .....	16
2.6 Metode DGA TDCG ( <i>Total Dissolved Combustible Gases</i> ).....	18
2.6.1 Metode Uji Kromatografi Gas.....	19

2.6.2 Pengaruh Kandungan Gas Terhadap Kinerja Transformator .....	20
2.7 Metode Gas Rasio IEC.....	21
2.8 ANN ( <i>Artificial Neural Network</i> ) .....	24
2.8.1 Komponen <i>Artificial Neural Network</i> .....	25
2.8.2 Sejarah <i>Neural Network</i> .....	26
2.8.3 Arsitektur Jaringan .....	27
2.8.4 Fungsi Transfer .....	29
2.8.5 Aplikasi <i>Neural Network</i> .....	30
<b>BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>31</b>
3.1 Jenis Penelitian.....	31
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian .....	31
3.2.1 Tempat Penelitian.....	31
3.2.2 Waktu Pelaksanaan .....	32
3.3 Alat dan Bahan.....	32
3.3.1 Alat .....	32
3.3.2 Bahan.....	32
3.4 Tahapan Penelitian.....	33
3.5 Diagram Alir Penelitian .....	34
3.5.1 <i>Flowchart</i> Penelitian Awal.....	34
3.5.2 <i>Flowchart</i> Penelitian DGA menggunakan ANN .....	35
3.6 Standar IEC 60599 .....	37
3.7 TDCG (Std. IEEE C57.104-2008) .....	38
3.8 <i>Flowchart</i> Perancangan Sistem.....	39
3.8.1 Penerapan standar IEEE C57.104-2008 pada Sistem.....	40
3.8.2 Implementasi ANN ( <i>Artificial Neural Network</i> ) untuk DGA.....	40
3.9 Rancangan Model <i>Neural Network</i> .....	44
3.10 Data Pelatihan <i>Neural Network</i> .....	47
<b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>50</b>
4.1 Analisis Kondisi Transformator menggunakan Metode DGA ( <i>Dissolved Gas Analysis</i> ) Standar IEC 60599.....	50
4.2 Konfigurasi Sistem Algoritma <i>Neural Network</i> untuk Menentukan Kondisi Transformator.....	55
4.2.1 Set Data <i>Training Neural Network</i> .....	55

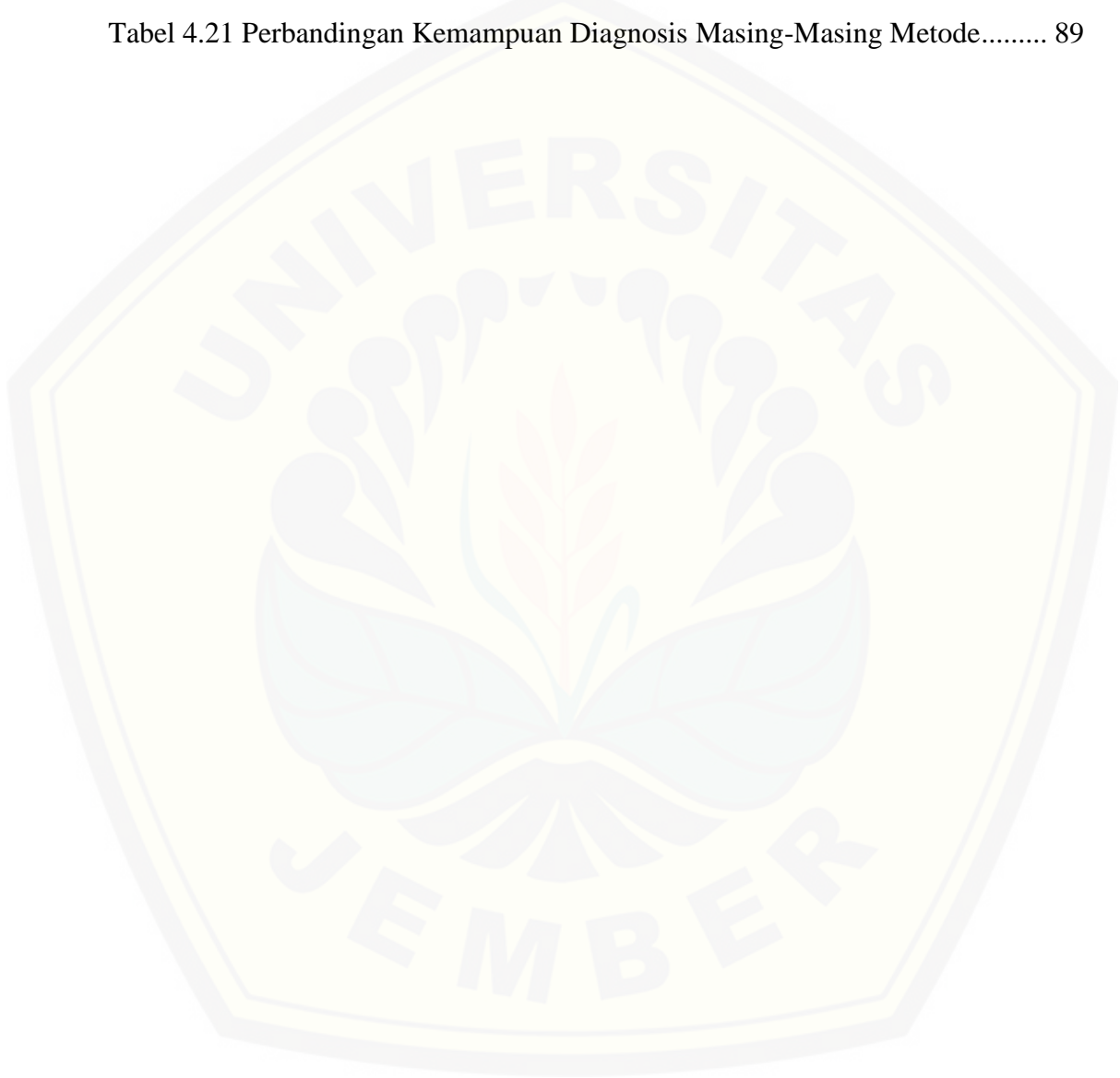
4.2.2 Proses <i>Training Data</i> .....	57
4.2.3 Hasil <i>Training Data</i> .....	63
4.3 Analisis Hasil <i>Neural Network</i> dalam Menentukan Kondisi Transformator .....	78
4.3.1 Pengujian dengan <i>Simulink Neural Network</i> .....	78
4.3.2 Analisis Hasil <i>Simulink Neural Network</i> .....	79
4.3.3 Penerapan Standar IEEE C57.108-2008 pada <i>Simulink Neural Network</i> .....	82
4.3.4 Analisis Hasil <i>Simulink Neural Network</i> dengan penambahan standar IEEE .....	86
4.4 Perbandingan Hasil Berdasarkan Standar IEC 60599.....	88
<b>BAB 5. PENUTUP</b> .....	<b>92</b>
5.1 Kesimpulan .....	92
5.2 Saran .....	92
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	<b>93</b>
<b>LAMPIRAN</b> .....	<b>95</b>



**DAFTAR TABEL**

	Halaman
Tabel 2.1 Batas Konsentrasi Tiap Key gas dan TDCG.....	18
Tabel 2.2 Kondisi Transformator Berdasarkan Standart IEEE C57.104-2008.....	19
Tabel 2.3 Jenis Gas Yang Terlarut Dalam Minyak Transformator.....	20
Tabel 2.4 Aturan Kode Untuk Metode IEC .....	23
Tabel 2.5 Klasifikasi Kegagalan dengan Metode IEC 60599 .....	23
Tabel 3.1 Jadwal Kegiatan Penelitian .....	32
Tabel 3.2 Kode IEC.....	37
Tabel 3.3 Kode Gangguan pada Transformator berdasarkan Standar IEC .....	37
Tabel 3.4 Batas Konsentrasi Gas Individual IEEE Std. C57.104-2008.....	38
Tabel 3.5 Inisialisasi <i>Output</i> DGA pada <i>Neural Network</i> .....	41
Tabel 3.6 Nilai <i>Input</i> dan <i>Output</i> .....	41
Tabel 3.7 Arsitektur jaringan <i>neural network</i> .....	47
Tabel 3.8 Pola data pelatihan <i>neural network</i> .....	48
Tabel 4.1 Sampel Data DGA .....	50
Tabel 4.2 Kode IEC.....	51
Tabel 4.3 Kode Gangguan pada Transformator berdasarkan standar IEC.....	52
Tabel 4.4 Nilai Rasio Pada Gardu Induk .....	53
Tabel 4.5 Kondisi Transformator dengan Analisis DGA.....	54
Tabel 4.6 Jenis <i>Fault</i> Berdasarkan Standar IEC 60599 .....	56
Tabel 4.7 Perbandingan Hasil Eksperimen dengan fungsi transfer <i>logsig</i> .....	58
Tabel 4.8 Perbandingan Hasil Eksperimen dengan fungsi transfer <i>tansig</i> .....	59
Tabel 4.9 Perbandingan Hasil Eksperimen dengan fungsi transfer <i>purelin</i> .....	59
Tabel 4.10 Hasil Eksperimen dengan 2 <i>Hidden Layer</i> .....	60
Tabel 4.11 Parameter <i>Training Data Neural Network</i> .....	62
Tabel 4.12 Parameter <i>Weight</i> dan Bias pada <i>Hidden Layer 1</i> .....	72
Tabel 4.13 Parameter <i>Weight</i> dan Bias pada <i>Hidden Layer 1</i> .....	73
Tabel 4.14 Parameter <i>Weight</i> dan <i>Bias</i> pada <i>Output Layer</i> .....	74
Tabel 4.15 Total <i>Net</i> dan <i>Output Neuron</i> pada <i>Hidden Layer</i> pertama .....	75

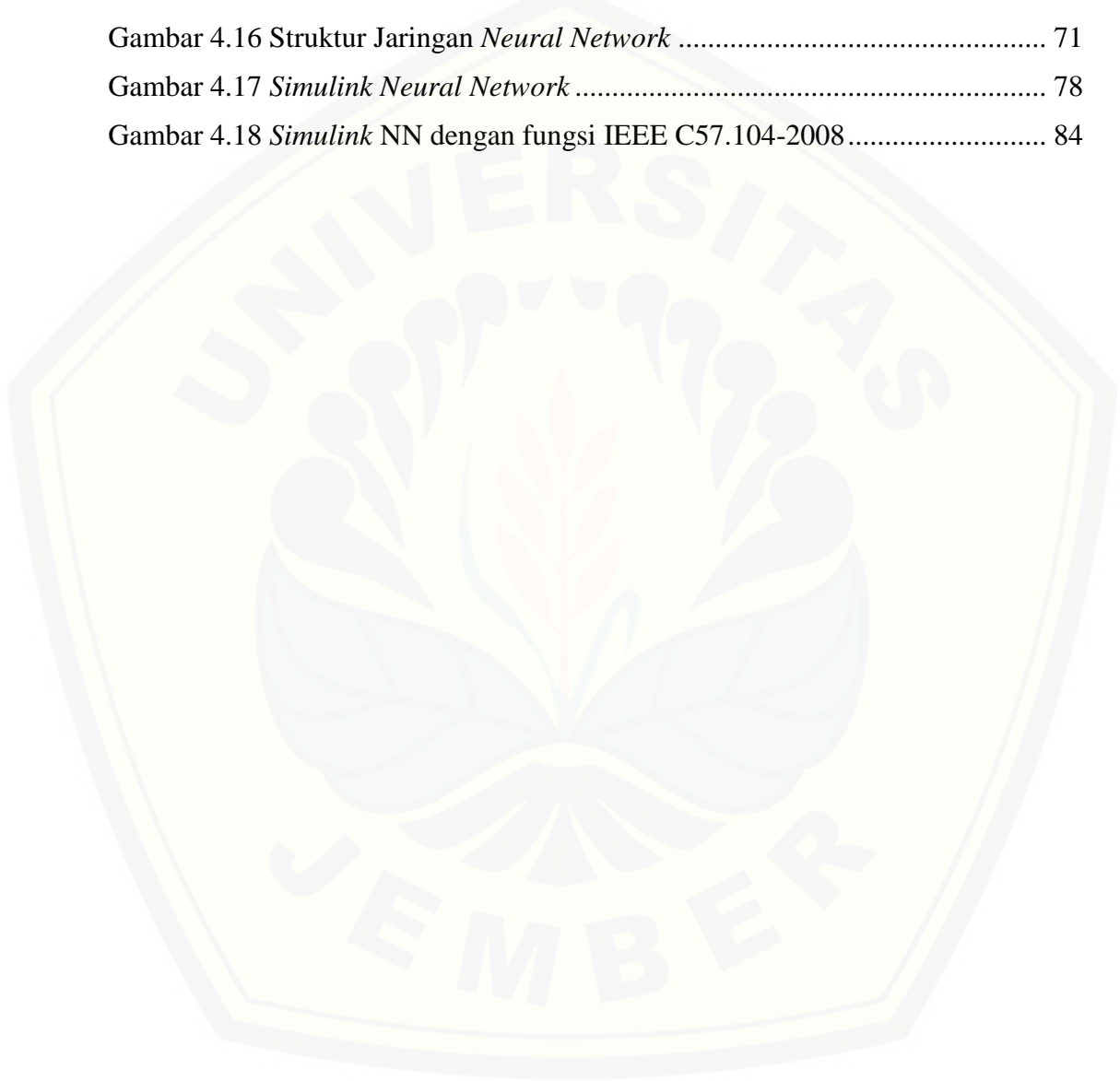
Tabel 4.16 Total <i>Net</i> dan <i>Output Neuron</i> pada <i>Hidden Layer</i> kedua .....	76
Tabel 4.17 Hasil Pengujian <i>Neural Network</i> pada <i>Simulink Matlab</i> .....	80
Tabel 4.18 Ketentuan IEEE C57.104-2008.....	83
Tabel 4.19 Hasil Pengujian model NN+ pada <i>Simulink Matlab</i> .....	86
Tabel 4.20 Perbandingan Hasil berdasarkan Metode IEC, NN dan NN+.....	88
Tabel 4.21 Perbandingan Kemampuan Diagnosis Masing-Masing Metode.....	89



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Skema Gas Kromatografi (Novotny, 2003) .....	15
Gambar 2.2 Grafik <i>Thermal – Oil</i> ( IEEE Standards C57.104-1991, 1991).....	16
Gambar 2.3 Grafik <i>Thermal – Selulosa</i> ( IEEE Standards C57.104-1991, 1991) 17	17
Gambar 2.4 Grafik <i>Electrical – Partial Discharge</i> ( IEEE Standards C57.104-1991, 1991).....	17
Gambar 2.5 Grafik <i>Electrical – Arcing</i> ( IEEE Standards C57.104-1991, 1991). 18	18
Gambar 2.6 Metode <i>Gas Chromatograph</i> (Muhammad Faishal A. R. et al, 2011).....	19
Gambar 2.7 Model Tiruan Sebuah Neuron (kusmaryanto, 2014).....	24
Gambar 2.8 Struktur <i>Neural Network</i> (Shure 2015) .....	25
Gambar 2.9 Jaringan Syaraf dengan Lapisan Tunggal (Siregar, 2013) .....	27
Gambar 2.10 Jaringan Syaraf dengan Banyak Lapisan (Siregar, 2013) .....	28
Gambar 2.11 Jaringan Syaraf dengan Lapisan Kompetitif (Siregar, 2013).....	29
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian .....	34
Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian DGA menggunakan ANN.....	35
Gambar 3.3 <i>Flowchart</i> Perancangan Sistem.....	39
Gambar 3.4 <i>Artificial Neural Network</i> .....	42
Gambar 3.5 Blok Diagram Model ANN untuk Mendiagnosa Kondisi Transformator.....	43
Gambar 4.1 <i>Neural Network Training</i> .....	61
Gambar 4.2 Korelasi Target dan Output pada Data <i>training</i> .....	63
Gambar 4.3 Perbandingan antara Target dengan <i>Output</i> Jaringan Hasil <i>Training</i> Data <i>Neural Network</i> .....	64
Gambar 4.4 Grafik <i>Performance Neural Network</i> .....	65
Gambar 4.5 Grafik <i>Training State Neural Network</i> .....	65
Gambar 4.6 Blok Diagram <i>Neural Network</i> .....	66
Gambar 4.7 Diagram Struktur Utama Jaringan.....	66
Gambar 4.8 Blok Diagram Struktur Jaringan pada <i>Layer 1</i> .....	67
Gambar 4.9 Blok Diagram <i>Weight</i> pada <i>Layer 1</i> .....	67
Gambar 4.10 Blok Diagram Struktur Jaringan pada <i>Layer 2</i> .....	68

Gambar 4.11 Blok Diagram <i>Weight</i> pada <i>layer 2</i> .....	68
Gambar 4.12 Blok Diagram Struktur Jaringan pada <i>Layer 3</i> .....	69
Gambar 4.13 Blok Diagram <i>Weight</i> pada <i>Layer 3</i> .....	69
Gambar 4.14 Informasi Nilai <i>Weight</i> pada <i>Neuron</i> .....	70
Gambar 4.15 Informasi Nilai Bobot <i>Bias</i> .....	70
Gambar 4.16 Struktur Jaringan <i>Neural Network</i> .....	71
Gambar 4.17 <i>Simulink Neural Network</i> .....	78
Gambar 4.18 <i>Simulink NN</i> dengan fungsi IEEE C57.104-2008.....	84



## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Transformator merupakan komponen utama dalam sistem tenaga listrik, dimana transformator dapat dengan mudah ditemui dalam sistem pembangkitan energi listrik, transmisi energi listrik dan sistem distribusi tenaga listrik. Untuk itu keandalannya harus tetap terjaga agar proses penyaluran energi listrik tetap berjalan lancar. Karena perannya yang sangat vital, maka untuk menjaga keandalan dari transformator perlu dilakukan suatu pengujian untuk mengetahui keadaan dari transformator tersebut. Pada umumnya transformator harus selalu beroperasi untuk menunjang keandalan sistem tenaga listrik, oleh karena itu transformator banyak mengalami berbagai kegagalan mekanik, thermal dan elektrik. Hal tersebut dapat menyebabkan transformator mengalami kegagalan dan kerusakan. Jika telah terjadi kerusakan pada transformator maka diperlukan mengganti atau memperbaiki transformator, hal tersebut sangatlah tidak ekonomis. Oleh karena itu sebelum terjadi kerusakan, maka diperlukan tindakan-tindakan preventif yaitu perawatan dan pemeliharaan transformator secara rutin.

Salah satu bentuk pemeliharaan transformator yaitu dengan melakukan pengujian untuk mengetahui keadaan dari transformator. Pengujian yang dilakukan untuk menguji minyak isolasi selain pengujian tegangan tembus dan pengujian rugi-rugi dielektrik, PLN juga menerapkan metode uji DGA (*Dissolve Gas Analysis*). Metode pengujian ini dilakukan untuk menguji keadaan minyak isolasi dengan mengambil sampel minyak isolasi dari unit transformator untuk mengetahui jenis-jenis gas yang terlarut dalam minyak transformator tersebut. Tujuan dari pengujian DGA yaitu agar dapat diketahui kondisi transformator. Oleh karena itu perlu dilakukan analisis untuk ketidaknormalan pada transformator dengan pengujian DGA (*Dissolved Gas Analysis*) agar dapat diketahui secara dini kegagalan yang mungkin terjadi pada transformator (A.R. Demmasabu, L.S. Patras, F. Lisi, 2014).

Saat transformator bekerja pada kondisi normal terdapat berbagai macam gas yang dihasilkan dalam jumlah yang kecil, diantaranya yaitu  $C_2H_4$ ,  $C_2H_2$ ,  $CH_4$ ,  $N_2$  dan  $O_2$ . Ketika terjadi kegagalan pada transformator, maka konsentrasi gas yang dihasilkan akan bervariasi tergantung dari jenis kegagalan pada transformator tersebut. *Level* gas yang dihasilkan oleh minyak transformator digunakan sebagai indikasi kondisi dari keadaan transformator. Gas-gas yang digunakan dalam analisis DGA yaitu  $H_2$  (*Hydrogen*),  $CH_4$  (*Methane*),  $C_2H_4$  (*Ethylene*),  $C_2H_6$  (*Ethane*),  $C_2H_2$  (*Acetylene*),  $CO$  (*Carbon monoxide*), dan  $CO_2$  (*Carbon dioxide*) (S. Kulkarni, P. S. Swami, A.G. Thosar, 2016).

Metode analisis gas terlarut (DGA) adalah analisis kondisi transformator yang dilakukan berdasarkan jumlah gas terlarut pada minyak transformator, dengan cara mengekstrak gas – gas tersebut dari suatu sampel minyak yang diambil dari transformator. Gas yang telah diekstrak tersebut lalu dipisahkan menurut individual gasnya dan dihitung jumlahnya dalam satuan ppm (*part per million*). Dari hasil uji DGA ini dapat diketahui secara dini mengenai kegagalan pada transformator yang mungkin timbul. Ada beberapa standar uji DGA yang telah ditetapkan oleh IEEE antara lain adalah *Duval's Triangle*, *Total Dissolved Combustible Gases* (TDCG), *Key Gas*, *Roger's Ratio*, *Doernenburg Ratio* dan *IEC Ratio* (Yulisusianto, 2015).

Dari beberapa metode interpretasi data DGA dan standar uji yang ditetapkan oleh IEEE, maka penulis disini menggunakan salah satu standar uji yaitu *IEC Ratio*. Alasan utama penggunaan metode *IEC Ratio* adalah karena metode ini masih jarang dipakai untuk melakukan analisis DGA terutama di Indonesia. Akan tetapi standar uji untuk analisis DGA ini juga memiliki kekurangan, kelemahan yang utama dari metode *Ratio* yaitu bahwa metode tersebut gagal untuk menutupi semua rentang data (Pravin S. Khade, Girish K. Mahajan, Ajit P. Chaudari, 2016).

Untuk mengatasi masalah ini maka dibutuhkan solusi dari metode AI (*Artificial Intelligent*) salah satunya yaitu ANN (*Artificial Neural Network*). ANN diketahui memiliki kelebihan mampu mengenali pola dan mampu mengakuisisi pengetahuan untuk mengenali objek secara non linier, meskipun membutuhkan data yang cukup banyak pada proses training. Namun diharapkan metode ANN mampu memberikan hasil analisis yang akurat dan cepat untuk membaca kondisi transformator.

Pada penelitian sebelumnya juga pernah dilakukan penelitian sejenis yaitu “*A Comparative Analysis of DGA Methods for the Incipient Fault Diagnosis in Power Transformer Using ANN Approach*”. Penelitian yang dilakukan oleh Prof. Swami dkk ini mendiagnosa kegagalan dini yang terjadi pada transformator dengan berbagai metode interpretasi data seperti *Doernenburg Ratio Method*, *Roger Ratio Method* dan *IEC Ratio Method* menggunakan *artificial neural network*. Hasilnya sistem algoritma *neural network* mampu membaca atau mendiagnosis lebih banyak kasus kegagalan transformator dibanding metode konvensional. Namun, untuk akurasi yang dimiliki dari sistem ANN sendiri tidak dibahas sama sekali. Oleh karena itu, penulis disini bertujuan untuk mengembangkan sistem *artificial intelligence* serupa yaitu *Neural Network* pada analisis DGA untuk meningkatkan akurasi dalam pembacaan kondisi transformator.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan sebelumnya, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana membangun algoritma NN (*Neural Network*) berdasarkan metode DGA (*Dissolve Gas Analysis*) Standar IEC 60599 untuk mendeteksi kondisi pada transformator ?
2. Bagaimana kemampuan analisis dari model algoritma *neural network* yang telah dibangun dalam menentukan kondisi transformator?
3. Bagaimana akurasi dari model algoritma *neural network* berdasarkan standar IEC 60599 dalam analisis kondisi transformator?

### 1.3 Batasan Masalah

Untuk mendapatkan hasil penelitian yang terarah dan tidak menyimpang dari tujuan, maka pada penelitian ini dibatasi sebagai berikut :

1. Data gas merupakan data yang dikeluarkan oleh PT.PLN Transmisi Jawa Bagian Timur dan Bali (JBTB).
2. Tugas akhir ini hanya membahas minyak transformator dan tidak membahas tentang konstruksi transformator.
3. Tidak membahas tentang struktur kimia dalam gas-gas yang akan diteliti.
4. Tidak membahas mengenai kapasitas transformator.
5. Tidak membahas mengenai volume minyak isolasi pada transformator

### 1.4 Tujuan

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam pelaksanaan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Membangun model algoritma *Neural Network* berdasarkan Standar IEC 60599 untuk mendeteksi kondisi pada transformator.
2. Mengetahui kemampuan analisis dari model algoritma *neural network* yang telah dibangun dalam menentukan kondisi transformator.
3. Mengetahui akurasi dari model algoritma *neural network* berdasarkan Standar IEC 60599 dalam analisis kondisi transformator.

### 1.5 Manfaat

Adapun manfaat yang dapat diambil dari penelitian yang dilakukan, yaitu :

1. Mengembangkan metode analisis gas terlarut (DGA) dengan standar IEC 60599 menggunakan *artificial neural network*.
2. Mampu menganalisis kandungan gas dalam minyak transformator untuk mengidentifikasi kondisi transformator dengan lebih cepat.
3. Dapat dijadikan sebagai metode alternatif sehingga mempermudah PT.PLN dalam menentukan kondisi transformator.
4. Sebagai referensi implementasi algoritma *Artificial Neural Network* sebagai algoritma untuk menentukan kondisi transformator daya.



## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Transformator

Transformator daya adalah suatu peralatan tenaga listrik yang berfungsi untuk menyalurkan daya listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah ataupun sebaliknya. Bagian utama transformator yaitu inti besi, kumparan transformator, minyak transformator, bushing, dan tangki konservator. Inti besi pada transformator berfungsi untuk mempermudah jalan fluks, yang ditimbulkan oleh arus listrik yang melalui kumparan. Kumparan transformator terdiri dari kumparan primer dan kumparan sekunder yang diisolasi baik terhadap inti besi maupun terhadap antar kumparan dengan isolasi padat seperti karton, pertinak dan lainlain. Kumparan tersebut sebagai alat transformasi tegangan dan arus. 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 isolasi dan media pemindah, sehingga minyak trafo tersebut berfungsi sebagai media pendingin dan isolasi.

Hubungan antara kumparan trafo ke jaringan luar melalui sebuah bushing yaitu sebuah konduktor yang diselubungi oleh isolator, yang sekaligus berfungsi sebagai penyekat antara konduktor tersebut dengan tangki trafo. Pada umumnya bagian-bagian dari trafo yang terendam minyak trafo berada (ditempatkan) dalam tangki. Untuk menampung pemuai minyak trafo, tangki dilengkapi dengan konservator. Karena pengaruh naik turunnya beban transformator maupun suhu udara luar, maka suhu minyak pun akan berubah-ubah mengikuti keadaan tersebut. Bila temperatur minyak tinggi, minyak akan memuai dan mendesak udara di atas permukaan minyak keluar dari tangki, sebaliknya apabila suhu minyak turun, minyak menyusut maka udara luar akan masuk ke dalam tangki. Kedua proses di atas disebut pernapasan transformator. Untuk mengawasi selama transformator beroperasi, maka perlu adanya indikator pada transformator meliputi indikator suhu minyak, indikator permukaan minyak dan indikator kedudukan tap. Kenaikan temperatur akan mengkatalis terjadinya oksidasi di dalam minyak transformator.

Dengan semakin tingginya pembebanan transformator maka reaksi kimia yang terjadi didalam minyak transformator akan semakin cepat sehingga kandungan asam akan semakin tinggi. Dengan meningkatnya kandungan asam dalam minyak, maka kualitas minyak menjadi menurun (Sulistyo, 2014).

Transformator tenaga biasanya digunakan pada pemakaian daya dari rumah tangga, sampai pembangkit, transmisi dan distribusi tenaga listrik. Beberapa alasan digunakannya transformator tenaga, antara lain :

1. Tegangan yang dihasilkan sumber tidak sesuai dengan tegangan pemakai,
2. Biasanya sumber jauh dari pemakai sehingga perlu tegangan tinggi (pada jaringan transmisi), dan
3. Kebutuhan pemakai/beban memerlukan tegangan yang bervariasi.

Berdasarkan keterangan dari PLN (2014) bahwa suatu transformator terdiri atas beberapa bagian yang mempunyai fungsi masing-masing :

a. Inti besi

Inti besi berfungsi untuk mempermudah jalan fluksi, yang ditimbulkan oleh arus listrik yang melalui kumparan. Dibuat dari lempengan-lempengan besi tipis yang berisolasi, untuk mengurangi panas (sebagai rugi-rugi besi) yang ditimbulkan oleh *eddy current* (PLN, 2014).

b. Kumparan transformator

Beberapa lilitan kawat berisolasi membentuk suatu kumparan. Kumparan tersebut diisolasi baik terhadap inti besi maupun terhadap kumparan lain dengan isolasi padat seperti karton, pertinax dan lain-lain. Umumnya pada transformator terdapat kumparan primer dan sekunder. Bila kumparan primer dihubungkan dengan tegangan/arus bolak-balik maka pada kumparan tersebut timbul fluksi yang menginduksikan tegangan, bila pada rangkaian sekunder ditutup (rangkaian beban) maka akan mengalir arus pada kumparan ini. Jadi kumparan sebagai alat transformasi tegangan dan arus.

c. Kumparan *tertier*

Kumparan *tertier* diperlukan untuk memperoleh tegangan *tertier* atau untuk kebutuhan lain. Untuk kedua keperluan tersebut, kumparan *tertier* selalu dihubungkan delta. Kumparan *tertier* sering dipergunakan juga untuk

penyambungan peralatan bantu seperti kondensator sinkron, kapasitor shunt dan reaktor *shunt*, namun demikian tidak semua transformator daya mempunyai kumparan *tertier*.

d. Minyak transformator

Sebagian besar transformator tenaga kumparan-kumparan dan intinya direndam dalam minyak transformator, terutama transformator-transformator tenaga yang berkapasitas besar, karena minyak transformator mempunyai sifat sebagai media pemindah panas (disirkulasi) dan bersifat pula sebagai isolasi (daya tegangan tembus tinggi) sehingga berfungsi sebagai media pendingin dan isolasi. Untuk itu minyak transformator harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

1. kekuatan isolasi tinggi
2. penyalur panas yang baik berat jenis yang kecil, sehingga partikel-partikel dalam minyak dapat mengendap dengan cepat
3. viskositas yang rendah agar lebih mudah bersirkulasi dan kemampuan pendinginan menjadi lebih baik
4. titik nyala yang tinggi, tidak mudah menguap yang dapat membahayakan
5. tidak merusak bahan isolasi padat
6. sifat kimia yang stabil.

e. *Bushing*

Hubungan antara kumparan transformator ke jaringan luar melalui sebuah *bushing* yaitu sebuah konduktor yang diselubungi oleh isolator, yang sekaligus berfungsi sebagai penyekat antara konduktor tersebut dengan tangki transformator.

f. Tangki dan Konservator

Pada umumnya bagian-bagian dari transformator yang terendam minyak transformator berada (ditempatkan) dalam tangki. Untuk menampung pemuaiannya minyak transformator, tangki dilengkapi dengan konservator.

g. Pendingin

Pada inti besi dan kumparan-kumparan akan timbul panas akibat rugi-rugi besi dan rugi-rugi tembaga. Bila panas tersebut mengakibatkan kenaikan suhu yang berlebihan, akan merusak isolasi di dalam transformator, maka untuk mengurangi kenaikan suhu yang berlebihan tersebut transformator perlu dilengkapi dengan

sistem pendingin untuk menyalurkan panas keluar transformator. Media yang digunakan pada sistem pendingin dapat berupa: udara/gas, minyak dan air. Pengalirannya (sirkulasi) dapat dengan cara alamiah (*natural*) dan tekanan/paksaan (*forced*).

h. *Tap Changer* (perubah tap)

*Tap Changer* adalah perubah perbandingan transformator untuk mendapatkan tegangan operasi sekunder sesuai yang diinginkan dari tegangan jaringan/primer yang berubah-ubah. *Tap changer* dapat dilakukan baik dalam keadaan berbeban (*on-load*) atau dalam keadaan tak berbeban (*off load*), tergantung jenisnya.

i. Alat pernapasan

Karena pengaruh naik turunnya beban transformator maupun suhu udara luar, maka suhu minyakpun akan berubah-ubah mengikuti keadaan tersebut. Bila suhu minyak tinggi, minyak akan memuai dan mendesak udara di atas permukaan minyak keluar dari dalam tangki, sebaliknya bila suhu minyak turun, minyak menyusut maka udara luar akan masuk ke dalam tangki.

Kedua proses di atas disebut pernapasan transformator. Permukaan minyak transformator akan selalu bersinggungan dengan udara luar yang menurunkan nilai tegangan tembus minyak transformator, maka untuk mencegah hal tersebut, pada ujung pipa penghubung udara luar dilengkapi tabung berisi kristal zat higroskopis.

j. Indikator

Untuk mengawasi selama transformator beroperasi, maka perlu adanya indikator pada transformator sebagai berikut:

1. indikator suhu minyak,
2. indikator permukaan minyak,
3. indikator sistem pendingin,
4. indikator kedudukan tap, dan sebagainya.

## 2.2 Minyak Transformator

Minyak transformator adalah minyak mineral yang diperoleh dengan pemurnian minyak mentah. Sebagai bahan isolasi, minyak transformator harus mempunyai tegangan tembus yang tinggi. Selain itu minyak ini berfungsi sebagai media pendingin yaitu untuk mengantisipasi kenaikan temperatur (suhu) pada transformator, adanya kenaikan temperatur yang terlalu tinggi bisa merusak isolasi kertas pada gulungan (coil) di dalam transformator, dan suhu yang terlalu panas dapat menurunkan tahanan isolasi yang dapat mengakibatkan hubung singkat antara fasa dengan fasa dan fasa dengan body di dalam transformator sehingga dapat merusak transformator. Sedangkan fungsi minyak sebagai media isolasi adalah merupakan sesuatu yang mutlak untuk menghindari terjadinya short circuit atau hubung singkat di dalam transformator baik antara fasa maupun sisi fasa dengan body, dimana hubung singkat tersebut akan mengakibatkan transformator meledak (Rahmawati, Raharjo E. P., 2014).

### 2.2.1 Syarat – Syarat Minyak Transformator

Syarat minyak trafo menurut SPLN 49 – 1 : 1982 harus memenuhi kriteria berikut ini antara lain: Kejernihan (*appearance*), Masa Jenis (*density*), Viskositas Kinematik (*kinematic viscosity*), Titik Nyala (*flash point*), Titik Tuang (*pour point*), Angka Kenetralan (*neutralization number*), Korosi Belerang (*corrosive sulphur*), Tegangan Tembus (*breakdown voltage*), Faktor Kebocoran Dielektrik (*dielectric dissipation factor*), Stabilitas oksidasi (*Oxydation stability*), Kandungan air (*water content*), Tahanan jenis (*resistivity*), Tegangan antar muka (*interfacial tension*), Kandungan gas (*gas content*) (Rahmawati, Raharjo E. P., 2014).

### 2.2.2 Sifat – Sifat Material Bahan Isolasi Cair

#### 1. Sifat Kimia

Minyak transformator diperoleh dengan mengolah minyak bumi. Minyak bumi memiliki komposisi kimia yang berbeda-beda sesuai dengan sumbernya sehingga minyak transformator juga akan memiliki komposisi kimia yang berbeda-beda pula. Struktur kimia minyak transformator sangat kompleks sehingga sangat

sukar untuk mengetahui sifat dan jumlah unsur-unsur kimia yang terkandung didalamnya. Pada umumnya minyak transformator tersusun atas senyawa-senyawa hidrokarbon dan non hidrokarbon (Rahmawati, Raharjo E. P., 2014).

a. Kandungan Asam

Kandungan asam (Bilangan asam) adalah jumlah miligram Potassium Hydroxide (KOH) yang dibutuhkan untuk menitrasi semua unsur-unsur asam yang ada pada 1 gram sampel minyak. Proses oksidasi pada cairan minyak isolasi transformator akan menghasilkan produk-produk dari senyawa asam. Pengukuran berkala keasaman memberikan sebuah cara untuk memonitoring perkembangan oksidasi. Pembentukan endapan pada transformator yang merupakan hasil akhir dari proses oksidasi sebelumnya didahului oleh penambahan jumlah kandungan asam.

b. Kandungan Gas

Adanya gas terlarut pada minyak di dalam transformator sudah ada sejak minyak masih baru, ada beberapa hal yang mempengaruhi volume gas di dalam minyak salah satunya terjadi karena adanya perubahan suhu, pada temperatur tinggi di dalam minyak transformator, gas-gas tersebut akan mudah terbakar, pada suhu yang tinggi, akibat rugi-rugi yang terjadi didalam transformator. Akibat dari kandungan gas di dalam minyak transformator meningkat sampai menyebabkan kegagalan isolasi.

c. Kandungan Air

Air Adanya air dalam minyak transformator dapat membahayakan Transformator. Kandungan air dan oksigen yang tinggi akan mengakibatkan korosi, menghasilkan asam, endapan dan cepat menurunkan usia transformator. Kandungan air dalam transformator dapat berasal dari udara saat transformator dibuka untuk keperluan inspeksi dan apabila terjadi kebocoran maka uap air akan masuk ke dalam transformator karena perbedaan tekanan parsial uap air.

## 2. Sifat Fisika

Sifat- sifat fisika minyak transformator yang penting antara lain sebagai berikut : kejernihan (*appearance*), mempunyai massa jenis (*density*), viskositas

kinematik (*kinematic viscosity*), mempunyai titik nyala (*flash point*), mempunyai titik tuang (*pour point*), mempunyai tegangan antar muka (*interfacial tension*), dan daya melarutkan (*solvent power*).

### 3. Sifat Listrik

Agar minyak dapat berfungsi dengan isolasi yang baik maka diperlukan adanya perhatian pada sifat listriknya. Karakteristik yang perlu diketahui adalah.

#### a. Tegangan Tembus (*Breakdown Voltage*)

Tegangan tembus adalah tegangan dalam kV yang diperlukan untuk menembus lapisan minyak setebal 1 cm diantara 2 buah elektroda dan dinyatakan dalam kV/cm dalam kondisi suhu kamar. Tegangan tembus yang rendah menunjukkan adanya kontaminasi seperti air, kotoran atau partikel yang tidak dikehendaki. Metode uji yang dipakai adalah standar IEC 156.

#### b. Tahanan jenis (*Resistivity*)

Nilai tahanan jenis yang tinggi menunjukkan minyak tidak mengandung bahan-bahan yang bersifat penghantar listrik. Tahanan jenis dari minyak isolasi berhubungan langsung dengan bahan isolasi dari transformator. Bila suhu kerja transformator mengalami kenaikan maka tahanan jenis isolasi minyak akan turun dan juga berhubungan dengan kadar asam, bilamana kadar asam semakin rendah maka tahanan jenis isolasi minyak akan semakin besar.

#### c. Faktor Kebocoran Dielektrik (*Dielectric Dissipation Factor*)

Faktor kebocoran dielektrik ( $\tan \delta$ ). Karakteristik  $\tan \delta$  merupakan alat yang berharga untuk mengevaluasi efisiensi dielektrik dan cukup peka untuk mendeteksi serta menilai kerusakan dielektrik karena telah dipergunakan untuk waktu yang lama.

### 2.3 Kegagalan Isolasi Transformator

Kegagalan isolasi disebabkan karena beberapa hal antara lain isolasi tersebut sudah lama dipakai, berkurangnya kekuatan dielektrik dan karena isolasi tersebut dikenakan tegangan lebih. Pada prinsipnya tegangan pada isolator merupakan suatu tarikan atau tekanan (*stress*) yang harus dilawan oleh gaya dalam isolator itu sendiri agar supaya isolator tidak gagal (Solikhudin, 2010).

Dalam struktur molekul material isolasi, elektron-elektron terikat erat pada molekulnya, dan ikatan ini mengadakan perlawanan terhadap tekanan yang disebabkan oleh adanya tegangan. Bila ikatan ini putus pada suatu tempat maka sifat isolasi pada tempat itu hilang. Bila pada bahan isolasi tersebut diberikan tegangan akan terjadi perpindahan elektron-elektron dari suatu molekul ke molekul lainnya sehingga timbul arus konduksi atau arus bocor. Karakteristik isolator akan berubah bila material tersebut kemasukan suatu ketidakmurnian (*impurity*) seperti adanya arang atau kelembaban dalam isolasi yang dapat menurunkan tegangan gagal.

Kegagalan isolasi juga dapat diakibatkan oleh arus tinggi yang terus-menerus yang mengalir pada konduktor yang akan menimbulkan temperature konduktor tersebut naik. Jika pemanasan ini terjadi kontinyu dan minyak isolasi tidak bersirkulasi maka tekanan panas terus meningkat menuju titik nyala minyak isolasi tersebut.

Akibat lain dari kegagalan isolasi cair adalah adanya *partial discharge* yang terjadi pada minyak isolasi pada bushing yang terus menerus, dan penurunan daya isolasi akibat oleh umur minyak isolasi tersebut akibatnya akan mengakibatkan dekomposisi. Dalam kondisi tekanan termal dan elektrik, molekul hidrokarbon minyak mineral dapat terpecah dan membentuk hidrogen aktif dan potongan-potongan hidrokarbon. Potongan hidrokarbon ini dapat berkombinasi satu sama lain membentuk gas, seperti hidrogen ( $H_2$ ), metana ( $CH_4$ ), etana ( $C_2H_6$ ), etilen ( $C_2H_4$ ), asetilen ( $C_2H_2$ ) yang kesemuanya merupakan gas yang mudah terbakar.

Pada bagian bawah bushing transformator tenaga terdapat mantel berisolasi, yang merupakan bahan isolasi padat. Jika campuran dielektrik zat cair-padat memiliki kekuatan gagal yang berbeda beda maka jika tegangan listrik dinaikkan,



akan terjadi kegagalan pada zat yang paling lemah. Hal ini dapat mengakibatkan kegagalan parsial (*partial discharge*). Pelepasan ini mengakibatkan pemburukan perlahan lahan karena:

1. Disintegrasi dielektrik padat yang diakibatkan pemboman oleh elektron dan ion yang dihasilkan.
2. Aksi kimiawi pada dielektrik karena ionisasi gas
3. Suhu tinggi di daerah pelepasan.

Pemburukan elektro-kimiawi terjadi karena ion-ion yang dibebaskan oleh arus pada elektroda bisa menyebabkan kerusakan. Derajat kerusakan yang terjadi tergantung pada sifat ion yang terbawa dan reaksi kimia dengan ionisasi.

kegagalan isolasi disebabkan oleh pemakaian yang cukup lama serta berkurangnya kekuatan dielektrik karena tegangan lebih. Berikut ini dijelaskan beberapa hal yang berpengaruh pada kegagalan minyak transformator (Rahmawati, Raharjo E. P., 2014) :

- Partikel Padat

Partikel debu yang tercampur dalam minyak lama kelamaan akan terpolarisasi dan membentuk jembatan dimana arus listrik dapat mengalir dan menyebabkan pemanasan didalam tansformator

- Uap Air

Didalam minyak transformator terkandung air, air ini jumlahnya akan bertambah banyak seiring pemakaian dan membentuk jembatan dan kanal-kanal dimana akan terpolarisasi dan menyebabkan kegagalan transformator

- Kegagalan Gelembung

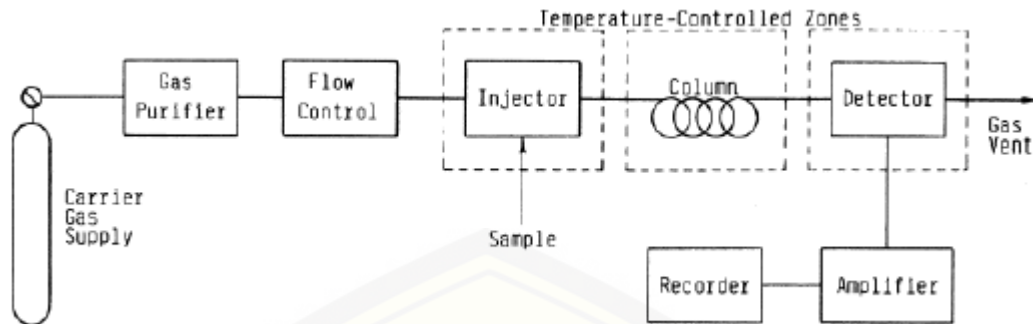
Di dalam minyak terbentuk gelembung-gelembung gas yang terjadi karena dekomposisi pada minyak dan juga adanya pengaruh medan listrik yang kuat antara elektroda sehingga mengubungkan gelembung tersebut hingga membentuk jembatan yang menjadi awal terjadinya kegagalan.

#### 2.4 DGA (*Dissolved Gas Analysis*)

Transformator sebagai peralatan tegangan tinggi tidak lepas dari kemungkinan mengalami kondisi abnormal, dimana pemicunya dapat berasal dari internal maupun eksternal transformator. Ketidaknormalan ini akan menimbulkan dampak terhadap kinerja transformator. Secara umum, dampak/akibat ini dapat berupa *overheat*, *corona* dan *arcing*.

Salah satu metoda untuk mengetahui ada tidaknya ketidaknormalan pada transformator adalah dengan mengetahui dampak dari ketidaknormalan transformator itu sendiri. Untuk mengetahui dampak ketidaknormalan pada transformator digunakan metoda DGA (*Dissolved Gas Analysis*). Pada saat terjadi ketidaknormalan pada transformator, minyak isolasi sebagai rantai hidrokarbon akan terurai akibat besarnya energi ketidaknormalan dan akan membentuk gas-gas hidrokarbon yang larut dalam minyak isolasi itu sendiri. Pada dasarnya DGA adalah proses untuk menghitung kadar/nilai dari gas-gas hidrokarbon yang terbentuk akibat ketidaknormalan. Dari komposisi kadar/nilai gas-gas itulah dapat diprediksi dampak-dampak ketidaknormalan apa yang ada di dalam transformator, apakah *overheat*, *arcing* atau *corona*. Gas - gas yang dideteksi dari hasil pengujian DGA adalah H<sub>2</sub> (hidrogen), CH<sub>4</sub> (metana), N<sub>2</sub> (nitrogen), O<sub>2</sub> (oksigen), CO (karbon monoksida), CO<sub>2</sub> (karbondioksida), C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> (etilena), C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> (Etana), C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> (asetilena). Untuk mengambil sample minyak untuk pengujian DGA harus menggunakan *syringe*, selang sampling dan konektor sampling pada *valve* transformator.

Untuk mengetahui kandungan *fault* gas yang terlarut pada minyak transformator digunakan metoda Gas Kromatografi (GC). Gas Kromatografi adalah sebuah teknik untuk memisahkan *fault* gas berdasarkan tingkat penguapannya. Metode ini dapat memberikan informasi kuantitatif dan kualitatif dari masing masing komponen individu pada sampel yang diuji. Sampel yang diujikan bisa saja sudah berbentuk gas ataupun dipanaskan dan diupkan terlebih dahulu sampai berwujud gas. Skema dasar dari metode Gas Kromatografi disajikan pada Gambar 2.1 di bawah ini. Komponen utama dari metoda ini adalah tabung sempit sebagai (*column*), oven (pemanas), gas pembawa (*carrier gas*), dan detektor. Gas pembawa merupakan gas lebam seperti nitrogen, argon, atau helium.



Gambar 2.1 Skema Gas Kromatografi (Novotny, 2003)

Sampel uji dimasukan ke saluran kolom dengan menggunakan *syringe*. Gas pembawa akan menghantarkan molekul molekul *fault gas* di dalam *column*. Gerakan molekul molekul ini akan terhalang oleh tingkat adsorpsi dari masing masing jenis *fault gas* terhadap dinding *column*. Karena masing masing *fault gas* memiliki tingkat adsorpsi yang berbeda-beda, maka keadaan statis (*stationary phase*) masing masing *fault gas* juga berbeda-beda selama proses ini, setiap bagian dari sampel uji akan terpisah pisah, sehingga akan mencapai ujung saluran *column* dalam kurun waktu yang berbeda beda. Lalu setiap bagian dari sampel uji yang mencapai ujung dari *column* akan dideteksi oleh detektor. *Tin Capture Detector* (TCD) yang dapat mendeteksi gas  $H_2$ ,  $O_2$  dan  $N_2$  sedangkan detektor *Flame Ionization Detector* (FID) akan medeteksi gas metana ( $CH_4$ ), karbondioksida ( $CO_2$ ), karbonmonoksida ( $CO$ ), etana ( $C_2H_6$ ), etilena ( $C_2H_4$ ) dan asetilena ( $C_2H_2$ ).

Pada umumnya, analisa hasil pengujian DGA mengacu pada standar IEEE C57.104 tahun 2008 dan IEC 60599 tahun 2007. Ada beberapa metode untuk melakukan interpretasi data dan analisis seperti yang tercantum pada IEEE standard. C57-104.1991 dan IEC 60599, adalah Metode yang digunakan untuk analisis *TDCG*, *Key gas*, *Doernenburg Ratio*, *Roger's Ratio* dan *Duval's Triangle* (Demmasabu et al, 2014).

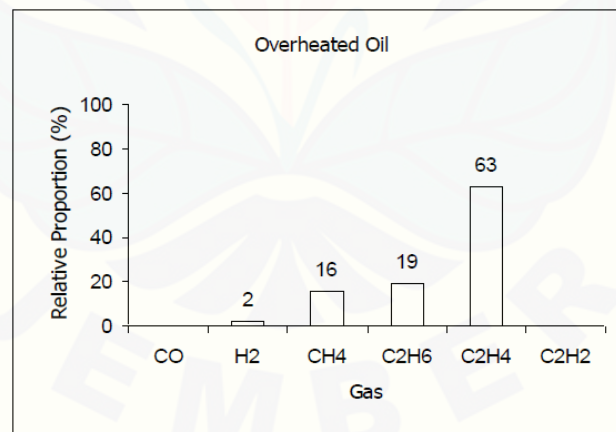
## 2.5 Metode DGA Key Gas

Prosedur operasi dan perawatan yang tepat dapat membantu mencegah kegagalan dan memperpanjang umur operasi transformator. Pembangkitan gas dan dilarutkan dalam minyak transformator disebut sebagai gas utama. Gas yang terdeteksi dalam minyak isolasi dan interpretasi kesalahan kondisi transformator akan dibahas. Analisis gas-dalam-minyak transformator daya (DGA) dapat digunakan untuk pemantauan diagnostik dan kondisi yang efektif.

*Key gas* didefinisikan oleh IEEE C57.104-2008 sebagai gas-gas yang terbentuk pada transformator minyak pendingin yang secara kualitatif dapat digunakan untuk menentukan jenis kegagalan yang terjadi berdasarkan jenis gas yang khas atau lebih dominan terbentuk pada berbagai temperatur.

### a. *Thermal – Oil*

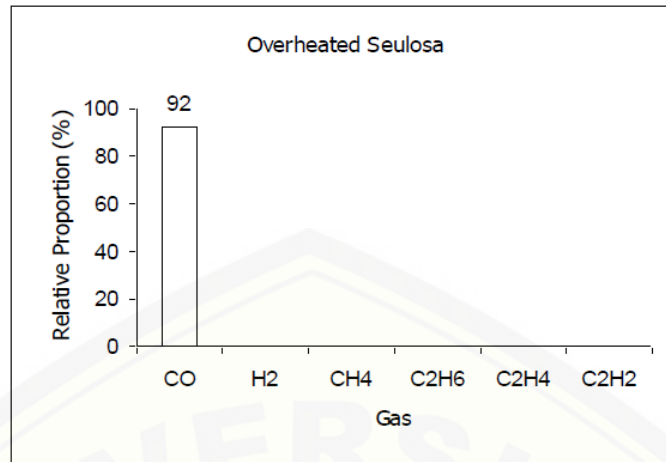
Dekomposisi produk termasuk etilen ( $C_2H_4$ ) dengan sedikit kuantitas metana ( $CH_4$ ), hidrogen ( $H_2$ ) dan etana ( $C_2H_6$ ). Tanda keberadaan asetilena ( $C_2H_2$ ) mungkin terbentuk jika *fault* yang terjadi parah atau diikuti dengan kontrak elektrik. Gas dominan: Etilen ( $C_2H_4$ ).



Gambar 2.2 Grafik *Thermal – Oil* ( IEEE Standards C57.104-1991, 1991)

### b. *Thermal – Selulosa*

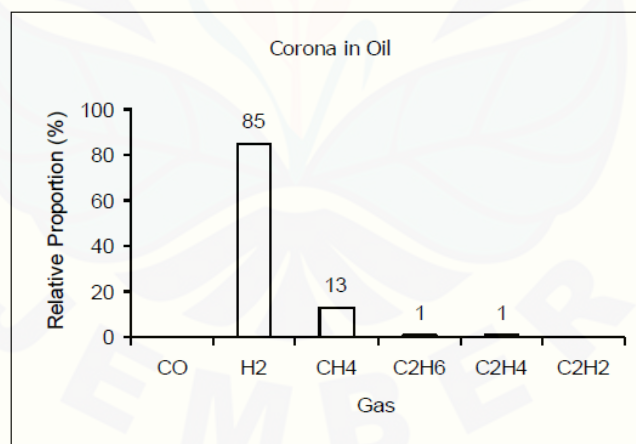
Sejumlah karbondioksida ( $CO_2$ ) dan karbon monoksida ( $CO$ ) terlibat akibat pemanasan selulosa. Gas hidrokarbon, seperti metana ( $CH_4$ ) dan etilen ( $C_2H_4$ ) akan terbentuk jika *fault* melibatkan struktur minyak. Gas dominan: Karbon monoksida.



Gambar 2.3 Grafik *Thermal* – Selulosa ( IEEE Standards C57.104-1991, 1991)

c. *Electrical – Partial Discharge (PD)*

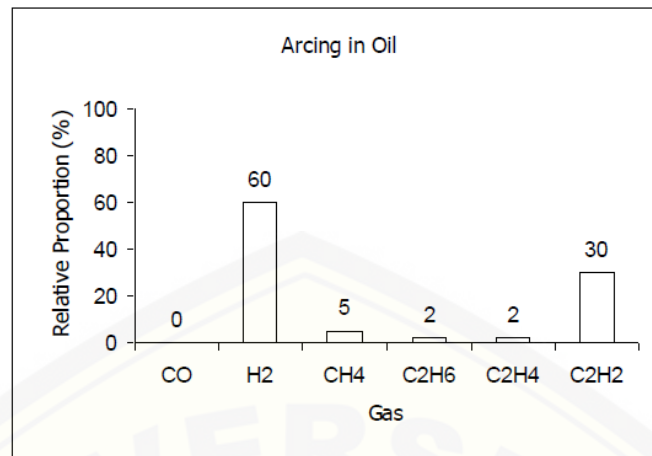
*Discharge* elektrik tenaga rendah menghasilkan hidrogen ( $H_2$ ) dan metana ( $CH_4$ ) dengan sedikit kuantitas etana ( $C_2H_6$ ) dan etilen ( $C_2H_4$ ). Jumlah yang sebanding antara karbonmonoksida ( $CO$ ) dan karbondioksida ( $CO_2$ ) mungkin dihasilkan dari *discharge* pada selulosa. Gas dominan: Hidrogen ( $H_2$ ).



Gambar 2.4 Grafik *Electrical – Partial Discharge* ( IEEE Standards C57.104-1991, 1991)

d. *Electrical – Arcing*

Sejumlah hidrogen ( $H_2$ ) dan asetilena ( $C_2H_2$ ) terproduksi dan sedikit metana ( $CH_4$ ) dan etilen ( $C_2H_4$ ). Karbondioksida ( $CO_2$ ) dan karbon monoksida ( $CO$ ) akan selalu dibentuk jika melibatkan *fault* selulosa. Minyak mungkin terkarbonisasi. Gas dominan: Asetilena ( $C_2H_2$ ).



Gambar 2.5 Grafik *Electrical – Arcing* ( IEEE Standards C57.104-1991, 1991)

Grafik Metode *Key gas* ini terlihat sederhana, tetapi metode ini tidak secara luas diakui sebagai alat diagnostik yang dapat diandalkan. Studi yang didasarkan pada bank data IEC dari transformator yang diinspeksi menunjukkan bahwa hanya 42% diagnosis Metode *Key gas* yang benar (S. Corporation, 2007).

## 2.6 Metode DGA TDCG (*Total Dissolved Combustible Gases*)

Klasifikasi peningkatan konsentrasi gas dan TDCG (IEEE C57.104 -2008). Kriteria 4 level kondisi telah dikembangkan untuk mengklasifikasikan kondisi transformator pada hasil pengujian minyak isolasi. Pada Tabel 2.1 di bawah ini merupakan pengklasifikasian batas-batas konsentrasi gas individual dan TDCG.

Tabel 2.1 Batas Konsentrasi Tiap Key gas dan TDCG

Jenis <i>Key gas</i> <sup>a</sup>	Kondisi <i>Key gas</i>			
	Kondisi 1	Kondisi 2	Kondisi 3	Kondisi 4
H <sub>2</sub>	100	101 – 700	701 – 1800	>1800
CH <sub>4</sub>	120	121 – 400	401 – 1000	>1000
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	1	2 – 9	10 – 35	>35
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	50	51 – 100	101 – 200	>200
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	65	66 – 100	101 – 150	>150
CO	350	351 – 570	571 -1400	>1400
CO <sub>2</sub>	2500	2500 – 4000	4001 – 10000	>10000
TDCG <sup>b</sup>	720	721 – 1920	1921 – 4630	>4630

<sup>a</sup>Konsentrasi gas dalam satuan ppm.

<sup>b</sup>Nilai TDCG tidak termasuk CO<sub>2</sub>, karena bukan gas yang mudah terbakar.

(Sumber: IEEE Std C57.104, 2008)

Berikut ini merupakan Kondisi Transformator berdasarkan standar IEEE C57.104-2008 yang ditunjukkan pada Tabel 2.2 sebagai berikut .

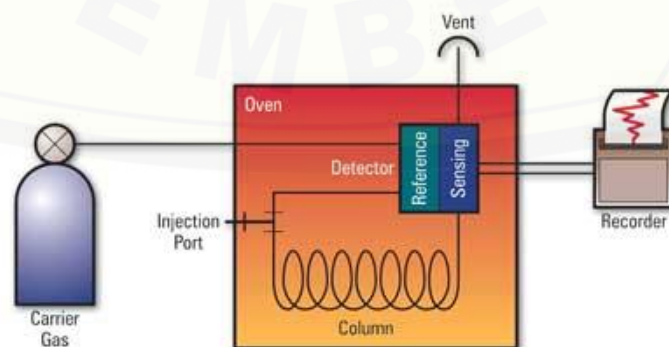
Tabel 2.2 Kondisi Transformator Berdasarkan Standart IEEE C57.104-2008

Kondisi 1	Pada kondisi ini mengindikasikan bahwa operasi trafo normal.
Kondisi 2	TDCG dalam kisaran ini menunjukkan tingkat gas mulai tinggi dimana gas-gas yang terlarut mudah terbakar. Ada kemungkinan timbul gejala-gejala kegagalan yang harus mulai diwaspadai.
Kondisi 3	Pada level ini mengindikasikan pemburukan tingkat tinggi. Bila salah satu gas melebihi batasan level, harus diinvestigasi dengan cepat. Pada kondisi ini sudah harus diwaspadai dan perlu perawatan lebih lanjut.
Kondisi 4	Pada level ini mengindikasikan pemburukan yang sangat tinggi. Melanjutkan operasi trafo akan mengarah pada kerusakan trafo.

Sumber : (Rahmawati, Raharjo E. P., 2014)

### 2.6.1 Metode Uji Kromatografi Gas

teknik kromatografi merupakan teknik yang memisahkan zat-zat tertentu dari sebuah senyawa gabungan berdasarkan tingkat penguapannya (*volatility*). Skema metoda uji kromatografi gas dapat dilihat pada gambar 2.6 berikut.



Gambar 2.6 Metode *Gas Chromatograph* (Muhammad Faishal A. R. et al, 2011)

Dalam minyak transformator terdapat berbagai macam gas, yang terdiri dari gas–gas yang mudah terbakar (*combustible gas*) dan gas–gas yang tidak mudah terbakar (*uncombustible gas*). Sifat dari beberapa jenis gas terlarut dalam transformator bisa dilihat dalam tabel berikut:

Tabel 2.3 Jenis Gas Yang Terlarut Dalam Minyak Transformator

Jenis Gas	Simbol	Sifat
Hidrogen	H <sub>2</sub>	<i>Uncombustible</i>
Oksigen	O <sub>2</sub>	<i>Uncombustible</i>
Nitrogen	N <sub>2</sub>	<i>Uncombustible</i>
Metana	CH <sub>4</sub>	<i>Combustible</i>
Karbon Monoksida	CO	<i>Uncombustible</i>
Karbon Dioksida	CO <sub>2</sub>	<i>Uncombustible</i>
Etana	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	<i>Combustible</i>
Etena	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	<i>Combustible</i>
Etuna	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	<i>Combustible</i>

Sumber : (Rahmawati, Raharjo E. P., 2014)

### 2.6.2 Pengaruh Kandungan Gas Terhadap Kinerja Transformator

Di dalam minyak transformator terdapat zat-zat yang dapat mengotori transformator seperti partikel padat, air, dan gelembung-gelembung gas. Zat-zat tersebut dapat mempengaruhi kinerja transformator. Hal-hal tersebut sangat mempengaruhi pemburukan minyak transformator hingga bisa sampai menyebabkan kegagalan sebuah transformator. Zat pengotor tersebut akan timbul seiring pemakaian sebuah transformator, oleh karena itu perlu adanya pengecekan terhadap minyak transformator.

Salah satu zat yang mempengaruhi kinerja transformator adalah kandungan gas yang terdapat dalam minyak transformator. Gas ini sudah ada sejak awal minyak dipakai untuk isolasi transformator adapun jenis gas ini sifatnya ada yang mudah terbakar dan ada yang tidak mudah terbakar, seiring pemakaian sebuah transformator jumlah gas-gas yang terdapat didalam minyak menjadi bertambah banyak.



Adapun peningkatan jumlah kandungan gas dalam minyak transformator lama kelamaan akan membentuk gangguan karena adanya gas yang mudah terbakar yang sangat membahayakan contohnya gas metan. Jenis *fault* gas jika terkandung dalam jumlah banyak akan menyebabkan kegagalan karena dalam gas tersebut akan terbentuk jembatan yang menghubungkan kedua elektroda karena pengaruh medan listrik dan terpolarisasi sehingga dapat menurunkan kemampuan minyak tranformator untuk menahan tegangan tembus yang melewatinya dengan kata lain sangat mudah terjadi kegagalan minyak isolasi Untuk standar minyak transformator terdapat ambang batas yang diijinkan berdasarkan IEEE C57-104.1991 tentang kandungan gas di dalam minyak transformator terlihat mulai dari kondisi 1 sampai dengan 4, kondisi tersebut mewakili tindakan apa yang harus dilakukan jika jumlah gas sudah mencapai level tertentu.

Jumlah konsentrasi gas masuk dalam kategori membahayakan jika berada dalam kondisi 3 dan 4, dimana dalam kondisi ini minyak transformator mengalami pemburukan serius hingga akan menyebabkan kegagalan isolasi didalam sebuah transformator. Jika hal ini terjadi maka minyak isolasi ini tidak dapat dengan baik menjadi pemisah bagian-bagian yang bertegangan didalam transformator.

## 2.7 Metode Gas Rasio IEC

IEC merupakan salah satu standar yang populer untuk menentukan kondisi transformator dengan berdasarkan rasio dari lima gas kunci  $H_2$ ,  $CH_4$ ,  $C_2H_4$ ,  $C_2H_6$ , and  $C_2H_2$ , dalam metode ini rasio gas ( $R1=C_2H_2/C_2H_4$ ,  $R2=CH_4/H_2$  dan  $R3=C_2H_4/C_2H_6$ ) kode dari rasio tersebut digunakan untuk menentukan suatu kondisi dalam transformator.

Kombinasi dari setiap kode rasio gas digunakan untuk menentukan kondisi transformator sesuai dengan kode yang diberikan pada setiap kondisinya. Kode yang ada pada setiap kegagalan dalam menentukan kondisi transformator tersebut sangat membantu untuk mengembangkan menentukan program computer, untuk mendeteksi setiap kondisi transformator menurut standar IEC 60599.

Dalam setiap kondisi transformator memiliki tentunya memiliki penyebab dan alasan tersendiri mengapa pada kondisi tersebut dapat terjadi, berikut ini adalah

beberapa contoh kasus yang terjadi pada setiap kondisi transformator pada standar IEC 60599 :

1. *Partial discharges* akibat densitas energi rendah, yaitu pelepasan listrik yang terjadi dalam gelembung yang diakibatkan oleh ronggga insulasi atau kejenuhan super pada minyak atau kavitas pada pompa atau kelembapan pada minyak transformator.
2. *Partial discharges* akibat densitas energi tinggi, ini seperti yang diatas tetapi menunjukkan dan melacak kondisi selulosa padat dengan cara sparking atau arcing; ini pada umumnya menghasilkan CO dan CO<sub>2</sub>.
3. *Discharges* energi rendah, terus menerus memicu minyak pada hubungan buruk beda potensial atau tegangan permukaan. Kegagalan minyak antara bahan padat.
4. *Discharges* energi tinggi, pelepasan (*arching*) dengan daya lanjutan. kegagalan *arching* antara minyak dengan kumparan, atau antara kumparan dengan *grounding*.
5. Termal rendah kurang 150°C: secara umum konduktor terisolasi terlalu panas.
6. Termal antara 150°C sampai lebih dari 700°C: pemanasan yang berlebihan akibat dari konsentrasi flux. Meningkatnya titik suhu panas; perubahan titik panas kecil pada inti, panas akibat arus *eddy*, hubungan buruk (pembentukan karbon pirolitik) sampai arus inti dan arus tangki.

Kombinasi dari kode individu X1, X2 dan X3 merupakan sebuah indikator yang kemungkinan baru terjadi kegagalan. Tabel 2.5 berikut menunjukkan kode kegagalan transformator berdasarkan standar IEC 599 dari kode-kode individu X1, X2 dan X3 yang ditunjukkan pada tabel 2.4. Pengkodean rasio *key gas* ini dapat membantu memfasilitasi dalam pengembangan pemrograman komputasi yang lebih mudah untuk mengidentifikasi kegagalan transformator. Namun metode rasio IEC ini dalam beberapa kasus, gagal untuk mengidentifikasi jenis kegagalan secara akurat.

Tabel 2.4 Aturan Kode Untuk Metode IEC

Rentang Rasio Gas			Kode
$C_2H_2/C_2H_4$	$CH_4/H_2$	$C_2H_4/C_2H_6$	
<0.1	0.1-1	<1	0
0.1-3	<0.1	1-3	1
>3	>1	>3	2

Sumber : (Shakeb A. Khan, dkk, 2014)

Tabel 2.5 Klasifikasi Kegagalan dengan Metode IEC 60599

No.	Karakteristik Kondisi	R1	R2	R3
1	Normal (N)	0	0	0
2	PD akibat densitas energi rendah	0	1	0
3	PD akibat densitas energi tinggi	1	1	0
4	D1	1-2	0	1-2
5	D2	1	0	2
6	TR <150°C	0	0	1
7	TR antara 150 °C -300 °C	0	2	0
8	TR antara 300 °C -700 °C	0	2	1
9	TT >700 °C	0	2	2

Sumber : (Shakeb A. Khan, dkk, 2014)

Keterangan :

R1 =  $C_2H_2/C_2H_4$

D1 = discharges energi rendah

R2 =  $CH_4/H_2$

D2 = discharges energi tinggi

R3 =  $C_2H_4/C_2H_6$

TR = *thermal* rendah

N = normal

TT = *thermal* tinggi

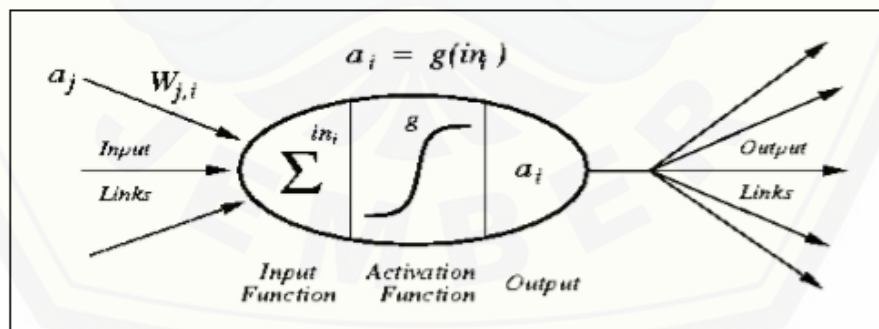
PD = partian discharges

## 2.8 ANN (*Artificial Neural Network*)

Secara umum *Neural Network* (NN) adalah jaringan dari sekelompok unit pemroses kecil yang dimodelkan berdasarkan jaringan syaraf manusia. NN ini merupakan sistem adaptif yang dapat merubah strukturnya untuk memecahkan masalah berdasarkan informasi eksternal maupun internal yang mengalir melalui jaringan tersebut. Secara sederhana NN adalah sebuah alat pemodelan data statistik non-linear. NN dapat digunakan untuk memodelkan hubungan yang kompleks antara input dan output untuk menemukan pola-pola pada data (Noviana, 2008).

Suatu sistem *neural network* mempunyai beberapa parameter yang menentukan keberhasilan sistem, yang pertama yaitu pola hubungan antar *neuron* (disebut arsitektur jaringan). Selanjutnya, yang kedua yaitu metode untuk menentukan bobot penghubung (disebut metode *training/learning/algoritma*) serta yang yang ketiga yaitu Fungsi aktivasi.

*Artificial Neural Network* atau yang biasa dikenal sebagai jaringan syaraf tiruan pada dasarnya sistem ini diilhami dari jaringan syaraf yang ada pada struktur biologi manusia tepatnya pada jaringan otak manusia. Walaupun masih jauh dari sempurna, namun kinerja dari tiruan neuron ini identik dengan kinerja dari sel biologi yang kita kenal saat ini. Tiruan neuron dalam struktur jaringan syaraf tiruan adalah sebagai elemen proses yang ditunjukkan pada gambar 2.7 berikut.



Gambar 2.7 Model Tiruan Sebuah Neuron (Kusmaryanto, 2014)

Keterangan :

$a_j$  = Nilai aktivasi dari unit j

$W_{j,i}$  = Bobot dari unit j ke unit i

$in_i$  = Penjumlahan bobot dan masukan ke unit i

$g$  = Fungsi aktivasi

$a_i$  = Nilai aktivasi dari unit i

### 2.8.1 Komponen *Artificial Neural Network*

Pada umumnya ANN memiliki dua lapisan, yaitu *input layer* dan *output layer*. Akan tetapi pada perkembangannya, terdapat ANN yang memiliki satu lapisan lagi, dimana lapisan tersebut terletak di antara *input layer* dan *output layer*. Lapisan ini disebut lapisan *hidden layer* (Ribeiro, 2005).

#### 1. *Input layer*

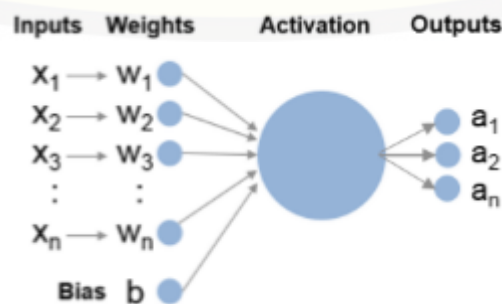
Input terdiri dari dua bagian, yaitu bagian yang nilainya senantiasa berubahubah sesuai dengan respon perangkat masukan ( $i_0, i_1, \dots, i_n$ ) dan bagian kedua adalah bias ( $b_1$ ) yang nilainya tetap/tidak berubah. Masing-masing input tersebut terhubung dengan neuron melalui jalur yang disebut dendrite. Jalur tersebut memiliki nilai bobot (*weight*) yang disimbolkan dengan huruf “w”. Setiap neuron pada input layer terhubung dengan setiap neuron pada *hidden layer*. Demikian juga, setiap neuron pada *hidden layer* terhubung ke setiap neuron pada output layer.

#### 2. *Hidden layer*

Lapisan ini tidak pernah muncul (tersembunyi) sehingga dinamakan *hidden layer*. Akan tetapi semua proses pada fase pelatihan dan fase pengenalan dijalankan di lapisan ini. Jumlah lapisan ini tergantung dari arsitektur yang akan dirancang, tetapi pada umumnya terdiri dari satu lapisan *hidden layer*. Neuron pada *hidden layer* sendiri terdiri dari dua bagian. Bagian pertama merupakan proses penggabungan dari seluruh input dari neuron atau disimbolkan dengan sigma ( $\Sigma$ ), dan bagian kedua adalah fungsi aktivasi dari neuron untuk kemudian informasi yang diperoleh akan diteruskan menuju bagian output.

#### 3. *Output layer*

Output layer berfungsi untuk menampilkan hasil perhitungan sistem oleh fungsi aktivasi pada lapisan *hidden layer* berdasarkan input yang diterima.



Gambar 2.8 Struktur *Neural Network* (Shure 2015)

Secara matematis cara kerja gambar 2.8 dirumuskan sebagai berikut :

$$\text{Nilai } \Sigma \text{input} : (X_0 * W_0) + (X_1 * W_1) + W_b$$

$$\text{Nilai aktivasi} = \text{SigAct} (\text{Nilai } \Sigma \text{input})$$

$$\text{Nilai Neuron} = \text{Nilai aktivasi}$$

dimana :

W : *Weight* atau bobot

b : Bias

X : *Input*

a : *Output*

### 2.8.2 Sejarah *Neural Network*

*Neural network* sederhana pertama kali diperkenalkan oleh McCulloch dan Pitts di tahun 1943. McCulloch dan Pitts menyimpulkan bahwa kombinasi beberapa *neuron* sederhana menjadi sebuah sistem neural akan meningkatkan kemampuan komputasinya. Bobot dalam jaringan yang diusulkan oleh McCulloch dan Pitts diatur untuk melakukan fungsi logika sederhana. Fungsi aktivasi yang dipakai adalah fungsi *threshold*.

Tahun 1958, Rosenblatt memperkenalkan dan mulai mengembangkan model jaringan yang disebut *perceptron*. Metode pelatihan diperkenalkan untuk mengoptimalkan hasil *iterasi*-nya.

Widrow dan Hoff (1960) mengembangkan *perceptron* dengan memperkenalkan aturan pelatihan jaringan, yang dikenal sebagai aturan *delta* (atau sering disebut kuadrat rata-rata terkecil). Aturan ini akan mengubah bobot *perceptron* apabila keluaran yang dihasilkan tidak sesuai dengan target yang diinginkan.

Apa yang dilakukan peneliti terdahulu hanya menggunakan jaringan dengan layer tunggal (*single layer*). Rumelhart (1986) mengembangkan *perceptron* menjadi *backpropagation*, yang memungkinkan jaringan diproses melalui beberapa *layer*.

Selain itu, beberapa model *neural network* lain juga dikembangkan oleh Kohonen (1972), Hopfield (1982), dll. Pengembangan yang ramai dibicarakan sejak tahun 1990an adalah aplikasi model-model *neural network* untuk menyelesaikan berbagai masalah di dunia (Siregar, 2013).

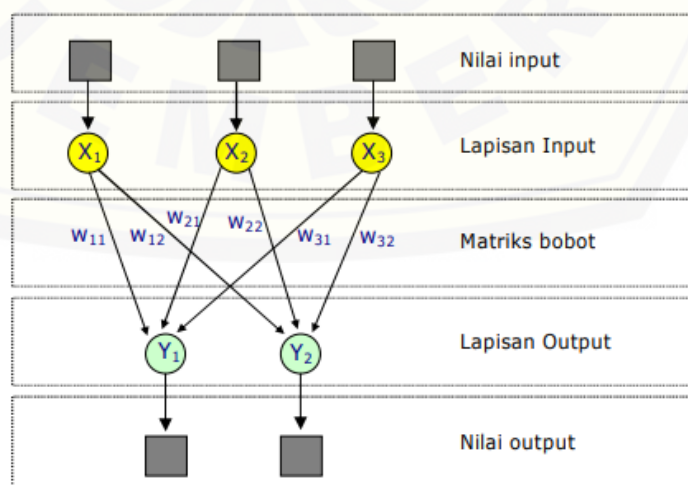
### 2.8.3 Arsitektur Jaringan

Seperti telah dijelaskan sebelumnya bahwa neuron-neuron dikelompokkan dalam lapisan-lapisan. Umumnya, neuron-neuron yang terletak pada lapisan yang sama akan memiliki keadaan yang sama. Faktor terpenting dalam menentukan kelakuan suatu neuron adalah fungsi aktivasi dan pola bobotnya. Pada setiap lapisan yang sama, neuron-neuron akan memiliki fungsi aktivasi yang sama. Apabila *neuron-neuron* dalam suatu lapisan (misalkan lapisan tersembunyi) akan dihubungkan dengan *neuron-neuron* pada lapisan yang lain (misalkan lapisan output), maka setiap neuron pada lapisan tersebut (misalkan lapisan tersembunyi) juga harus dihubungkan dengan setiap lapisan pada lapisan lainnya (misalkan lapisan output).

Ada beberapa arsitektur jaringan syaraf tiruan, antara lain :

#### a. Jaringan dengan Lapisan Tunggal (*Single Layer Net*)

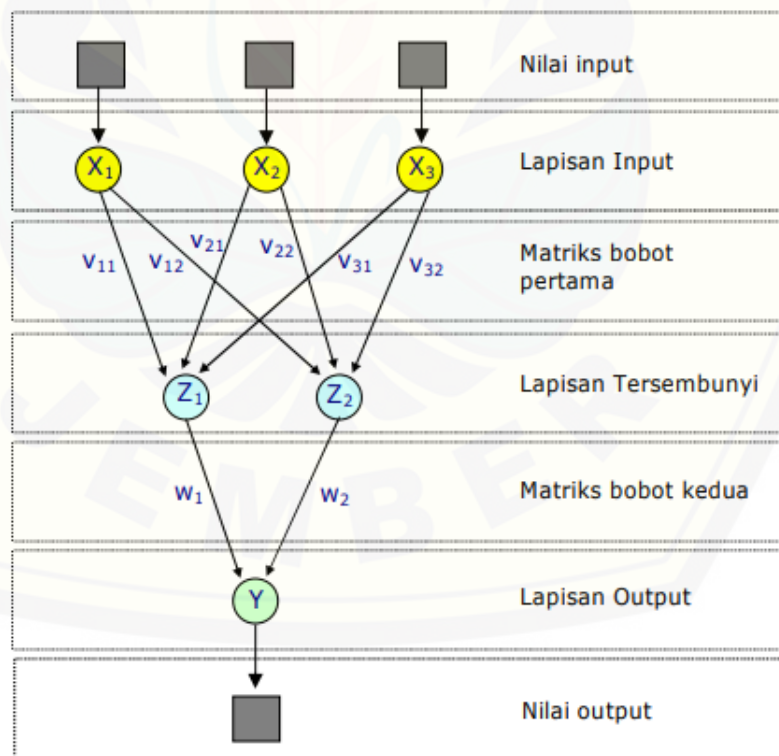
Jaringan dengan lapisan tunggal hanya memiliki satu lapisan dengan bobot-bobot terhubung. Jaringan ini hanya menerima input kemudian secara langsung akan mengolahnya menjadi output tanpa harus melalui lapisan tersembunyi. Pada gambar 2.9 tersebut, lapisan input memiliki 3 neuron, yaitu  $X_1$ ,  $X_2$  dan  $X_3$ . Sedangkan pada lapisan output memiliki 2 neuron yaitu  $Y_1$  dan  $Y_2$ . Neuron-neuron pada kedua lapisan saling berhubungan. Seberapa besar hubungan antara 2 neuron ditentukan oleh bobot yang bersesuaian. Semua unit input akan dihubungkan dengan setiap unit output.



Gambar 2.9 Jaringan Syaraf dengan Lapisan Tunggal (Siregar, 2013)

b. Jaringan dengan Banyak Lapisan (*Multilayer Net*)

Jaringan dengan banyak lapisan memiliki 1 atau lebih lapisan yang terletak diantara lapisan input dan lapisan output (memiliki 1 atau lebih lapisan tersembunyi), seperti terlihat pada Gambar 2.10. Lapisan input menerima sinyal dari luar, kemudian melewatkannya ke lapisan tersembunyi pertama, yang akan diteruskan sehingga akhirnya mencapai lapisan output. Tentunya hal ini berbeda dengan *single layer net* yang hanya memiliki dua lapisan yaitu *input* dan *output*. Umumnya, ada lapisan bobot-bobot yang terletak antara 2 lapisan yang bersebelahan. Jaringan dengan banyak lapisan ini dapat menyelesaikan permasalahan yang lebih sulit daripada lapisan dengan lapisan tunggal, tentu saja dengan pembelajaran yang lebih rumit. Namun demikian, pada banyak kasus, pembelajaran pada jaringan dengan banyak lapisan ini lebih sukses dalam menyelesaikan masalah.

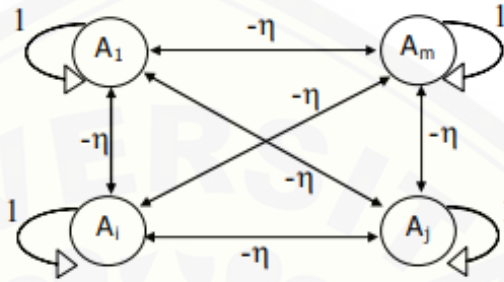


Gambar 2.10 Jaringan Syaraf dengan Banyak Lapisan (Siregar, 2013)



c. Jaringan dengan Lapisan Kompetitif (*Competitive Layer Net*)

Umumnya, hubungan antar neuron pada lapisan kompetitif ini tidak diperlihatkan pada diagram arsitektur. Pada gambar 2.11 tersebut menunjukkan salah satu contoh arsitektur jaringan dengan lapisan kompetitif yang memiliki bobot  $-\eta$ .



Gambar 2.11 Jaringan Syaraf dengan Lapisan Kompetitif (Siregar, 2013)

#### 2.8.4 Fungsi Transfer

Karakter dari *neural network* tergantung atas bobot dan *fungsi input – output* (fungsi transfer) yang mempunyai ciri – ciri tertentu untuk setiap unit. Fungsi ini terdiri dari 3 kategori yaitu :

1. *Linear Units*, aktifitas *output* adalah sebanding dengan jumlah bobot *output*.
2. *Threshold Units*, *Output* diatur satu dari dua tingkatan tergantung dari apakah jumlah *input* adalah lebih besar atau lebih kecil dari nilai ambang.
3. *Sigmoid Units*, *output* terus menerus berubah – ubah tetapi tidak berbentuk linear. Unit ini mengandung kesamaan yang lebih besar dari sel syaraf sebenarnya dibandingkan dengan linear dan *threshold* unit, namun ketiganya harus dipertimbangkan dengan perkiraan kasar.

Untuk membuat *neural network* agar dapat melakukan beberapa kerja khusus, harus dipilih unit – unit yang akan dihubungkan antara satu dengan yang lain dan harus bisa mengatur bobot dari hubungan tersebut secara tepat. Hubungan tersebut akan menentukan apakah mungkin suatu unit mempengaruhi unit yang lain. Bobot menentukan kekuatan dari pengaruh besar tersebut (Nasution, 2009).

### 2.8.5 Aplikasi *Neural Network*

Saat ini *neural network* banyak dipakai dalam berbagai sistem. Beberapa aplikasi *neural network* adalah sebagai berikut :

1. Pengenalan Pola (*Pattern Recognition*)

*Neural network* dapat dipakai untuk mengenali pola (misal huruf, angka, suara atau tanda tangan) yang sudah sedikit berubah. Hal ini mirip otak manusia yang masih mampu mengenali orang yang sudah beberapa waktu tidak dijumpainya (mungkin wajah atau bentuk tubuhnya sudah sedikit berubah).

2. Signal Processing

*Neural network* (model *adaline*) dapat dipakai untuk menekan *noise* dalam saluran telepon.

3. Peramalan

*Neural network* juga dapat dipakai untuk meramalkan apa yang akan terjadi di masa yang akan datang berdasarkan pola kejadian yang ada di masa yang lampau. Peramalan ini dapat dilakukan mengingat kemampuan *neural network* dapat membuat generalisasi dari apa yang sudah ada sebelumnya. *Neural network* juga dapat menyelesaikan masalah dalam bidang kontrol dan kedokteran (Siregar, 2013).

## BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Jenis Penelitian

Penelitian yang dilakukan ini yaitu analisis kondisi transformator daya dengan menggunakan metode DGA (*Dissolved Gas Analysis*) berdasarkan standar IEC 60599 berbasis ANN (*Artificial Neural Network*) yang diimplementasikan pada PT.PLN (Persero) Transmisi Jawa Bagian Timur dan Bali. Pada sistem IEC 60599 terdapat tiga perbandingan gas (*gas ratio*) sebagai input dan memiliki 9 kondisi sebagai output. Tiga rasio gas yaitu R1, R2 dan R3 merupakan hasil perbandingan dari lima gas kunci berupa Hidrogen, Asetilen, Etilen, Metana dan Etana. Dimana dari masing – masing perbandingan gas tersebut memiliki kode tersendiri untuk mengidentifikasi kondisi transformator. Namun terkadang analisis DGA secara manual tidak mampu untuk menyimpulkan hasil. Oleh karena itu penulis disini menggunakan model *Neural Network* dengan tujuan agar mampu mendeteksi banyak pola kondisi transformator secara akurat.

### 3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

#### 3.2.1 Tempat Penelitian

Pada tugas akhir ini, adapun tempat dan waktu penelitian secara umum dilakukan di :

- Tempat : PT. PLN Transmisi Jawa Bagian Timur dan Bali (JBTB)  
Alamat : Jalan Suningrat No. 45, Ketegan, Taman, Kabupaten Sidoarjo,  
Jawa Timur  
Waktu : Mei 2018 – Juli 2018

### 3.2.2 Waktu Pelaksanaan

Sedangkan waktu pelaksanaan mulai dari studi literatur hingga penyusunan laporan dilakukan selama tiga bulan dengan rincian sebagai berikut.

Tabel 3.1 Jadwal Kegiatan Penelitian

No	Kegiatan	Bulan											
		I				II				III			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Studi Literatur	■	■										
2	Perijinan Penelitian			■	■								
3	Pengambilan Data					■	■						
4	Pengolahan Data						■	■					
5	Analisis Hasil								■	■			
6	Pembahasan										■	■	
7	Penyusunan Laporan											■	■

## 3.3 Alat dan Bahan

### 3.3.1 Alat

Adapun alat yang perlu dipersiapkan untuk menunjang penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. PC/Laptop

PC/Laptop diperlukan untuk melakukan simulasi, mengolah data dan media untuk pembuatan laporan.

2. *Software* Matlab R2009a

Simulasi dan analisa DGA (*Dissolved Gas Analysis*) dilakukan dengan metode *Neural Network* menggunakan software MATLAB.

### 3.3.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu berupa data DGA dari PT. PLN Transmisi Jawa Bagian Timur dan Bali (JBTB).

### 3.4 Tahapan Penelitian

Dalam penelitian yang akan dilakukan terdapat serangkaian tahap yang harus dilakukan demi mencapai tujuan penelitian yang diharapkan. Diantara tahap-tahap dalam penelitian ini secara garis besarnya meliputi :

#### 1. Tahap Studi literatur terhadap objek penelitian

Mengumpulkan dan mempelajari tentang metode *Artificial Neural Network* (ANN) dan mekanisme interpretasi data *Dissolve Gas Analysis* yang diperoleh dari literatur jurnal maupun buku.

#### 2. Tahap Perijinan Penelitian

Pada Tahap ini merupakan tahap yang dilakukan oleh penulis untuk mengurus perijinan yang akan ditujukan kepada PT.PLN (Persero) Transmisi Jawa Bagian Timur dan Bali. Agar penulis dapat secara legal diterima untuk melakukan penelitian pada PT.PLN.

#### 3. Tahap pengumpulan data

Tahap ini merupakan tahapan yang penting untuk analisa data serta untuk menjalankan simulasi pada Matlab. Data yang diperlukan yaitu data DGA berupa konsentrasi gas terlarut pada minyak transformator yang telah dilakukan pengujian oleh PT.PLN Transmisi Jawa Bagian Timur dan Bali.

#### 4. Tahap Pengolahan Data

Data yang telah dipetoleh dari PT.PLN Transmisi JBTB, selanjutnya akan diolah untuk mengetahui kondisi minyak isolasi pada transformator dengan metode interpretasi data IEC 60559 berbasis ANN (*Artificial Neural Network*).

#### 5. Tahap Analisis Hasil

Analisa Hasil dilakukan dengan menggunakan software MATLAB, kemudian hasilnya dibandingkan dengan nilai-nilai analisis yang diperoleh. Apakah hasilnya sesuai standar IEC serta hasilnya akurat untuk membaca kondisi transformator berdasarkan metode DGA.

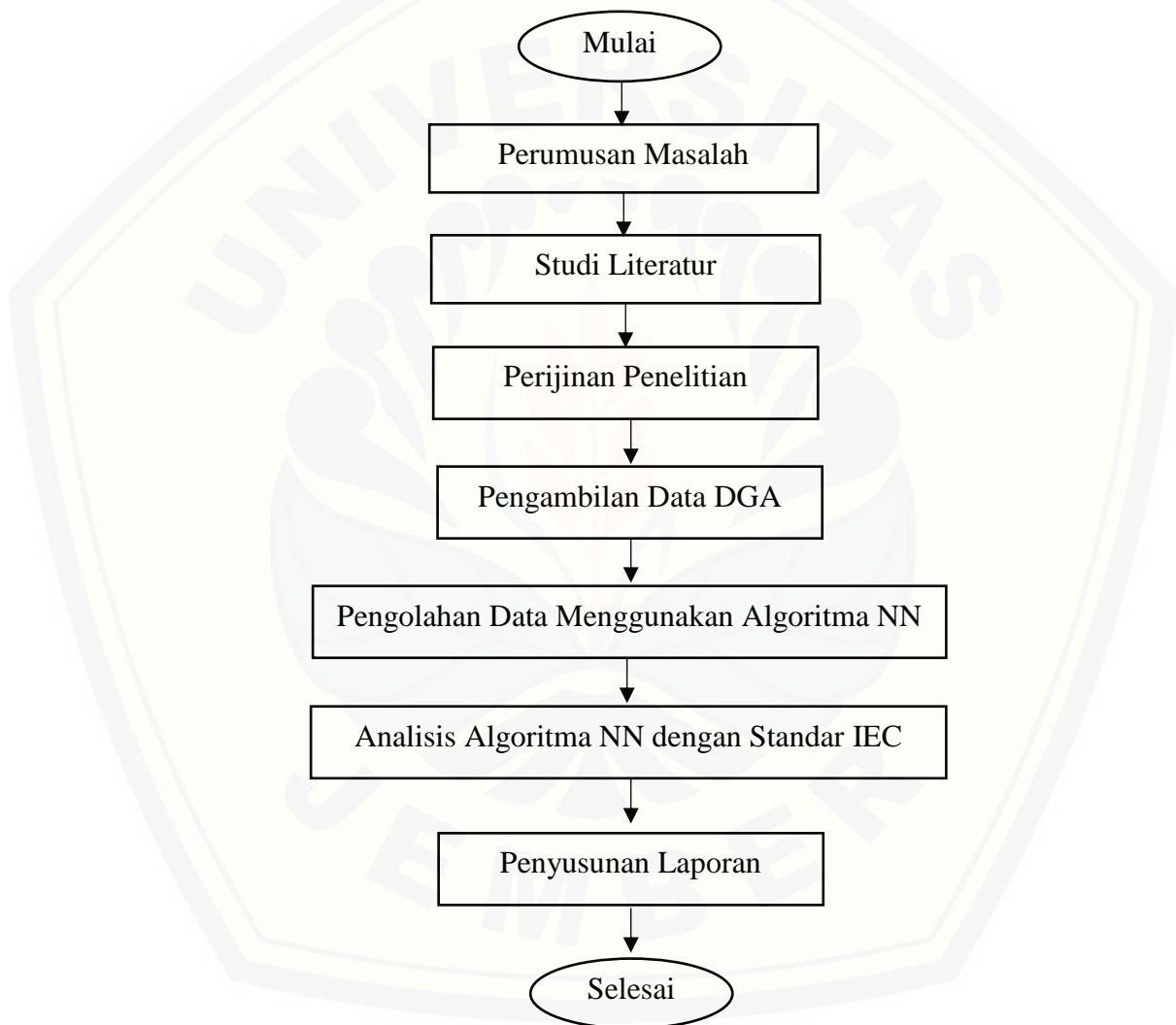
#### 6. Tahap penyusunan laporan

Setelah data selesai dianalisis dan diolah, tahap akhir yang dilakukan adalah penyusunan laporan.

### 3.5 Diagram Alir Penelitian

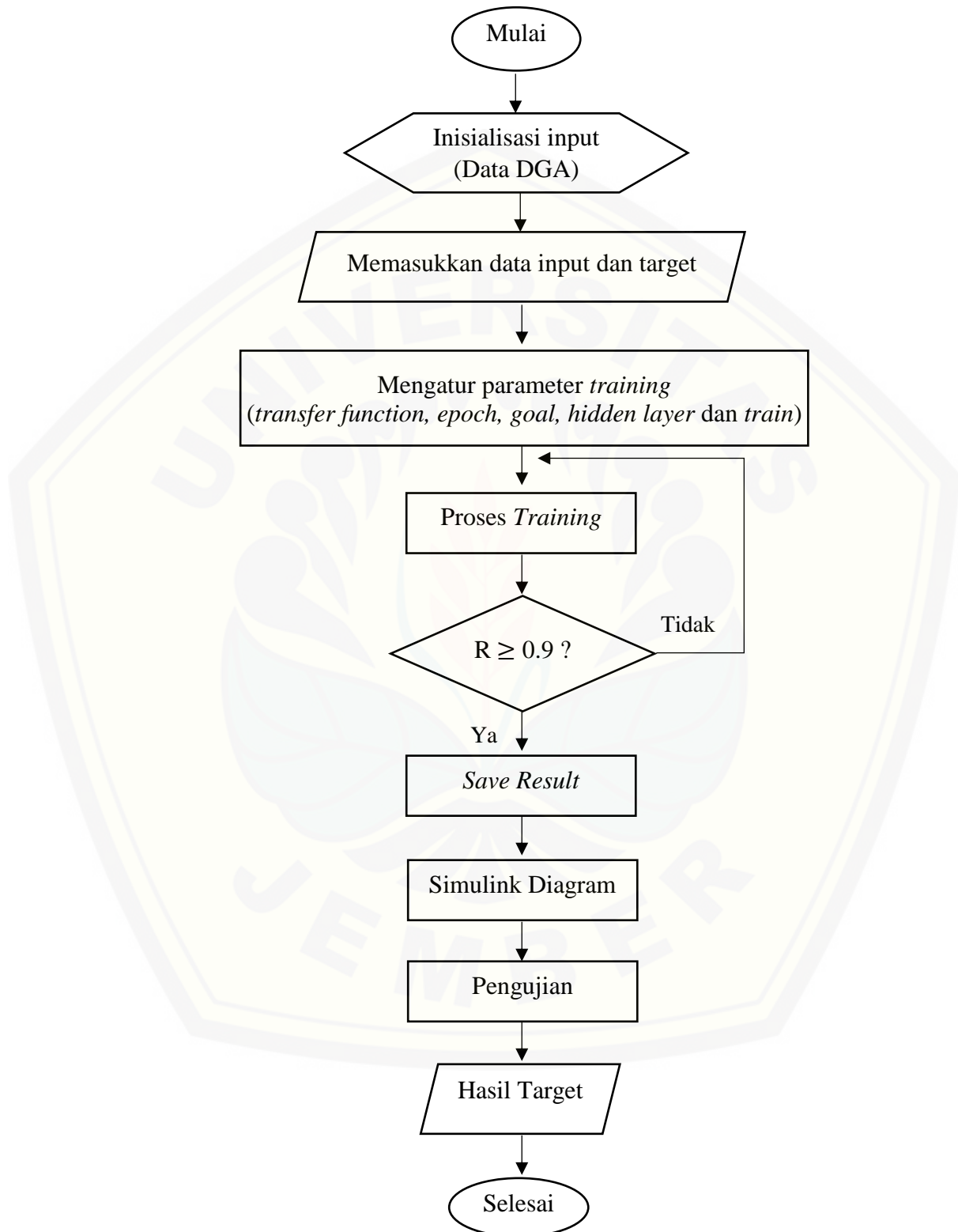
#### 3.5.1 Flowchart Penelitian Awal

Pada sub-subbab ini dibahas mengenai diagram alir penelitian yang akan dilakukan. *Flowchart* yang pertama merupakan *flowchart* pelaksanaan penelitian yang telah dijelaskan sebelumnya. Secara garis besar proses tahapan penelitian digambarkan pada diagram alir penelitian pada gambar 3.1 berikut.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

## 3.5.2 Flowchart Penelitian DGA menggunakan ANN



Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian DGA menggunakan ANN

Pada gambar 3.2 merupakan flowchart penelitian DGA menggunakan ANN. Tahap pertama yang dilakukan adalah inisialisasi *input* pada *Neural Network* berupa data DGA dan memasukkannya pada serangkaian program. Selanjutnya adalah memasukkan data *input* dan target. Data *input* yang dimaksud yaitu data perbandingan gas dari tiga buah rasio berdasarkan standar *IEC Ratio* 60599. Sedangkan data target merupakan kondisi transformator. Untuk menginterpretasikan kondisi transformator dari kondisi normal, *arc discharge*, *partial discharge* dan *overheating* maka digunakan angka '0001' sampai '1001' untuk mempermudah proses *training* dan simulasi yang dapat dilihat pada tabel 3.5 dan tabel 3.6.

*Artificial neural network* ini memiliki fitur berupa *training data*, sedangkan *input* tadi merupakan data yang akan dilakukan *training*. Namun, sebelum dilakukan proses *training* diperlukan pengaturan parameter *training* berupa *transfer function*, *epoch*, *goal*, *hidden layer* dan *learning rate*. Parameter *training* tersebut diatur hingga memiliki nilai *Regretion* mendekati 1. Nilai R digunakan untuk analisis kedekatan hubungan antara *output* jaringan dengan output *target*. Apabila nilai *Regretion* semakin mendekati 1, maka artinya proses *training* hasilnya baik. Oleh karena itu, pada penelitian ini dibatasi nilai *Regretion* pada angka 0,9. Apabila nilai *Regretion* lebih besar atau sama dengan 0,9 maka hasil dari proses *training* akan disimpan. Sedangkan, apabila nilai *Regretion* kurang dari 0,9 maka akan dilakukan *training* ulang sampai targetnya terpenuhi.

Setelah mendapatkan hasil *training* yang sesuai, maka langkah selanjutnya adalah mengeluarkan blok *simulink* diagram *neural network* hasil proses *training*. Blok *simulink neural network* tersebut yang akan digunakan pada sistem analisis DGA untuk menentukan kondisi transformator sesuai metode IEC 60599. Setelah itu dilakukan pengujian data berupa data DGA yang telah ditentukan yaitu dari PT. PLN (Persero) Transmisi Jawa Bagian Timur dan Bali.

Data hasil pengujian tersebut selanjutnya dimasukkan dalam Hasil Target. Hasil Target merupakan analisa untuk membandingkan data hasil pengujian dengan data yang asli. Kesesuaian hasil menjadi tolak ukur keakuratan pada sistem *neural network* yang telah dibangun. Semakin banyak kesamaan antara data hasil pengujian dengan data riil, maka dapat dikatakan akurasinya semakin tinggi.



### 3.6 Standar IEC 60599

Standar IEC 60599 merupakan metode interpretasi data DGA untuk menentukan kondisi transformator berdasarkan pada rasio lima gas kunci yaitu  $H_2$ ,  $CH_4$ ,  $C_2H_4$ ,  $C_2H_6$  dan  $C_2H_2$ . Pada metode ini tiga gas rasio dikelompokkan ke dalam  $R1 = C_2H_2 / C_2H_4$ ,  $R2 = CH_4 / H_2$ ,  $R3 = C_2H_4 / C_2H_6$ . Nilai-nilai rasio R1, R2 dan R3 yang telah dikodekan dapat dilihat pada tabel 3.2 berikut. Kombinasi kode dari masing-masing R1, R2 dan R3 adalah indikator pendeteksian kemungkinan gangguan yang terjadi secara dini pada transformator. Pada tabel 3.3 berikut merupakan kode gangguan berdasarkan standar IEC 60599 dari masing – masing kode R1, R2 dan R3.

Tabel 3.2 Kode IEC

Gas Ratio	Value	Code
$R1 = C_2H_2 / C_2H_4$	$R1 \leq 0,1$	0
	$0,1 \leq R1 \leq 3$	1
	$R1 \geq 3$	2
$R2 = CH_4 / H_2$	$R2 \leq 0,1$	1
	$0,1 \leq R2 \leq 1$	0
	$R2 \geq 1$	2
$R3 = C_2H_4 / C_2H_6$	$R3 \leq 1$	0
	$1 \leq R3 \leq 3$	1
	$R3 \geq 3$	2

Tabel 3.3 Kode Gangguan pada Transformator berdasarkan Standar IEC

No	Type of Fault	Code		
		R1	R2	R3
1	<i>No Fault</i>	0	0	0
2	<i>Partial Discharge with low energy density</i>	0	1	0
3	<i>Partial Discharge with high energy density</i>	1	1	0
4	<i>Discharge (arc) with low energy</i>	1/2	0	1/2
5	<i>Discharge (arc) with high energy</i>	1	0	2
6	<i>Thermal fault of temperatures &lt; 150° C</i>	0	0	1
7	<i>Thermal fault of temperatures 150° C - 300° C</i>	0	2	0
8	<i>Thermal fault of temperatures 300° C - 700° C</i>	0	2	1
9	<i>Thermal fault of temperatures &gt; 700° C</i>	0	2	2

### 3.7 TDCG (Std. IEEE C57.104-2008)

TDCG adalah jumlah gas terlarut yang mudah terbakar (*Total Dissolved Combustible Gas*) yang digunakan untuk mengawasi degradasi material isolasi transformator dengan menghitung jumlah volume gas yang terbentuk. Total volume gas yang terbentuk digunakan sebagai indikator kegagalan yang terjadi. Terdapat empat kondisi yang mengindikasikan keadaan transformator. Data DGA yang telah diperoleh dari PT. PLN Transmisi JBTB nantinya akan diolah dengan standar IEC 60599 menggunakan *Artificial Neural Network* dan standar IEEE C57.104-2008 digunakan sebagai batasan antara kondisi normal dan kondisi kemungkinan terjadi kegagalan pada transformator. Gas yang didapat kemudian diklasifikasikan menurut batas kondisi gas yang ditetapkan yaitu :

Tabel 3.4 Batas Konsentrasi Gas Individual IEEE Std. C57.104-2008

<b>Kondisi Gas Terlarut</b>				
<b>Jenis gas</b>	Kondisi 1	Kondisi 2	Kondisi 3	Kondisi 4
<b>H<sub>2</sub></b>	100	101-700	701-1800	>1800
<b>CH<sub>4</sub></b>	120	121-400	401-1000	>1000
<b>C<sub>2</sub>H<sub>4</sub></b>	50	51-100	101-200	>200
<b>C<sub>2</sub>H<sub>2</sub></b>	1	2-9	10-35	>35
<b>C<sub>2</sub>H<sub>6</sub></b>	65	66-100	101-150	>150
<b>CO</b>	350	351-570	571-1400	>1400
<b>CO<sub>2</sub></b>	2500	2501-4000	4001-10000	>10000
<b>TDCG</b>	720	721-1920	1921-4630	>4630

Sumber : IEEE Std C57.104-2008

Berikut ini merupakan penjelasan mengenai kondisi transformator berdasarkan standar IEEE C57.104-2008 :

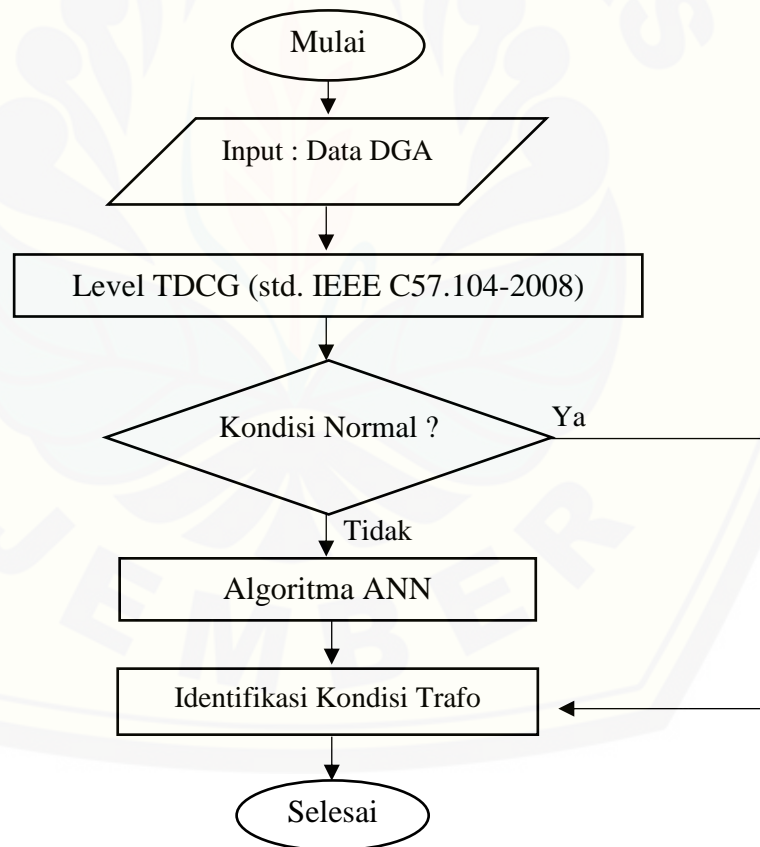
- a. Kondisi 1 : Total gas terlarut yang mudah terbakar (TDCG) di atas menunjukkan transformator beroperasi dengan baik atau normal.
- b. Kondisi 2 : Pada kondisi ini menandakan komposisi gas sudah melebihi batas normal. Bila salah satu gas sudah melebihi batas level, maka harus diinvestigasi dengan cepat.
- c. Kondisi 3 : TDCG dalam kisaran ini menunjukkan tingkat tinggi adanya dekomposisi selulosa isolasi dan/atau minyak. Sebuah atau berbagai kegagalan

mungkin terjadi. Pada kondisi ini sudah harus diwaspadai dan perlu perawatan lebih lanjut.

- d. Kondisi 4 : TDCG dalam kisaran ini menunjukkan dekomposisi yang berlebihan selulosa isolasi dan/atau minyak transformator sudah meluas. Operasi lanjutan dapat mengakibatkan kegagalan transformator.

### 3.8 Flowchart Perancangan Sistem

Pada penelitian ini menggunakan simulasi algoritma *Artificial Neural Network* (ANN) yang diterapkan pada *Dissolved Gas Analysis* (DGA) berdasarkan standar IEC 60599. Sistem ANN digunakan untuk mempermudah analisis kondisi minyak transformator dengan hasil yang akurat. Untuk lebih jelasnya, *flowchart* perancangan sistem dapat dilihat pada gambar 3.3 berikut.



Gambar 3.3 *Flowchart* Perancangan Sistem

### 3.8.1 Penerapan standar IEEE C57.104-2008 pada Sistem

Standar IEC 60599 menggunakan sistem perbandingan dalam menentukan setiap kondisi transformator. Hal ini akan mengakibatkan masalah dalam menentukan kondisi transformator apabila konsentrasi gas-gas tersebut dalam keadaan kecil, yang kondisi seharusnya normal bisa terdeteksi kondisi yang lainnya. Maka dari itu dibutuhkan batas konsentrasi gas individual standart IEEE C57.104-2008 sebagai batas antar kondisi normal dengan kondisi yang mungkin terjadi gangguan.

Dalam menentukan batas konsentrasi gas individual standart IEEE C57.104-2008 untuk digunakan dalam standar IEC 60599, maka digunakan batas konsentrasi gas pada kondisi 1. Karena dalam kondisi 1 gas masih dalam kondisi normal dan belum mengindikasikan terjadinya kegagalan menurut IEEE C57.104-2008. Sehingga yang akan diproses pada *neural network* berbasis standar IEC 60599 adalah level konsentrasi gas yang berada diluar kondisi 1 berdasarkan standar IEEE C57.104-2008. Sedangkan apabila setiap level gas individual berada pada kondisi 1, maka hasilnya secara otomatis menunjukkan kondisi transformator pada keadaan normal.

### 3.8.2 Implementasi ANN (*Artificial Neural Network*) untuk DGA

Pada penelitian ini, Matlab digunakan untuk menyusun model ANN untuk menginterpretasikan data DGA berdasarkan standar tertentu. Standar yang digunakan dalam *training* ANN pada penelitian ini adalah standar IEC 60599. Implementasi neural network pada DGA dilakukan melalui dua tahap, pertama yaitu set data model *neural network* dan yang kedua yaitu proses *training network*.

#### 1. Set Data dan Inisialisasi Model *Neural Network*

Pada standar IEC 60599 ini membutuhkan tiga buah *input* berupa rasio perbandingan gas yaitu R1, R2 dan R3 serta memiliki sembilan buah *output* yang masing-masing mendeteksi keadaan sebuah transformator. Untuk mempermudah dalam proses *training* ANN, maka output dari setiap kondisi dalam transformator diubah menjadi angka-angka tertentu sehingga dapat dipahami oleh algoritma ANN, seperti pada tabel 3.5 dan tabel 3.6.

Tabel 3.5 Inisialisasi *Output* DGA pada *Neural Network*

<i>Kegagalan</i>	<i>Nilai output</i>
<i>Normal</i>	0 0 0 1
<i>Partial discharge akibat densitas energi rendah</i>	0 0 1 0
<i>Partial discharge akibat densitas energi tinggi</i>	0 0 1 1
<i>Discharges energi rendah</i>	0 1 0 0
<i>Discharges energi tinggi</i>	0 1 0 1
<i>Termal rendah &lt;150°C</i>	0 1 1 0
<i>Termal rendah antara 150°C -300°C</i>	0 1 1 1
<i>Termal rendah antara 300°C -700°C</i>	1 0 0 0
<i>Termal tinggi &gt;700°C</i>	1 0 0 1

Tabel 3.6 Nilai *Input* dan *Output*

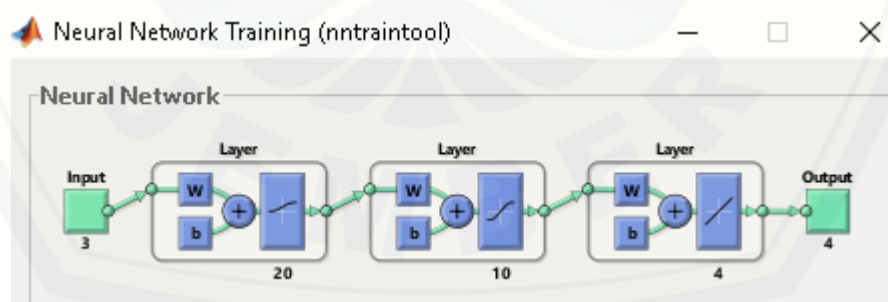
<i>Nilai input</i>			<i>Nilai output</i>
$C_2H_2/C_2H_4$ (R1)	$CH_4/H_2$ (R2)	$C_2H_4/C_2H_6$ (R3)	
< 0.1	0.1-1	< 1	0 0 0 1
< 0.1	< 0.1	< 1	0 0 1 0
0.1 – 3	< 0.1	< 1	0 0 1 1
$\geq$ 0.1	0.1-1	$\geq$ 1	0 1 0 0
0.1 – 3	0.1-1	> 3	0 1 0 1
< 0.1	0.1-1	1-3	0 1 1 0
< 0.1	> 1	< 1	0 1 1 1
< 0.1	> 1	1-3	1 0 0 0
< 0.1	> 1	> 3	1 0 0 1

Saat membangun model ANN pada penelitian ini, hal pertama yang dilakukan adalah membangun data *training*. Data *training* merupakan data acak yang sesuai dengan setiap kondisi dalam standar IEC 60599. Selanjutnya yaitu inisialisasi model ANN yang akan di-*training*. Model ANN sudah tersedia dalam simulasi matlab, dimana untuk melakukan simulasi dibutuhkan hasil *training* yang memiliki nilai *Regretion* mendekati angka 1.

## 2. Proses *Training Network*

Model jaringan syaraf tiruan yang diterapkan yaitu *Multi Layer Perceptron* (MLP) yang mempunyai tiga buah *layer* yaitu *input layer*, *hidden layer* dan *output layer*. Pada bagian *hidden layer* tersusun atas neuron-neuron dengan fungsi alih nonlinier sebanyak 10 neuron dan pada bagian *output layer* tersusun sebanyak satu buah neuron. *Transfer function* yang digunakan adalah '*logsig*' digunakan untuk *hidden layer* dan '*purelin*' digunakan untuk *output layer*. Proses *training* algoritma yang digunakan yaitu *trainlm* dan metode *training* yang digunakan yaitu Algoritma *Levenberg-Marquardt* karena merupakan algoritma *training* yang paling cepat dibanding metode yang lainnya.

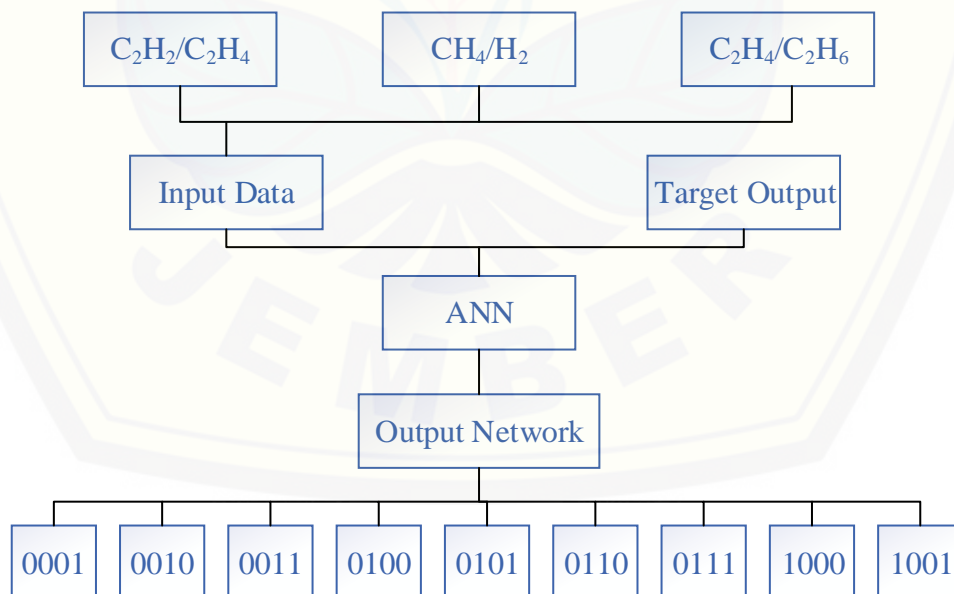
Pengembangan model *neural network* yang akan dibangun terdiri dari sebuah *input layer*, dua buah *hidden layer* dan sebuah *output layer* dengan menggunakan teknik pelatihan berupa *Backpropagation* (*default*). Pada bagian *input layer* ini terdiri dari 3 neuron yang digunakan sebagai media masukan untuk tiga buah ratio konsentrasi gas berupa R1, R2 dan R3. *Hidden layer* pertama diatur sebanyak 20 neuron dan *hidden layer* kedua diatur sebanyak 10 neuron. Sedangkan *output layer* terdiri dari 4 buah neuron yang memberikan sembilan kondisi transformator sebagai *output*. Model ANN yang terdiri dengan sebuah *input layer*, dua buah *hidden layer* dan sebuah *output layer* ditunjukkan pada gambar 3.4.



Gambar 3.4 *Artificial Neural Network*

Model ANN dikembangkan dan dilatih untuk setiap kegagalan yang terjadi dalam transformator. Semua tipe *input* dan *output* untuk semua kondisi pada standar IEC 60599 akan dimasukkan dalam data *training* untuk menghindari kegagalan yang tidak terdeteksi dalam model ANN. Maka, ANN akan dilakukan *training* paling tidak dengan 100 data pada setiap kondisi yang berbeda. Karena semakin banyak data yang dimasukkan untuk *training*, maka sistem *neural network* akan semakin cerdas pula.

*Training* ANN dilakukan untuk melatih sistem ANN mengenali setiap kondisi yang telah diberikan. Apabila proses *training* selesai dilakukan, maka tahap selanjutnya yang dilakukan adalah pengujian. Pengujian model ANN dilakukan untuk menguji apakah hasil tes ANN tersebut sudah sesuai dengan standar IEC 60599 atau tidak. Dalam pengujian model ANN memerlukan data kondisi transformator untuk menentukan seberapa akurat model ANN dalam menentukan kondisi transformator. Blok diagram model ANN untuk mendiagnosa kondisi transformator dapat dilihat pada Gambar 3.5 berikut.



Gambar 3.5 Blok Diagram Model ANN untuk Mendiagnosa Kondisi Transformator

### 3.9 Rancangan Model *Neural Network*

Untuk membangun arsitektur jaringan *neural network* pada *software* Matlab, langkah awal yang dilakukan yaitu menentukan *input* (P) dan target (T). *Input* dan target diperoleh dari sekumpulan data acak sesuai dengan data DGA, setelah diperoleh *input* dan target maka dibangun jaringan *neural network*. Jaringan *neural network multilayer perceptron* (Lavenberg-Marquardt) minimal memiliki dua buah *layer*, yaitu *layer* tersembunyi dan *output layer*. Jaringan *neural network* dilatih menggunakan perkiraan pada algoritma *backpropagation*.

Untuk membuat model *neural network*, tentunya hal yang harus dilakukan adalah membuat *listing* program untuk *generate* atau membangun blok model *neural network*. Adapun *listing* program untuk membangun blok model *neural network* dapat dilihat pada tampilan berikut ini.

```

clc
clear
load dga9.mat;
P=dga9(:,1:3)';
T=dga9(:,4:7)';

%membangun jaringan feed-forward backpropagation
net=newff(minmax(P),[20 4], {'logsig','purelin'},'trainlm');

%set max epoch, goal, learning rate dan show step
net.trainParam.epochs =1000;
net.trainParam.goal = 1e-4;
net.trainParam.lr = 0.1;
net.trainParam.show = 20;

%melakukan training
net = train(net,P,T);

%melakukan simulasi
y = sim(net,P);
gensim(net)

%menampilkan plot diagram hasil training.
plot ([1:size(P,2)]',T,'bo',[1:size(P,2)]', y,'r*');
title('hasil perbandingan antara data pelatihan target (o), output
jaringan(*)');
xlabel('input'); ylabel('target/output');

```



Berdasarkan *listing* program tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut.

```
clc  
clear
```

Instruksi di atas merupakan perintah untuk membersihkan *command window* setiap kali program dijalankan. Sehingga, pada *command window* tidak menumpuk hasil program yang telah di jalankan sebelumnya.

```
load dga9.mat;  
P=dga9(:,1:3)';  
T=dga9(:,4:7)';
```

Instruksi di atas merupakan perintah untuk memanggil data yang telah disimpan dalam bentuk *workspace*, dengan P sebagai *input* dan T sebagai target.

```
net=newff(minmax(P),[20 4], {'logsig','purelin'},'trainlm');
```

Jaringan *feed-forward neural network* dari fungsi di atas terdiri dari 2 buah *layer*. *Layer* pertama merupakan *hidden layer* yang tersusun atas neuron-neuron dengan fungsi alih nonlinier sebanyak 10 neuron. *Layer* kedua adalah *output layer* yang tersusun atas neuron-neuron dengan fungsi alih linier sebanyak 4 buah neuron. Fungsi aktivasi yang digunakan pada *layer* pertama dan kedua pada pemrograman *M-File* Matlab berturut-turut adalah : *tansig* dan *purelin*.

```
net.trainParam.epochs =1000;  
net.trainParam.goal = 1e-4;  
net.trainParam.lr = 0.1;  
net.trainParam.show = 20;
```

Sintak di atas merupakan sintak untuk mengatur jumlah *epochs* maksimum, mengatur kinerja tujuan, mengatur laju pembelajaran (*learning rate*) dan mengatur jumlah *epochs* yang akan ditunjukkan kemajuannya. *Maximum epoch* adalah jumlah *epoch* maksimum yang boleh dilakukan selama proses pelatihan., iterasi akan dihentikan apabila nilai *epoch* melebihi *maximum epoch*. Untuk fungsi *goal* adalah nilai fungsi kinerja, iterasi akan dihentikan apabila nilai kinerja sama dengan nilai *goal* yang telah ditentukan. Untuk fungsi *learning rate* berfungsi untuk mengatur laju pembelajaran. Semakin besar nilai *learning rate* maka menyebabkan

semakin besar langkah pembelajarannya. Jika *learning rate* terlalu besar, maka algoritma akan menjadi tidak stabil. Sebaliknya, jika *learning rate* terlalu kecil maka algoritma akan konvergen dalam jangka waktu sangat lama. Nilai *default* untuk *learning rate* adalah 0,01. Selanjutnya adalah membuat perintah *training* dengan instruksi sebagai berikut.

```
net = train(net,P,T);
```

Sedangkan untuk memproses simulasi dan menampilkan hasil dari pembelajaran berupa blok model *neural network* adalah sebagai berikut :

```
y = sim(net,P);  
gensim(net)
```

Sintak terakhir yaitu untuk menampilkan grafik perbandingan antara keluaran yang didapat dengan target, instruksi yang dibuat adalah sebagai berikut.

```
plot ([1:size(P,2)]',T, 'bo', [1:size(P,2)]', y, 'r*');  
title('hasil perbandingan antara data pelatihan target (o), output jaringan(*)');  
xlabel('input'); ylabel('target/output');
```

Proses *running* atau *training neural network* dimulai dari *neuron* terendah pada *hidden layer*. Pengaturan jumlah *neuron* yang optimal diharapkan di dalam pembelajarannya (*training*) tidak memakan waktu yang lama dan tidak membutuhkan RAM komputer terlalu besar, karena semakin banyak jumlah *neuron* yang kita gunakan maka RAM komputer yang dibutuhkan juga semakin besar. Jika di dalam pembelajaran *neural network* yang pertama dengan *neuron* yang sedikit tidak didapatkan hasil yang maksimal atau nilai output jauh dari target, maka pada *training* *neuronnya* harus ditambah, hingga pembelajarannya didapat output yang sama dengan target. Akan tetapi untuk menghindari waktu yang terlalu lama dan memori yang besar pada saat proses *training* maka dilakukan pembatasan.

Berikut ini adalah tabel yang berisikan rancangan arsitektur *neural network* yang digunakan dalam proses *training neural network*. Dimana parameter *training neural network* ini nantinya dilakukan eksperimen untuk mendapatkan hasil regresi yang paling baik.

Tabel 3.7 Arsitektur jaringan *neural network*

Epochs Max	: 1000
Jumlah <i>Hidden Layer</i> Max	: 2
Jumlah <i>Neuron Hidden Layer 1</i> Max	: 20
Jumlah <i>Neuron Hidden Layer 2</i> Max	: 10
Fungsi Aktivasi <i>Hidden Layer</i>	: <i>logsig, tansig</i>
Fungsi Aktivasi <i>Output Layer</i>	: <i>purelin</i>
<i>Training Function</i>	: <i>trainlm (Lavenberg-Marquardt)</i>
<i>Learning Rate</i>	: 0,1

Nilai parameter *training* diatas akan digunakan untuk percobaan agar mendapatkan nilai *regresion* yang paling baik dan *error* yang paling kecil. *Training* dilakukan dimulai dengan mencoba parameter yang paling kecil sampai nilai yang paling besar sampai batas maksimal yang telah ditetapkan di atas. Masing-masing parameter akan dibandingkan hasilnya sehingga diketahui perbedaan hasil *regresi* dan *error* untuk mengetahui konfigurasi *neural network* yang paling baik.

### 3.10 Data Pelatihan *Neural Network*

Data yang digunakan sebagai pelatihan *neural network* adalah data acak dari microsoft excel dengan masukan berupa rasio perbandingan gas R1, R2 dan R3 dan target adalah output bilangan biner. Analisa DGA adalah analisis kondisi transformator yang diperoleh hasilnya dengan menghitung perbandingan gas-gas terlarut. Sehingga yang digunakan sebagai masukan sistem *neural network* adalah hasil pembagian tiap-tiap gas yang disebut rasio perbandingan gas R1, R2 dan R3. Nilai input bervariasi tergantung *code* yang terdapat pada kondisi transformator. diman setiap *code* memiliki rentang nilai sendiri. Sedangkan untuk nilai *target*

*neural network* dinyatakan dalam bentuk biner sesuai dengan tabel 3.6. Sehingga nilai *target* bervariasi pada setiap kondisi transformator. Data yang digunakan untuk pelatihan *neural network* yaitu sebanyak 100 data pada tiap kondisi. Namun untuk kondisi *Discharge (arc) with low energy* dibedakan menjadi tiga jenis, karena memiliki kode yang berbeda dengan kondisi-kondisi lainnya. Tujuannya adalah untuk mengurangi kesalahan baca pada kondisi *Discharge (arc) with low energy*. Sehingga jumlah data *training* yang dilakukan yaitu sebanyak 1100 data. Tabel 3.8 berikut ini merupakan tabel penyusunan data keseluruhan *input* dan *target* pada *neural network*. Data selengkapnya dapat dilihat pada lampiran b.

Tabel 3.8 Pola data pelatihan *neural network*

Pola	Input				Target		
	x1	x2	x3	x4	y1	y2	y3
1	0	0,865	0,549	0	0	0	1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
100	0,039	0,254	0,813	0	0	0	1
101	0,058	0,082	0,51	0	0	1	0
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
200	0,028	0,078	0,579	0	0	1	0
201	1,99	0,05	0,78	0	0	1	1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
300	0,608	0,095	0,802	0	0	1	1
301	1,105	0,7	2,747	0	1	0	0
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
400	0,157	0,79	2,606	0	1	0	0
401	8,636	0,619	2,533	0	1	0	0
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
500	5,04	0,246	2,782	0	1	0	0
501	5,81	0,367	9,314	0	1	0	0
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
600	3,508	0,645	12,975	0	1	0	0

Pola	Training				Input		
	x1	x2	x3	x4	y1	y2	y3
601	2,76	0,166	13,732	0	1	0	1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
700	2,467	0,251	8,243	0	1	0	1
701	0,099	0,902	1,375	0	1	1	0
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
800	0,094	0,452	1,064	0	1	1	0
801	0,036	9,471	0,495	0	1	1	1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
900	0,049	3,946	0,48	0	1	1	1
901	0,038	4,789	1,681	1	0	0	0
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1000	0,037	9,768	1,756	1	0	0	0
1001	0,087	17,101	89,603	1	0	0	1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1100	0	3,359	47,968	1	0	0	1

Berikut ini adalah penjelasan tentang proses dalam penyusunan dan pengelompokan data yang digunakan sebagai proses pelatihan dan pengujian untuk menentukan kondisi transformator menggunakan algoritma *neural network*.

1. Data pelatihan berjumlah 1100 data. Pada masing-masing kondisi memiliki pola sebanyak 100 data, kecuali pada kondisi *Discharge (arc) with low energy*.
2. Data yang input berupa hasil perbandingan konsentrasi gas yang disebut rasio gas R1, R2 dan R3 dengan rentang nilai sesuai dengan kode *fault* transformator. sedangkan target adalah output kondisi trafo dalam bentuk angka biner.
3. Pembentukan pola data yaitu diurutkan mulai dari kondisi normal sampai kondisi kegagalan *thermal* tinggi diatas 700°C, dengan mengkonversi kondisi transformator menjadi *output* berupa bilangan biner.
4. Pengujian dilakukan dengan menggunakan data DGA yang diperoleh dari PT.PLN untuk menganalisis kondisi transformator tersebut.

## BAB 5. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dan berdasarkan hasil simulasi yang diperoleh, maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Berdasarkan hasil eksperimen, arsitektur *neural network* dengan 2 *hidden layer* hasilnya lebih baik dibandingkan 1 *hidden layer*. Model *neural network* dengan arsitektur jaringan 2 *hidden layer* yang paling optimal yaitu pada *hidden layer* pertama diatur 20 neuron dengan fungsi transfer *logsig*, *hidden layer* kedua diatur 10 neuron dengan fungsi transfer *tansig* dan *output layer* diatur 4 neuron dengan fungsi aktivasi *purelin*. Sehingga memiliki nilai koefisien korelasi (*regretion*) sebesar 0,99984 dan MSE (*Mean Square Error*) bernilai 0,00076.
2. Metode *neural network* memiliki kemampuan diagnosis yang cukup baik. karena dari 351 data pengujian yang dilakukan, metode *neural network* mampu mendiagnosis 282 kasus dan metode *neural network* dengan fungsi tambahan IEEE C57.108-2008 mampu mendiagnosis sebanyak 314 kasus. Hasil tersebut diduga lebih baik dari metode IEC yang hanya mampu mendiagnosis 131 data.
3. Perbandingan nilai akurasi yang dilakukan dengan menggunakan 131 data sesuai kondisi yang terdeteksi standar IEC 60599, model *neural network* memiliki nilai akurasi sebesar 92,37%. Sedangkan model *neural network* dengan penambahan standar IEEE C57.104-2008 memiliki nilai akurasi sebesar 94,66%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa standar IEEE mampu meningkatkan kemampuan diagnosis dan nilai akurasi dari metode *neural network* biasa.

### 5.2 Saran

Pada penelitian ini algoritma *neural network* digunakan untuk mempercepat proses analisis DGA dengan metode IEC 60599 serta meningkatkan akurasi dari penelitian sebelumnya. Untuk penelitian selanjutnya dapat ditingkatkan lagi kemampuan analisis dari algoritma *neural network* agar dapat mengenali kondisi transformator yang tidak terdefinisi oleh metode IEC dengan menggunakan pelatihan sesuai kondisi transformator yang terdapat di lapangan.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Demmasabu, A. R., L. S. Patras dan F. Lisi. 2014. Analisa Kegagalan Transformator Daya Berdasarkan Hasil Uji Dga Dengan Metode TDCG, *Key Gas, Roger's Ratio, Duval's Triangle* Pada Gardu Induk. *e-Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, 1-10.
- IEEE Standards C57.104-1991. 1991. *IEEE Guide For The Interpretation of Gases Generated in Oil - Immersed Transformers*. New York.
- Kusmaryanto, S. 2014. Jaringan Saraf Tiruan Backpropagation untuk Pengenalan Wajah Metode Ekstraksi Fitur Berbasis Histogram . *EECCIS Vol. 8, No. 2*, 193-198.
- Mirza, C. R. 2018. Dissolved Gas Analysis (DGA) Minyak Trafo Menggunakan Anfis Berbasis IEC di PT. PLN Transmisi Jawa Bagian Timur dan Bali. *Skripsi*. Jember: Fakultas Teknik Universitas Jember.
- Muhammad Faishal A. R., Karnoto dan T. Sukmadi. 2011. Analisis Indikasi Kegagalan Transformator dengan Metode Dissolved Gas Analysis . *Transmisi*, 95-102.
- Nasution, J. F. 2009. implementasi jaringan syaraf tiruan untuk prediksi keputusan medis pada penyakit demam berdarah dengue. *Universitas Sumatera Utara*.
- Noviana, A. 2008. Analisa Pengaruh Parameter-Parameter Neural Network Pada Kasus Pemodelan . Universitas Komputer Indonesia.
- Novotny, M. 2003. *Gas Chromatography in Encyclopedia*. New York: Academic Press. 455-472.
- Pravin S. Khade, Girish K. Mahajan, Ajit P. Chaudari. 2016. Artificial Neural Network Approach to Dissolved Gas Analysis for Interpretation of Fault in Power Transformer. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 373-377.
- PLN, P. 2014. *Buku Pedoman Pemeliharaan Transformator Tenaga*. JAKARTA SELATAN : PT PLN
- Rahmawati, Raharjo E. P. 2014. Evaluasi Kandungan Gas (Dga) Dengan Metode Kromatografi Gas Terhadap Nilai Tegangan Tembus Pada Minyak Jarak Yang Telah Melalui Proses Transesterifikasi Sebagai Alternatif Minyak Transformator. *Mikrotiga*, 23-31.
- Ribeiro, B. 2005. *Adaptive and Natural Computing Algorithm*. Wien: Springer.

- S. Kulkarni, P. S. Swami, A.G. Thosar. 2016. Dissolved Gas Analysis of Transformer oil using Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System . *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 1487-1491.
- S. Corporation. 2007. *DGA Diagnostic Methods. Severon White Paper*.
- Shakeb A. Khan, dkk. 2014. *A Comprehensive Comparative Study of DGA Based Transformer Fault Diagnosis Using Fuzzy Logic and ANFIS Models. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation* , 590-596.
- Shure, L. (2015, August 4). Mathworks. Diambil kembali dari Loren on the Art of MATLAB : Artificial Neural Network For Beginners: <https://blogs.mathworks.com/loren/2015/08/04/artificial-neural-networksfor-beginners/>
- Siregar, T. R. 2013. Implementasi Jaringan Syaraf Metode Bidirectional Associative Memory Untuk Pengenalan Pola Wajah. *Universitas Sumatera Utara*.
- Solikhudin. 2010. Studi Gangguan *Interbus* Transformer (Ibt-1) 500/150 Kv Di Gitet 500 Kv Kembangan - Jakarta Barat. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Sulistyo, T. 2014. Pengkajian Kondisi Transformator Bht03 Pada Rsg-Gas Menggunakan Metoda Dissolved Gas Analysis . *Sigma Epsilon*, 105-113.
- Yulisusianto, G. 2015. Diagnosis Kondisi Transformator Berbasis Analisis Gas Terlarut Menggunakan Metode Sistem Pakar Fuzzy. *EECCIS*, 1-6.



## LAMPIRAN

**A. Listing Program Neural Network pada Matlab**

```

clc;
clear
load dga9.mat;

P=dga9(:,1:3)';
T=dga9(:,4:7)';



```

```
%Melakukan Simulasi
y = sim(net,P);
an = sim(net,pn);
a=poststd(an,meant,stdt);
gensim(net)

%Evaluasi output jaringan (data pelatihan dan target)
[m1,a1,r1]=postreg(a,T)

plot ([1:size(P,2)]',T,'bo',[1:size(P,2)]', y,'r*');
title('hasil perbandingan antara data pelatihan target
(o), output jaringan(*)');
xlabel('data ke-'); ylabel('target/output');
```

**B. Pola Data Pelatihan *Neural Network***

Pola	Input				Target		
	x1	x2	x3	x4	y1	y2	y3
1	0	0,865	0,549	0	0	0	1
2	0,091	0,426	0,14	0	0	0	1
3	0,009	0,913	0,341	0	0	0	1
4	0,005	0,955	0,549	0	0	0	1
5	0,048	0,764	0,818	0	0	0	1
6	0,08	0,376	0,755	0	0	0	1
7	0,097	0,301	0,584	0	0	0	1
8	0,07	0,606	0,572	0	0	0	1
9	0,021	0,307	0,394	0	0	0	1
10	0,045	0,539	0,392	0	0	0	1
11	0,013	0,77	0,067	0	0	0	1
12	0,007	0,844	0,987	0	0	0	1
13	0,093	0,786	0,774	0	0	0	1
14	0,001	0,569	0,087	0	0	0	1
15	0,087	0,618	0,506	0	0	0	1
16	0,099	0,933	0,026	0	0	0	1
17	0,001	0,866	0,357	0	0	0	1
18	0	0,356	0,238	0	0	0	1
19	0,093	0,484	0,093	0	0	0	1
20	0,029	0,824	0,951	0	0	0	1
21	0,062	0,692	0,068	0	0	0	1
22	0,037	0,653	0,543	0	0	0	1
23	0,076	0,351	0,441	0	0	0	1
24	0,064	0,501	0,807	0	0	0	1
25	0,078	0,135	0,24	0	0	0	1

Pola	Input				Target		
	x1	x2	x3	x4	y1	y2	y3
26	0	0,873	0,026	0	0	0	1
27	0,086	0,367	0,056	0	0	0	1
28	0,055	0,69	0,764	0	0	0	1
29	0,087	0,24	0,63	0	0	0	1
30	0,024	0,272	0,701	0	0	0	1
31	0,006	0,15	0,456	0	0	0	1
32	0,051	0,758	0,896	0	0	0	1
33	0,048	0,113	0,448	0	0	0	1
34	0,046	0,515	0,896	0	0	0	1
35	0,033	0,626	0,831	0	0	0	1
36	0,043	0,203	0,293	0	0	0	1
37	0,02	0,65	0,869	0	0	0	1
38	0,07	0,205	0,094	0	0	0	1
39	0,01	0,771	0,616	0	0	0	1
40	0,073	0,777	0,213	0	0	0	1
41	0,089	0,177	0,806	0	0	0	1
42	0,075	0,185	0,411	0	0	0	1
43	0,008	0,321	0,556	0	0	0	1
44	0,014	0,341	0,514	0	0	0	1
45	0,005	0,671	0,899	0	0	0	1
46	0,072	0,897	0,487	0	0	0	1
47	0,004	0,378	0,274	0	0	0	1
48	0,081	0,385	0,311	0	0	0	1
49	0,021	0,47	0,18	0	0	0	1
50	0,021	0,625	0,553	0	0	0	1

Pola	Input				Target		
	x1	x2	x3	x4	y1	y2	y3
51	0,067	0,114	0,384	0	0	0	1
52	0,094	0,635	0,029	0	0	0	1
53	0,022	0,397	0,816	0	0	0	1
54	0,039	0,947	0,599	0	0	0	1
55	0	0,561	0,393	0	0	0	1
56	0,034	0,593	0,889	0	0	0	1
57	0,055	0,579	0,941	0	0	0	1
58	0,009	0,612	0,204	0	0	0	1
59	0,029	0,401	0,88	0	0	0	1
60	0,023	0,273	0,019	0	0	0	1
61	0,04	0,996	0,626	0	0	0	1
62	0,082	0,234	0,618	0	0	0	1
63	0,055	0,431	0,964	0	0	0	1
64	0,082	0,334	0,145	0	0	0	1
65	0,076	0,519	0,192	0	0	0	1
66	0,08	0,614	0,874	0	0	0	1
67	0,057	0,498	0,089	0	0	0	1
68	0,091	0,191	0,907	0	0	0	1
69	0,086	0,548	0,526	0	0	0	1
70	0,025	0,247	0,974	0	0	0	1
71	0,046	0,231	0,489	0	0	0	1
72	0,004	0,845	0,243	0	0	0	1
73	0,08	0,337	0,895	0	0	0	1
74	0,06	0,73	0,87	0	0	0	1
75	0,006	0,469	0,361	0	0	0	1

Pola	Input				Target		
	x1	x2	x3	x4	y1	y2	y3
76	0,066	0,901	0,414	0	0	0	1
77	0,098	0,435	0,536	0	0	0	1
78	0,022	0,798	0,039	0	0	0	1
79	0,058	0,794	0,95	0	0	0	1
80	0,053	0,461	0,681	0	0	0	1
81	0,096	0,671	0,197	0	0	0	1
82	0,042	0,751	0,777	0	0	0	1
83	0,068	0,159	0,285	0	0	0	1
84	0,085	0,289	0,889	0	0	0	1
85	0,084	0,753	0,074	0	0	0	1
86	0,07	0,717	0,586	0	0	0	1
87	0,062	0,865	0,838	0	0	0	1
88	0,004	0,659	0,095	0	0	0	1
89	0,024	0,586	0,676	0	0	0	1
90	0,092	0,69	0,212	0	0	0	1
91	0,003	0,494	0,306	0	0	0	1
92	0,076	0,629	0,412	0	0	0	1
93	0,088	0,104	0,742	0	0	0	1
94	0,089	0,566	0,976	0	0	0	1
95	0,08	0,222	0,152	0	0	0	1
96	0,019	0,42	0,743	0	0	0	1
97	0,086	0,138	0,759	0	0	0	1
98	0,061	0,536	0,383	0	0	0	1
99	0,074	0,523	0,909	0	0	0	1
100	0,039	0,254	0,813	0	0	0	1

Pola	Input				Target		
	x1	x2	x3	x4	y1	y2	y3
101	0,058	0,082	0,51	0	0	1	0
102	0,07	0,051	0,467	0	0	1	0
103	0,085	0,052	0,105	0	0	1	0
104	0,019	0,091	0,585	0	0	1	0
105	0,039	0,058	0,871	0	0	1	0
106	0	0,003	0,207	0	0	1	0
107	0,011	0,055	0,768	0	0	1	0
108	0,005	0,037	0,296	0	0	1	0
109	0,064	0,058	0,655	0	0	1	0
110	0,027	0,03	0,019	0	0	1	0
111	0,01	0,008	0,511	0	0	1	0
112	0,048	0,086	0,86	0	0	1	0
113	0,04	0,056	0,652	0	0	1	0
114	0,002	0,087	0,136	0	0	1	0
115	0,034	0,005	0,448	0	0	1	0
116	0,05	0,096	0,627	0	0	1	0
117	0,052	0,025	0,707	0	0	1	0
118	0,036	0,017	0,411	0	0	1	0
119	0,007	0,083	0,297	0	0	1	0
120	0,076	0,079	0,722	0	0	1	0
121	0,015	0,073	0,023	0	0	1	0
122	0,009	0,049	0,319	0	0	1	0
123	0,056	0,072	0,717	0	0	1	0
124	0,034	0,08	0,331	0	0	1	0
125	0,067	0,073	0,177	0	0	1	0

Pola	Input				Target		
	x1	x2	x3	x4	y1	y2	y3
126	0,098	0,087	0,652	0	0	1	0
127	0,014	0,007	0,917	0	0	1	0
128	0,034	0,091	0,163	0	0	1	0
129	0,021	0,056	0,143	0	0	1	0
130	0,075	0,008	0,919	0	0	1	0
131	0,09	0,021	0,803	0	0	1	0
132	0,066	0,04	0,302	0	0	1	0
133	0,041	0,048	0,414	0	0	1	0
134	0,065	0,079	0,293	0	0	1	0
135	0,096	0,062	0,817	0	0	1	0
136	0,013	0,094	0,407	0	0	1	0
137	0,048	0,047	0,261	0	0	1	0
138	0,086	0,093	0,231	0	0	1	0
139	0,04	0,067	0,391	0	0	1	0
140	0,047	0,067	0,633	0	0	1	0
141	0,005	0,02	0,552	0	0	1	0
142	0,042	0,016	0,669	0	0	1	0
143	0,072	0	0,045	0	0	1	0
144	0,035	0,029	0,442	0	0	1	0
145	0,004	0,033	0,178	0	0	1	0
146	0,043	0	0,146	0	0	1	0
147	0,076	0,084	0,462	0	0	1	0
148	0,007	0,041	0,477	0	0	1	0
149	0,002	0,057	0,249	0	0	1	0
150	0,037	0,011	0,605	0	0	1	0

Pola	Input				Target		
	x1	x2	x3	x4	y1	y2	y3
151	0,073	0,094	0,884	0	0	1	0
152	0,037	0,033	0,471	0	0	1	0
153	0,081	0,022	0,884	0	0	1	0
154	0,012	0,02	0,927	0	0	1	0
155	0,007	0,07	0,259	0	0	1	0
156	0,033	0,071	0,326	0	0	1	0
157	0,091	0,042	0,288	0	0	1	0
158	0,053	0,068	0,896	0	0	1	0
159	0,074	0,061	0,119	0	0	1	0
160	0,001	0,058	0,114	0	0	1	0
161	0,023	0,003	0,429	0	0	1	0
162	0,054	0,023	0,499	0	0	1	0
163	0,066	0,031	0,002	0	0	1	0
164	0,047	0,06	0,379	0	0	1	0
165	0,038	0,041	0,952	0	0	1	0
166	0,083	0,037	0,511	0	0	1	0
167	0,02	0,037	0,535	0	0	1	0
168	0,02	0,071	0,503	0	0	1	0
169	0,093	0,099	0,49	0	0	1	0
170	0,074	0,008	0,15	0	0	1	0
171	0,085	0,045	0,544	0	0	1	0
172	0,097	0,029	0,028	0	0	1	0
173	0,025	0,071	0,572	0	0	1	0
174	0,021	0,07	0,115	0	0	1	0
175	0,072	0,067	0,704	0	0	1	0

Pola	Input				Target		
	x1	x2	x3	x4	y1	y2	y3
176	0,063	0,012	0,006	0	0	1	0
177	0,018	0,018	0,83	0	0	1	0
178	0,051	0,078	0,183	0	0	1	0
179	0,003	0,011	0,724	0	0	1	0
180	0,095	0,065	0,585	0	0	1	0
181	0,071	0,093	0,452	0	0	1	0
182	0,017	0,004	0,436	0	0	1	0
183	0,064	0,021	0,401	0	0	1	0
184	0,043	0,079	0,17	0	0	1	0
185	0,081	0,042	0,706	0	0	1	0
186	0,036	0,072	0,179	0	0	1	0
187	0,006	0,057	0,19	0	0	1	0
188	0,01	0,077	0,366	0	0	1	0
189	0,038	0,083	0,959	0	0	1	0
190	0,024	0,059	0,704	0	0	1	0
191	0,082	0,03	0,289	0	0	1	0
192	0,091	0,06	0,324	0	0	1	0
193	0,091	0,038	0,356	0	0	1	0
194	0,045	0,052	0,636	0	0	1	0
195	0,002	0,045	0,784	0	0	1	0
196	0,031	0,037	0,756	0	0	1	0
197	0,063	0,055	0,781	0	0	1	0
198	0,08	0,095	0,883	0	0	1	0
199	0,058	0,036	0,56	0	0	1	0
200	0,028	0,078	0,579	0	0	1	0



Pola	Input				Target		
	x1	x2	x3	x4	y1	y2	y3
301	1,105	0,7	2,747	0	1	0	0
302	1,967	0,899	1,01	0	1	0	0
303	2,048	0,443	2,289	0	1	0	0
304	1,742	0,489	1,971	0	1	0	0
305	0,615	0,44	1,4	0	1	0	0
306	0,295	0,739	2,339	0	1	0	0
307	1,663	0,493	1,414	0	1	0	0
308	1,396	0,445	2,933	0	1	0	0
309	0,936	0,112	1,771	0	1	0	0
310	0,446	0,445	1,279	0	1	0	0
311	1,926	0,609	1,823	0	1	0	0
312	2,752	0,272	2,286	0	1	0	0
313	0,754	0,404	2,509	0	1	0	0
314	0,949	0,247	1,295	0	1	0	0
315	1,994	0,623	1,25	0	1	0	0
316	0,575	0,114	1,165	0	1	0	0
317	0,493	0,366	1,399	0	1	0	0
318	0,969	0,795	1,959	0	1	0	0
319	1,701	0,65	1,986	0	1	0	0
320	1,342	0,64	1,816	0	1	0	0
321	2,087	0,296	1,376	0	1	0	0
322	1,746	0,6	2,814	0	1	0	0
323	0,674	0,39	1,85	0	1	0	0
324	1,646	0,931	1,647	0	1	0	0
325	0,817	0,261	2,376	0	1	0	0

Pola	Input				Target		
	x1	x2	x3	x4	y1	y2	y3
326	2,526	0,762	2,279	0	1	0	0
327	1,472	0,387	1,314	0	1	0	0
328	1,569	0,353	1,774	0	1	0	0
329	2,022	0,744	1,888	0	1	0	0
330	2,823	0,718	2,935	0	1	0	0
331	1,263	0,977	1,091	0	1	0	0
332	0,978	0,767	2,082	0	1	0	0
333	0,674	0,483	2,286	0	1	0	0
334	1,716	0,721	1,068	0	1	0	0
335	1,762	0,19	2,238	0	1	0	0
336	0,212	0,39	1,554	0	1	0	0
337	1,208	0,261	1,905	0	1	0	0
338	2,428	0,77	1,352	0	1	0	0
339	2,937	0,807	2,455	0	1	0	0
340	1,076	0,986	2,1	0	1	0	0
341	2,573	0,344	1,861	0	1	0	0
342	1,725	0,771	1,667	0	1	0	0
343	0,894	0,365	2,718	0	1	0	0
344	2,028	0,932	1,404	0	1	0	0
345	2,935	0,93	2,761	0	1	0	0
346	1,67	0,468	2,527	0	1	0	0
347	1,034	0,539	1,25	0	1	0	0
348	0,524	0,146	2,097	0	1	0	0
349	2,121	0,861	1,515	0	1	0	0
350	0,324	0,437	2,89	0	1	0	0

Pola	Input				Target		
	x1	x2	x3	x4	y1	y2	y3
351	0,341	0,885	1,477	0	1	0	0
352	1,82	0,794	1,083	0	1	0	0
353	2,79	0,695	1,855	0	1	0	0
354	0,592	0,459	1,23	0	1	0	0
355	1,782	0,949	1,113	0	1	0	0
356	2,987	0,818	1,036	0	1	0	0
357	0,829	0,999	2,53	0	1	0	0
358	0,702	0,178	1,712	0	1	0	0
359	0,163	0,813	2,38	0	1	0	0
360	1,383	0,461	1,236	0	1	0	0
361	2,602	0,293	1,982	0	1	0	0
362	0,613	0,224	1,384	0	1	0	0
363	2,671	0,79	2,847	0	1	0	0
364	1,544	0,417	1,911	0	1	0	0
365	0,789	0,171	2,16	0	1	0	0
366	2,493	0,791	2,03	0	1	0	0
367	0,408	0,483	2,182	0	1	0	0
368	2,837	0,29	1,764	0	1	0	0
369	2,823	0,67	1,765	0	1	0	0
370	1,577	0,339	2,004	0	1	0	0
371	2,29	0,665	1,152	0	1	0	0
372	2,626	0,126	1,112	0	1	0	0
373	0,99	0,639	1,831	0	1	0	0
374	1,129	0,382	1,941	0	1	0	0
375	2,278	0,279	2,341	0	1	0	0

Pola	Input				Target		
	x1	x2	x3	x4	y1	y2	y3
376	1,532	0,138	1,367	0	1	0	0
377	2,406	0,849	2,505	0	1	0	0
378	0,442	0,241	1,041	0	1	0	0
379	1,248	0,891	2,2	0	1	0	0
380	2,557	0,158	1,429	0	1	0	0
381	1,195	0,883	1,474	0	1	0	0
382	1,744	0,931	2,485	0	1	0	0
383	0,226	0,156	1,481	0	1	0	0
384	1,432	0,598	2,994	0	1	0	0
385	0,619	0,285	1,589	0	1	0	0
386	3	0,958	2,316	0	1	0	0
387	0,592	0,903	2,462	0	1	0	0
388	1,487	0,524	2,626	0	1	0	0
389	2,452	0,282	2,841	0	1	0	0
390	1,427	0,89	2,486	0	1	0	0
391	0,563	0,466	1,613	0	1	0	0
392	1,367	0,183	2,052	0	1	0	0
393	2,28	0,401	2,377	0	1	0	0
394	0,61	0,818	1,752	0	1	0	0
395	1,753	0,984	2,728	0	1	0	0
396	2,611	0,677	1,439	0	1	0	0
397	1,711	0,354	1,954	0	1	0	0
398	1,96	0,378	2,63	0	1	0	0
399	0,106	0,368	1,94	0	1	0	0
400	0,157	0,79	2,606	0	1	0	0

Pola	Input				Target			
	x1	x2	x3	x4	y1	y2	y3	
401	8,636	0,619	2,533	0	1	0	0	
402	7,122	0,869	2,328	0	1	0	0	
403	7,533	0,918	2,548	0	1	0	0	
404	4,5	0,169	1,918	0	1	0	0	
405	3,6	0,941	1,798	0	1	0	0	
406	5,294	0,248	2,594	0	1	0	0	
407	5,414	0,455	1,283	0	1	0	0	
408	6,187	0,734	1,717	0	1	0	0	
409	7,676	0,836	1,976	0	1	0	0	
410	4,874	0,188	2,326	0	1	0	0	
411	6,846	0,456	1,961	0	1	0	0	
412	6,164	0,312	2,668	0	1	0	0	
413	7,857	0,93	2,932	0	1	0	0	
414	9,612	0,789	2,429	0	1	0	0	
415	3,09	0,718	2,219	0	1	0	0	
416	7,672	0,393	1,725	0	1	0	0	
417	9,919	0,591	2,682	0	1	0	0	
418	8,766	0,532	2,596	0	1	0	0	
419	5,117	0,963	1,696	0	1	0	0	
420	4,502	0,751	1,043	0	1	0	0	
421	9,656	0,827	1,064	0	1	0	0	
422	3,111	0,482	2,359	0	1	0	0	
423	4,775	0,624	1,211	0	1	0	0	
424	6,391	0,95	1,843	0	1	0	0	
425	4,257	0,861	1,077	0	1	0	0	

Pola	Input				Target			
	x1	x2	x3	x4	y1	y2	y3	
426	8,294	0,361	1,486	0	1	0	0	
427	3,49	0,485	1,899	0	1	0	0	
428	8,817	0,573	2,956	0	1	0	0	
429	6,088	0,551	2,8	0	1	0	0	
430	5,672	0,482	1,96	0	1	0	0	
431	3,809	0,68	2,625	0	1	0	0	
432	3,514	0,529	1,249	0	1	0	0	
433	3,926	0,983	2,151	0	1	0	0	
434	3,501	0,684	1,865	0	1	0	0	
435	4,087	0,679	2,748	0	1	0	0	
436	3,998	0,918	1,453	0	1	0	0	
437	4,48	0,381	1,528	0	1	0	0	
438	8,451	0,374	2,083	0	1	0	0	
439	8,192	0,197	2,762	0	1	0	0	
440	8,752	0,897	2,431	0	1	0	0	
441	3,537	0,119	1,859	0	1	0	0	
442	8,716	0,869	1,185	0	1	0	0	
443	9,778	0,699	1,089	0	1	0	0	
444	5,699	0,844	2,816	0	1	0	0	
445	7,828	0,54	1,491	0	1	0	0	
446	8,508	0,646	2,004	0	1	0	0	
447	4,318	0,619	1,46	0	1	0	0	
448	3,7	0,289	1,568	0	1	0	0	
449	8,132	0,353	1,041	0	1	0	0	
450	9,239	0,551	1,219	0	1	0	0	

Pola	Input				Target			
	x1	x2	x3	x4	y1	y2	y3	
451	5,146	0,663	1,229	0	1	0	0	
452	8,072	0,824	2,81	0	1	0	0	
453	9,654	0,416	1,696	0	1	0	0	
454	5,465	0,211	2,802	0	1	0	0	
455	4,929	0,382	2,447	0	1	0	0	
456	3,29	0,793	2,17	0	1	0	0	
457	4,965	0,33	1,862	0	1	0	0	
458	6,875	0,763	2,232	0	1	0	0	
459	9,853	0,77	2,331	0	1	0	0	
460	7,81	0,165	2,541	0	1	0	0	
461	5,06	0,895	1,273	0	1	0	0	
462	9,649	0,913	1,525	0	1	0	0	
463	8,956	0,142	2,462	0	1	0	0	
464	4,336	0,953	1,653	0	1	0	0	
465	6,76	0,87	2,043	0	1	0	0	
466	4,191	0,416	1,623	0	1	0	0	
467	6,443	0,719	1,43	0	1	0	0	
468	5,005	0,219	2,573	0	1	0	0	
469	3,416	0,414	2,278	0	1	0	0	
470	4,704	0,144	2,914	0	1	0	0	
471	9,57	0,487	1,154	0	1	0	0	
472	8,079	0,648	2,029	0	1	0	0	
473	4,016	0,7	2,058	0	1	0	0	
474	6,005	0,946	2,874	0	1	0	0	
475	6,085	0,794	1,366	0	1	0	0	

Pola	Input				Target			
	x1	x2	x3	x4	y1	y2	y3	
476	4,959	0,375	2,575	0	1	0	0	
477	6,429	0,311	2,571	0	1	0	0	
478	7,071	0,238	1,731	0	1	0	0	
479	3,827	0,671	2,647	0	1	0	0	
480	8,094	0,205	1,432	0	1	0	0	
481	5,34	0,42	2,944	0	1	0	0	
482	6,541	0,835	1,802	0	1	0	0	
483	3,064	0,363	2,54	0	1	0	0	
484	5,915	0,456	1,268	0	1	0	0	
485	9,668	0,542	2,386	0	1	0	0	
486	6,737	0,109	2,952	0	1	0	0	
487	3,03	0,814	2,053	0	1	0	0	
488	7,723	0,446	1,305	0	1	0	0	
489	9,745	0,136	2,177	0	1	0	0	
490	4,42	0,805	2,182	0	1	0	0	
491	7,009	0,351	1,533	0	1	0	0	
492	5,491	0,853	2,515	0	1	0	0	
493	5,532	0,915	1,574	0	1	0	0	
494	4,385	0,569	2,879	0	1	0	0	
495	5,346	0,784	1,114	0	1	0	0	
496	4,132	0,505	1,623	0	1	0	0	
497	3,827	0,481	1,238	0	1	0	0	
498	7,694	0,391	2,287	0	1	0	0	
499	4,049	0,811	1,895	0	1	0	0	
500	5,04	0,246	2,782	0	1	0	0	

Pola	Input				Target				Pola	Input				Target				Pola	Input				Target								
	x1	x2	x3	x4	y1	y2	y3	x1		x2	x3	x4	y1	y2	y3	x1	x2		x3	x4	y1	y2	y3								
501	5,81	0,367	9,314	0	1	0	0	526	5,229	0,649	10,617	0	1	0	0	551	5,497	0,946	12,595	0	1	0	0	576	7,011	0,964	4,767	0	1	0	0
502	5,655	0,94	3,216	0	1	0	0	527	9,877	0,532	5,214	0	1	0	0	552	7,217	0,603	12,015	0	1	0	0	577	5,659	0,59	4,949	0	1	0	0
503	9,46	0,604	14,063	0	1	0	0	528	6,465	0,863	5,772	0	1	0	0	553	9,406	0,117	7,932	0	1	0	0	578	6,452	0,138	9,058	0	1	0	0
504	4,499	0,488	14,524	0	1	0	0	529	7,234	0,795	14,48	0	1	0	0	554	6,033	0,172	8,533	0	1	0	0	579	8,538	0,411	14,052	0	1	0	0
505	3,569	0,412	7,01	0	1	0	0	530	5,926	0,984	11,355	0	1	0	0	555	3,717	0,331	4,368	0	1	0	0	580	4,46	0,905	6,406	0	1	0	0
506	3,231	0,487	11,238	0	1	0	0	531	5,195	0,339	4,818	0	1	0	0	556	5,131	0,543	9,47	0	1	0	0	581	7,97	0,213	9,387	0	1	0	0
507	7,706	0,819	13,853	0	1	0	0	532	9,658	0,881	11,23	0	1	0	0	557	7,507	0,14	5,691	0	1	0	0	582	9,317	0,846	13,72	0	1	0	0
508	7,914	0,477	10,076	0	1	0	0	533	8,197	0,629	5,764	0	1	0	0	558	6,057	0,97	5,762	0	1	0	0	583	7,976	0,245	11,018	0	1	0	0
509	6,229	0,222	4,288	0	1	0	0	534	9,638	0,116	12,804	0	1	0	0	559	4,058	0,396	5,015	0	1	0	0	584	8,601	0,923	6,089	0	1	0	0
510	8,203	0,651	12,373	0	1	0	0	535	6,783	0,536	13,922	0	1	0	0	560	4,736	0,84	12,306	0	1	0	0	585	5,11	0,438	8,687	0	1	0	0
511	5,915	0,155	13,573	0	1	0	0	536	5,689	0,146	8,642	0	1	0	0	561	5,63	0,252	11,793	0	1	0	0	586	4,142	0,958	11,371	0	1	0	0
512	3,317	0,882	6,519	0	1	0	0	537	8,201	0,791	4,616	0	1	0	0	562	4,321	0,108	10,765	0	1	0	0	587	7,258	0,311	14,093	0	1	0	0
513	7,786	0,483	4,897	0	1	0	0	538	4,408	0,791	10,383	0	1	0	0	563	4,563	0,958	11,245	0	1	0	0	588	4,06	0,169	11,559	0	1	0	0
514	7,114	0,633	12,973	0	1	0	0	539	9,057	0,264	9,467	0	1	0	0	564	8,201	0,745	9,568	0	1	0	0	589	4,099	0,203	13,065	0	1	0	0
515	7,194	0,231	5,99	0	1	0	0	540	5,361	0,251	6,608	0	1	0	0	565	5,751	0,623	7,392	0	1	0	0	590	7,752	0,474	7,624	0	1	0	0
516	5,874	0,857	11,956	0	1	0	0	541	8,459	0,962	11,991	0	1	0	0	566	3,521	0,967	14,913	0	1	0	0	591	5,581	0,943	5,726	0	1	0	0
517	5,848	0,912	12,696	0	1	0	0	542	8,27	0,257	4,402	0	1	0	0	567	6,085	0,174	7,378	0	1	0	0	592	8,618	0,783	12,193	0	1	0	0
518	5,611	0,359	3,826	0	1	0	0	543	9,151	0,887	9,537	0	1	0	0	568	5,177	0,866	10,104	0	1	0	0	593	7,133	0,715	7,108	0	1	0	0
519	6,82	0,37	6,657	0	1	0	0	544	7,907	0,13	13,972	0	1	0	0	569	8,506	0,563	7,051	0	1	0	0	594	8,574	0,674	3,356	0	1	0	0
520	5,946	0,562	9,294	0	1	0	0	545	4,171	0,455	10,308	0	1	0	0	570	9,345	0,667	14,522	0	1	0	0	595	7,379	0,37	12,769	0	1	0	0
521	5,992	0,66	14,978	0	1	0	0	546	8,347	0,123	7,284	0	1	0	0	571	8,801	0,776	14,393	0	1	0	0	596	5,407	0,958	12,254	0	1	0	0
522	3,866	0,879	4,163	0	1	0	0	547	4,732	0,734	3,357	0	1	0	0	572	7,66	0,989	6,606	0	1	0	0	597	5,796	0,224	9,921	0	1	0	0
523	8,713	0,409	12,361	0	1	0	0	548	7,252	0,39	12,882	0	1	0	0	573	3,042	0,392	4,325	0	1	0	0	598	5,44	0,208	11,656	0	1	0	0
524	4,391	0,407	10,924	0	1	0	0	549	5,542	0,247	11,922	0	1	0	0	574	6,118	0,235	14,234	0	1	0	0	599	4,879	0,765	11,053	0	1	0	0
525	4,434	0,348	9,243	0	1	0	0	550	9,625	0,981	8,818	0	1	0	0	575	6,295	0,59	13,705	0	1	0	0	600	3,508	0,645	12,975	0	1	0	0



Pola	Input				Target				Pola	Input				Target				Pola	Input				Target								
	x1	x2	x3	x4	y1	y2	y3	x1		x2	x3	x4	y1	y2	y3	x1	x2		x3	x4	y1	y2	y3								
601	2,76	0,166	13,732	0	1	0	1	626	1,684	0,836	12,485	0	1	0	1	651	1,575	0,44	36,826	0	1	0	1	676	2,473	0,843	26,262	0	1	0	1
602	1,066	0,957	14,146	0	1	0	1	627	0,887	0,689	11,705	0	1	0	1	652	2,187	0,358	29,008	0	1	0	1	677	2,148	0,359	25,499	0	1	0	1
603	1,038	0,673	11,651	0	1	0	1	628	1,819	0,584	31,988	0	1	0	1	653	2,957	0,738	18,573	0	1	0	1	678	1,196	0,709	30,033	0	1	0	1
604	2,817	0,244	3,618	0	1	0	1	629	2,985	0,375	24,37	0	1	0	1	654	1,129	0,249	34,792	0	1	0	1	679	0,429	0,823	30,774	0	1	0	1
605	0,833	0,107	12,973	0	1	0	1	630	0,584	0,265	37,761	0	1	0	1	655	0,549	0,821	10,896	0	1	0	1	680	0,937	0,696	25,631	0	1	0	1
606	2,785	0,367	5,097	0	1	0	1	631	2,957	0,387	39,112	0	1	0	1	656	2,9	0,25	15,851	0	1	0	1	681	2,06	0,636	36,306	0	1	0	1
607	0,669	0,336	14,93	0	1	0	1	632	0,631	0,543	21,351	0	1	0	1	657	2,43	0,95	35,357	0	1	0	1	682	2,155	0,518	32,347	0	1	0	1
608	2,442	0,402	35,376	0	1	0	1	633	2,153	0,932	29,093	0	1	0	1	658	2,062	0,855	7,308	0	1	0	1	683	2,716	0,872	3,181	0	1	0	1
609	0,275	0,649	23,321	0	1	0	1	634	0,838	0,657	33,2	0	1	0	1	659	2,301	0,364	20,866	0	1	0	1	684	0,996	0,779	15,146	0	1	0	1
610	0,223	0,27	22,374	0	1	0	1	635	1,902	0,257	6,967	0	1	0	1	660	0,537	0,574	7,224	0	1	0	1	685	1,499	0,489	10,159	0	1	0	1
611	0,934	0,689	11,151	0	1	0	1	636	2,82	0,62	39,26	0	1	0	1	661	2,41	0,407	34,412	0	1	0	1	686	1,466	0,373	31,684	0	1	0	1
612	0,183	0,145	24,618	0	1	0	1	637	0,39	0,866	5,704	0	1	0	1	662	1,555	0,313	4,379	0	1	0	1	687	1,069	0,511	38,242	0	1	0	1
613	1,839	0,689	29,265	0	1	0	1	638	0,584	0,429	4,704	0	1	0	1	663	0,984	0,71	14,176	0	1	0	1	688	1,847	0,925	36,608	0	1	0	1
614	0,745	0,367	22,26	0	1	0	1	639	0,751	0,43	9,42	0	1	0	1	664	0,692	0,633	18,497	0	1	0	1	689	1,711	0,525	16,815	0	1	0	1
615	1,559	0,561	35,029	0	1	0	1	640	2,774	0,247	29,106	0	1	0	1	665	1,105	0,794	5,338	0	1	0	1	690	1,874	0,118	24,921	0	1	0	1
616	2,689	0,868	24,269	0	1	0	1	641	1,521	0,124	12,812	0	1	0	1	666	2,602	0,155	21,251	0	1	0	1	691	2,49	0,281	20,8	0	1	0	1
617	1,557	0,259	31,263	0	1	0	1	642	1,588	0,966	9,153	0	1	0	1	667	0,279	0,83	10,951	0	1	0	1	692	1,111	0,93	4,364	0	1	0	1
618	0,369	0,733	8,841	0	1	0	1	643	1,282	0,668	11,108	0	1	0	1	668	2,186	0,209	31,252	0	1	0	1	693	1,36	0,645	28,743	0	1	0	1
619	1,623	0,815	39,017	0	1	0	1	644	1,854	0,996	16,298	0	1	0	1	669	2,261	0,253	21,851	0	1	0	1	694	1,729	0,997	5,493	0	1	0	1
620	2,296	0,765	20,597	0	1	0	1	645	1,487	0,67	8,396	0	1	0	1	670	1,463	0,784	27,363	0	1	0	1	695	0,453	0,183	4,354	0	1	0	1
621	2,877	0,205	3,051	0	1	0	1	646	0,391	0,526	33,231	0	1	0	1	671	1,623	0,791	5,49	0	1	0	1	696	2,455	0,817	31,744	0	1	0	1
622	2,304	0,802	13,115	0	1	0	1	647	2,59	0,794	25,871	0	1	0	1	672	1,867	0,563	33,367	0	1	0	1	697	0,919	0,791	25,477	0	1	0	1
623	2,757	0,225	7,589	0	1	0	1	648	1,583	0,885	28,082	0	1	0	1	673	2,093	0,249	18,636	0	1	0	1	698	0,674	0,87	15,123	0	1	0	1
624	2,31	0,805	14,328	0	1	0	1	649	2,167	0,769	14,382	0	1	0	1	674	0,464	0,755	23,977	0	1	0	1	699	0,618	0,323	19,756	0	1	0	1
625	0,827	0,673	19,928	0	1	0	1	650	1,755	0,927	13,909	0	1	0	1	675	1,711	0,258	21,521	0	1	0	1	700	2,467	0,251	8,243	0	1	0	1

Pola	Input				Target		
	x1	x2	x3	x4	y1	y2	y3
701	0,099	0,902	1,375	0	1	1	0
702	0,081	0,228	2,444	0	1	1	0
703	0,039	0,253	1,736	0	1	1	0
704	0,036	0,788	2,592	0	1	1	0
705	0,029	0,491	2,074	0	1	1	0
706	0,021	0,654	1,31	0	1	1	0
707	0,069	0,381	1,977	0	1	1	0
708	0,052	0,861	2,573	0	1	1	0
709	0,001	0,864	1,887	0	1	1	0
710	0,054	0,177	2,013	0	1	1	0
711	0,048	0,457	1,789	0	1	1	0
712	0,018	0,156	1,32	0	1	1	0
713	0,052	0,138	1,997	0	1	1	0
714	0,036	0,237	2,885	0	1	1	0
715	0,052	0,183	1,766	0	1	1	0
716	0,093	0,585	1,354	0	1	1	0
717	0,076	0,987	2,29	0	1	1	0
718	0,064	0,672	1,566	0	1	1	0
719	0,067	0,174	2,875	0	1	1	0
720	0,002	0,482	1,039	0	1	1	0
721	0,015	0,528	2,718	0	1	1	0
722	0,081	0,291	2,041	0	1	1	0
723	0,074	0,352	2,57	0	1	1	0
724	0,032	0,159	2,338	0	1	1	0
725	0,006	0,438	1,416	0	1	1	0

Pola	Input				Target		
	x1	x2	x3	x4	y1	y2	y3
726	0,042	0,378	1,698	0	1	1	0
727	0,028	0,352	2,296	0	1	1	0
728	0,082	0,471	2,131	0	1	1	0
729	0,072	0,875	2,907	0	1	1	0
730	0,066	0,491	2,759	0	1	1	0
731	0,034	0,549	2,567	0	1	1	0
732	0,006	0,368	1,529	0	1	1	0
733	0,028	0,699	2,496	0	1	1	0
734	0,074	0,385	2,208	0	1	1	0
735	0,008	0,735	1,972	0	1	1	0
736	0,094	0,11	1,895	0	1	1	0
737	0,086	0,155	1,659	0	1	1	0
738	0,041	0,607	1,13	0	1	1	0
739	0,062	0,236	1,151	0	1	1	0
740	0,005	0,555	1,434	0	1	1	0
741	0,021	0,283	1,741	0	1	1	0
742	0,048	0,164	1,365	0	1	1	0
743	0,033	0,419	1,079	0	1	1	0
744	0,037	0,165	2,844	0	1	1	0
745	0,063	0,348	1,2	0	1	1	0
746	0,098	0,295	2,796	0	1	1	0
747	0,066	0,92	2,619	0	1	1	0
748	0,052	0,65	2,136	0	1	1	0
749	0,004	0,803	1,923	0	1	1	0
750	0,012	0,835	2,605	0	1	1	0

Pola	Input				Target		
	x1	x2	x3	x4	y1	y2	y3
751	0,048	0,809	2,247	0	1	1	0
752	0,084	0,409	2,551	0	1	1	0
753	0,085	0,356	2,55	0	1	1	0
754	0,029	0,239	1,814	0	1	1	0
755	0,049	0,425	2,644	0	1	1	0
756	0,008	0,628	1,33	0	1	1	0
757	0,034	0,985	2,992	0	1	1	0
758	0,03	0,209	1,234	0	1	1	0
759	0,088	0,4	1,791	0	1	1	0
760	0,066	0,854	1,919	0	1	1	0
761	0,001	0,202	1,092	0	1	1	0
762	0,011	0,575	2,503	0	1	1	0
763	0,093	0,475	2,438	0	1	1	0
764	0,06	0,535	1,346	0	1	1	0
765	0,096	0,425	2,426	0	1	1	0
766	0,035	0,382	1,905	0	1	1	0
767	0,011	0,487	1,552	0	1	1	0
768	0,063	0,322	2,918	0	1	1	0
769	0,097	0,588	1,788	0	1	1	0
770	0,053	0,951	2,335	0	1	1	0
771	0,033	0,441	1,208	0	1	1	0
772	0,023	0,1	1,543	0	1	1	0
773	0,011	0,141	2,585	0	1	1	0
774	0,042	0,22	2,783	0	1	1	0
775	0,032	0,358	1,566	0	1	1	0

Pola	Input				Target		
	x1	x2	x3	x4	y1	y2	y3
776	0,067	0,788	2,874	0	1	1	0
777	0,032	0,153	2,055	0	1	1	0
778	0,01	0,418	1,117	0	1	1	0
779	0,064	0,563	2,496	0	1	1	0
780	0,08	0,245	2,93	0	1	1	0
781	0,048	0,406	1,719	0	1	1	0
782	0,019	0,953	1,842	0	1	1	0
783	0,038	0,753	2,131	0	1	1	0
784	0,017	0,895	1,023	0	1	1	0
785	0,014	0,551	1,856	0	1	1	0
786	0,067	0,712	1,024	0	1	1	0
787	0,053	0,641	1,011	0	1	1	0
788	0,031	0,755	2,781	0	1	1	0
789	0,01	0,201	1,566	0	1	1	0
790	0,038	0,872	1,498	0	1	1	0
791	0,02	0,953	1,362	0	1	1	0
792	0,026	0,468	2,89	0	1	1	0
793	0,04	0,621	2,726	0	1	1	0
794	0,041	0,801	2,264	0	1	1	0
795	0,076	0,966	2,413	0	1	1	0
796	0,087	0,362	1,822	0	1	1	0
797	0,092	0,858	1,471	0	1	1	0
798	0,068	0,318	2,441	0	1	1	0
799	0,036	0,149	1,462	0	1	1	0
800	0,094	0,452	1,064	0	1	1	0

Pola	Input				Target		
	x1	x2	x3	x4	y1	y2	y3
801	0,036	9,471	0,495	0	1	1	1
802	0,014	9,058	0,69	0	1	1	1
803	0,086	8,926	0,71	0	1	1	1
804	0,066	5,2	0,059	0	1	1	1
805	0,02	8,741	0,084	0	1	1	1
806	0,012	3,927	0,897	0	1	1	1
807	0,059	7,54	0,645	0	1	1	1
808	0,046	3,094	0,835	0	1	1	1
809	0,026	8,279	0,253	0	1	1	1
810	0,018	1,743	0,065	0	1	1	1
811	0,093	9,197	0,945	0	1	1	1
812	0,014	1,571	0,882	0	1	1	1
813	0,008	4,547	0,706	0	1	1	1
814	0,025	9,58	0,3	0	1	1	1
815	0,064	9,4	0,401	0	1	1	1
816	0,02	5,674	0,19	0	1	1	1
817	0,058	1,577	0,549	0	1	1	1
818	0,011	9,969	0,596	0	1	1	1
819	0,014	7,684	0,602	0	1	1	1
820	0,021	1,868	0,558	0	1	1	1
821	0,092	3,414	0,259	0	1	1	1
822	0,067	1,671	0,965	0	1	1	1
823	0,071	6,757	0,555	0	1	1	1
824	0,026	5,541	0,842	0	1	1	1
825	0,034	8,07	0,98	0	1	1	1

Pola	Input				Target		
	x1	x2	x3	x4	y1	y2	y3
826	0,066	4,863	0,007	0	1	1	1
827	0,07	6,664	0,657	0	1	1	1
828	0,044	9,12	0,001	0	1	1	1
829	0,044	9,501	0,359	0	1	1	1
830	0,03	9,797	0,324	0	1	1	1
831	0,004	3,857	0,225	0	1	1	1
832	0,098	4,526	0,529	0	1	1	1
833	0,058	4,775	0,814	0	1	1	1
834	0,081	9,963	0,227	0	1	1	1
835	0,002	4,684	0,863	0	1	1	1
836	0,06	7,087	0,41	0	1	1	1
837	0,073	2,245	0,578	0	1	1	1
838	0,059	2,946	0,177	0	1	1	1
839	0,082	1,87	0,681	0	1	1	1
840	0,056	5,252	0,396	0	1	1	1
841	0,098	4,468	0,233	0	1	1	1
842	0,034	7,495	0,921	0	1	1	1
843	0,033	2,467	0,794	0	1	1	1
844	0,031	7,745	0,017	0	1	1	1
845	0,089	2,44	0,916	0	1	1	1
846	0,011	7,228	0,503	0	1	1	1
847	0,074	4,755	0,184	0	1	1	1
848	0	5,386	0,173	0	1	1	1
849	0,037	8,346	0,186	0	1	1	1
850	0,068	6,997	0,458	0	1	1	1

Pola	Input				Target		
	x1	x2	x3	x4	y1	y2	y3
851	0,061	2,479	0,009	0	1	1	1
852	0,096	1,528	0,379	0	1	1	1
853	0,044	1,537	0,662	0	1	1	1
854	0,095	7,105	0,731	0	1	1	1
855	0,068	3,203	0,519	0	1	1	1
856	0,091	9,621	0,71	0	1	1	1
857	0,095	6,709	0,47	0	1	1	1
858	0,04	1,901	0,698	0	1	1	1
859	0,073	4,81	0,729	0	1	1	1
860	0,002	7,553	0,6	0	1	1	1
861	0,024	2,761	0,25	0	1	1	1
862	0,003	3,135	0,122	0	1	1	1
863	0,008	8,242	0,526	0	1	1	1
864	0,001	7,114	0,787	0	1	1	1
865	0,09	6,004	0,028	0	1	1	1
866	0,024	4,131	0,813	0	1	1	1
867	0	9,255	0,124	0	1	1	1
868	0,019	8,007	0,867	0	1	1	1
869	0,019	8,023	0,713	0	1	1	1
870	0,07	7,61	0,22	0	1	1	1
871	0,029	5,48	0,749	0	1	1	1
872	0,041	2,491	0,45	0	1	1	1
873	0,055	7,082	0,705	0	1	1	1
874	0,034	9,132	0,189	0	1	1	1
875	0,038	3,272	0,423	0	1	1	1

Pola	Input				Target		
	x1	x2	x3	x4	y1	y2	y3
876	0,002	5,376	0,408	0	1	1	1
877	0,077	5,063	0,551	0	1	1	1
878	0,017	6,078	0,373	0	1	1	1
879	0,038	3,261	0,905	0	1	1	1
880	0,032	3,537	0,954	0	1	1	1
881	0,097	3,122	0,204	0	1	1	1
882	0,067	1,925	0,298	0	1	1	1
883	0,025	1,17	0,252	0	1	1	1
884	0,012	9,783	0,612	0	1	1	1
885	0,047	3,072	0,73	0	1	1	1
886	0,013	7,76	0,349	0	1	1	1
887	0,096	4,312	0,521	0	1	1	1
888	0,047	5,391	0,935	0	1	1	1
889	0,069	7,666	0,658	0	1	1	1
890	0,052	1,291	0,088	0	1	1	1
891	0,032	8,474	0,836	0	1	1	1
892	0,055	3,747	0,952	0	1	1	1
893	0,009	2,215	0,533	0	1	1	1
894	0,053	7,637	0,737	0	1	1	1
895	0,058	1,447	0,395	0	1	1	1
896	0,037	4,734	0,307	0	1	1	1
897	0,048	8,262	0,958	0	1	1	1
898	0,04	3,072	0,709	0	1	1	1
899	0,086	7,778	0,262	0	1	1	1
900	0,049	3,946	0,48	0	1	1	1

Pola	Input				Target				Pola	Input				Target				Pola	Input				Target								
	x1	x2	x3	x4	y1	y2	y3	x1		x2	x3	x4	y1	y2	y3	x1	x2		x3	x4	y1	y2	y3	x1	x2	x3	x4	y1	y2	y3	
901	0,038	4,789	1,681	1	0	0	0	926	0,061	16,34	1,148	1	0	0	0	951	0,035	5,617	2,707	1	0	0	0	976	0,065	15,056	2,849	1	0	0	0
902	0,065	17,758	1,885	1	0	0	0	927	0,022	23,887	2,344	1	0	0	0	952	0,015	17,826	1,287	1	0	0	0	977	0,052	10,448	2,35	1	0	0	0
903	0,024	2,991	2,013	1	0	0	0	928	0,006	16,548	1,416	1	0	0	0	953	0,023	7,352	1,61	1	0	0	0	978	0,07	5,161	2,304	1	0	0	0
904	0,083	8,018	2,576	1	0	0	0	929	0,01	16,571	1,597	1	0	0	0	954	0,052	13,639	1,665	1	0	0	0	979	0,062	9,32	1,784	1	0	0	0
905	0,076	23,148	2,664	1	0	0	0	930	0,061	10,311	2,324	1	0	0	0	955	0,087	20,035	2,949	1	0	0	0	980	0,032	6,529	2,825	1	0	0	0
906	0,074	17,178	2,51	1	0	0	0	931	0,014	5,826	2,792	1	0	0	0	956	0,011	7,103	2,974	1	0	0	0	981	0,012	11,557	1,508	1	0	0	0
907	0,018	24,274	2,843	1	0	0	0	932	0,063	24,064	1,883	1	0	0	0	957	0,057	8,48	2,652	1	0	0	0	982	0,068	18,647	2,173	1	0	0	0
908	0,034	13,938	2,335	1	0	0	0	933	0,073	9,237	1,1	1	0	0	0	958	0,014	15,679	2,969	1	0	0	0	983	0,012	9,588	2,171	1	0	0	0
909	0,078	2,65	1,84	1	0	0	0	934	0,012	17,09	2,588	1	0	0	0	959	0,099	2,148	1,929	1	0	0	0	984	0,093	18,91	1,849	1	0	0	0
910	0,02	6,139	1,008	1	0	0	0	935	0,039	9,316	1,033	1	0	0	0	960	0,039	2,271	2,486	1	0	0	0	985	0,076	15,789	1,939	1	0	0	0
911	0,047	1,662	2,749	1	0	0	0	936	0,087	8,201	1,794	1	0	0	0	961	0,098	9,964	1,146	1	0	0	0	986	0,009	16,345	2,423	1	0	0	0
912	0,015	6,872	1,084	1	0	0	0	937	0,043	8,411	1,902	1	0	0	0	962	0,084	23,714	2,943	1	0	0	0	987	0,055	9,19	1,471	1	0	0	0
913	0,054	6,283	1,92	1	0	0	0	938	0,093	22,56	2,788	1	0	0	0	963	0,038	2,528	2,073	1	0	0	0	988	0,03	2,436	2,497	1	0	0	0
914	0,091	19,134	2,616	1	0	0	0	939	0,042	7,459	1,695	1	0	0	0	964	0,032	24,183	2,904	1	0	0	0	989	0,075	15,757	1,625	1	0	0	0
915	0,036	24,991	2,346	1	0	0	0	940	0,089	17,23	1,522	1	0	0	0	965	0,035	12,172	2,587	1	0	0	0	990	0,002	22,133	1,972	1	0	0	0
916	0,017	22,523	2,455	1	0	0	0	941	0,079	20,224	2,26	1	0	0	0	966	0,066	9,39	1,728	1	0	0	0	991	0,057	24,643	1,829	1	0	0	0
917	0,056	8,661	1,962	1	0	0	0	942	0,07	11,882	2,597	1	0	0	0	967	0,059	12,48	2,613	1	0	0	0	992	0,098	7,032	2,095	1	0	0	0
918	0,077	9,459	1,636	1	0	0	0	943	0,018	11,314	1,152	1	0	0	0	968	0,003	24,551	1,54	1	0	0	0	993	0,081	17,501	1,724	1	0	0	0
919	0,062	8,393	1,597	1	0	0	0	944	0,068	2,597	2,785	1	0	0	0	969	0,057	18,272	2,086	1	0	0	0	994	0,037	22,217	2,7	1	0	0	0
920	0,031	21,314	1,812	1	0	0	0	945	0,095	20,267	1,664	1	0	0	0	970	0,018	13,663	1,761	1	0	0	0	995	0,065	22,37	2,96	1	0	0	0
921	0,067	5,774	1,029	1	0	0	0	946	0,062	24,828	2,757	1	0	0	0	971	0,063	12,087	2,635	1	0	0	0	996	0,031	22,89	1,356	1	0	0	0
922	0,02	14,908	2,114	1	0	0	0	947	0,096	16,073	1,127	1	0	0	0	972	0,01	18,619	1,631	1	0	0	0	997	0,046	20,971	2,863	1	0	0	0
923	0,005	7,085	2,731	1	0	0	0	948	0,079	1,841	1,479	1	0	0	0	973	0,033	6,788	1,223	1	0	0	0	998	0,014	2,029	2,176	1	0	0	0
924	0,033	20,273	1,223	1	0	0	0	949	0,044	21,252	1,372	1	0	0	0	974	0,017	22,698	1,082	1	0	0	0	999	0,089	24,199	2,233	1	0	0	0
925	0,044	1,245	2,424	1	0	0	0	950	0,062	12,858	1,995	1	0	0	0	975	0,099	24,6	1,903	1	0	0	0	1000	0,037	9,768	1,756	1	0	0	0

Pola	Input				Target			Pola	Input				Target			Pola	Input				Target										
	x1	x2	x3	x4	y1	y2	y3		x1	x2	x3	x4	y1	y2	y3		x1	x2	x3	x4	y1	y2	y3								
1001	0,087	17,101	89,603	1	0	0	1	1026	0,041	37,598	29,457	1	0	0	1	1051	0,057	39,13	80,455	1	0	0	1	1076	0,021	21,176	94,898	1	0	0	1
1002	0,003	21,742	21,621	1	0	0	1	1027	0,057	5,187	10,698	1	0	0	1	1052	0,062	34,253	32,821	1	0	0	1	1077	0,035	18,787	39,431	1	0	0	1
1003	0,023	21,342	21,799	1	0	0	1	1028	0,021	25,132	29,963	1	0	0	1	1053	0,051	24,159	86,182	1	0	0	1	1078	0,047	8,301	77,117	1	0	0	1
1004	0,052	8,422	20,47	1	0	0	1	1029	0,097	33,439	44,612	1	0	0	1	1054	0,03	34,489	10,118	1	0	0	1	1079	0,041	38,687	45,24	1	0	0	1
1005	0,046	17,937	97,552	1	0	0	1	1030	0,002	2,375	67,555	1	0	0	1	1055	0,06	27,355	86,632	1	0	0	1	1080	0,005	37,733	85,083	1	0	0	1
1006	0,001	32,362	63,288	1	0	0	1	1031	0,059	26,314	21,583	1	0	0	1	1056	0,01	32,285	23,914	1	0	0	1	1081	0,068	21,978	96,157	1	0	0	1
1007	0,032	38,305	42,578	1	0	0	1	1032	0	38,913	79,649	1	0	0	1	1057	0,042	27,343	17,879	1	0	0	1	1082	0,093	35,677	36,794	1	0	0	1
1008	0,016	19,908	72,913	1	0	0	1	1033	0,039	36,191	51,841	1	0	0	1	1058	0,037	34,206	83,104	1	0	0	1	1083	0,018	26,15	13,965	1	0	0	1
1009	0,028	28,457	76,652	1	0	0	1	1034	0,063	21,362	12,076	1	0	0	1	1059	0,095	7,284	17,674	1	0	0	1	1084	0,098	34,534	7,602	1	0	0	1
1010	0,046	35,86	66,622	1	0	0	1	1035	0,039	12,267	60,027	1	0	0	1	1060	0,082	32,313	21,017	1	0	0	1	1085	0,025	35,11	28,312	1	0	0	1
1011	0,029	23,032	6,416	1	0	0	1	1036	0,064	37,48	4,759	1	0	0	1	1061	0,093	21,311	91,946	1	0	0	1	1086	0,068	6,548	41,899	1	0	0	1
1012	0,085	27,907	31,68	1	0	0	1	1037	0,001	25,033	39,396	1	0	0	1	1062	0,013	38,074	77,021	1	0	0	1	1087	0,038	35,807	19,978	1	0	0	1
1013	0,043	39,165	28,688	1	0	0	1	1038	0,066	21,606	83,572	1	0	0	1	1063	0,071	33,663	96,216	1	0	0	1	1088	0,092	34,438	71,617	1	0	0	1
1014	0,097	28,484	87,267	1	0	0	1	1039	0,084	8,87	28,293	1	0	0	1	1064	0,006	29,772	17,797	1	0	0	1	1089	0,089	29,934	80,654	1	0	0	1
1015	0,079	37,824	87,033	1	0	0	1	1040	0,032	35,142	24,602	1	0	0	1	1065	0,084	25,356	56,212	1	0	0	1	1090	0,018	10,395	90,297	1	0	0	1
1016	0,096	10,366	6,853	1	0	0	1	1041	0,099	16,938	78,578	1	0	0	1	1066	0,094	15,126	55,083	1	0	0	1	1091	0,061	13,468	31,283	1	0	0	1
1017	0,046	12,02	49,077	1	0	0	1	1042	0,067	1,61	48,737	1	0	0	1	1067	0,052	9,89	95,073	1	0	0	1	1092	0,007	29,431	78,491	1	0	0	1
1018	0,049	39,542	77,579	1	0	0	1	1043	0,067	33,5	4,336	1	0	0	1	1068	0,01	28,494	18,27	1	0	0	1	1093	0,088	9,172	26,933	1	0	0	1
1019	0,011	8,01	94,621	1	0	0	1	1044	0,007	23,303	56,669	1	0	0	1	1069	0,03	8,636	3,987	1	0	0	1	1094	0,069	35,96	66,014	1	0	0	1
1020	0,068	35,002	9,295	1	0	0	1	1045	0,077	24,151	73,075	1	0	0	1	1070	0,011	6,296	25,452	1	0	0	1	1095	0,085	2,501	78,937	1	0	0	1
1021	0,08	18,556	18,513	1	0	0	1	1046	0,017	7,403	56,596	1	0	0	1	1071	0,062	16,157	98,957	1	0	0	1	1096	0,044	10,835	94,641	1	0	0	1
1022	0,007	28,384	30,791	1	0	0	1	1047	0,061	9,8	35,826	1	0	0	1	1072	0,042	32,827	16,683	1	0	0	1	1097	0,073	9,468	25,744	1	0	0	1
1023	0,089	32,24	99,149	1	0	0	1	1048	0,005	33,709	7,935	1	0	0	1	1073	0,02	23,013	76,102	1	0	0	1	1098	0,076	30,789	12,191	1	0	0	1
1024	0,013	21,485	17,906	1	0	0	1	1049	0,022	6,334	27,658	1	0	0	1	1074	0,076	1,269	40,714	1	0	0	1	1099	0,012	5,074	51,766	1	0	0	1
1025	0,082	16,552	44,569	1	0	0	1	1050	0,007	3,83	41,502	1	0	0	1	1075	0,048	2,413	53,203	1	0	0	1	1100	0	3,359	47,968	1	0	0	1

**C. Nilai Bobot dan Bias pada *Hidden Layer 1***

<i>Neuron</i>	<i>Weight 1</i>	<i>Weight 2</i>	<i>Weight 3</i>	<i>Bias</i>
1	-0,7630	-0,1030	0,0997	15,6365
2	0,2810	-0,1608	-0,0605	-5,9506
3	-0,3204	0,0729	-0,0508	15,3593
4	9,6294	0,6522	-0,0596	-29,2809
5	0,4396	0,7198	0,1879	9,8754
6	-17,4636	6,1904	11,2418	-14,6388
7	-0,2611	0,2547	0,5914	5,0809
8	-5,0717	0,1174	2,3999	9,6636
9	4,3023	-97,6585	-0,9710	10,7680
10	-3,7098	0,0072	0,0840	10,5708
11	-0,77857	-3,33412	-34,1079	35,9959
12	-29,3538	0,1252	19,1714	-18,6876
13	-22,2108	-27,6748	-1,0843	30,5813
14	-97,7819	0,5530	-0,0098	10,3604
15	18,2791	-0,4271	26,9833	-24,4349
16	1,4497	-0,2748	10,4310	-34,0366
17	-1,1254	-1,9739	0,0905	20,2298
18	11,0304	1,8741	-3,1492	5,2024
19	-1,7403	0,2692	0,7459	-8,0932
20	-4,4751	-3,1219	-1,1334	16,4373

**D. Nilai Bobot dan Bias pada *Hidden Layer 2***nilai bobot 1 sampai 10 pada neuron *hidden layer 2*

Neuron	Weight 1	Weight 2	Weight 3	Weight 4	Weight 5	Weight 6	Weight 7	Weight 8	Weight 9	Weight 10
1	-4,3075	0,2927	-3,2320	-4,5209	-7,1868	-9,6932	-4,0233	-3,5356	-6,4050	1,6524
2	-7,1990	-0,7146	-6,8866	-6,2287	-7,9151	-6,2082	-6,6921	-3,5185	47,7894	-2,5361
3	6,7836	-0,2000	6,2174	0,3284	4,9379	5,9689	7,5716	6,8725	-8,0482	4,2506
4	2,0952	-0,7291	3,2424	2,4969	5,9863	-0,1549	3,4109	0,4526	3,1852	0,1187
5	-1,6192	0,9250	-2,0014	0,3667	-1,2623	0,1334	0,8143	-0,0930	-0,0222	0,0256
6	-1,9764	0,8212	-0,8993	-1,4741	-0,7074	0,2465	0,2841	-0,7258	-0,3720	-0,6892
7	2,5025	-0,8033	1,0573	23,6690	1,9585	-25,2311	2,2992	1,4227	-9,5257	-2,4117
8	-1,5629	0,2000	-1,4249	-21,2011	-2,9368	22,5392	-1,8548	-2,2562	5,9957	0,9851
9	-7,0493	-0,1650	-5,7145	-4,9525	-6,0725	-4,6727	-5,9694	-4,3052	47,9520	-3,6198
10	1,9235	1,1110	1,5270	-1,0284	2,5590	-0,0859	1,0977	0,3622	0,2747	2,1500

Nilai bobot 11 sampai 20 dan bias pada neuron *hidden layer 2*

Neuron	Weight 11	Weight 12	Weight 13	Weight 14	Weight 15	Weight 16	Weight 17	Weight 18	Weight 19	Weight 20	Bias
1	1,6012	23,3729	-24,8868	13,6966	26,0977	-10,8840	-16,8571	6,2420	0,9463	-14,1100	-1,5933
2	21,1794	15,4542	-2,3133	7,9711	0,9925	-6,8816	-6,1994	-7,5787	0,0455	0,6087	-8,1596
3	3,1301	-0,8381	-1,6814	-57,5628	16,6898	12,8940	-18,1448	5,3445	2,9521	-8,9970	5,5867
4	0,7273	1,5083	1,1307	-9,5920	-16,1185	-11,7806	17,9246	-4,2763	-3,0134	6,2982	1,6406
5	-0,9854	0,0593	-5,8283	-3,9561	1,8121	-0,3774	-1,1243	-0,1250	-0,0164	0,0684	0,9275
6	-1,3360	2,1702	-1,1871	0,1922	-0,8813	0,7123	0,0115	0,0495	0,0715	0,3653	-0,4608
7	-1,2386	19,6615	19,6414	-4,0087	21,6017	-34,0602	-13,6076	8,3873	-3,2837	-6,8744	3,8725
8	40,3265	-19,2076	-10,0839	6,0438	-21,3012	33,2403	13,4547	-8,1345	3,1057	7,6320	-1,4676
9	2,2576	11,0512	-1,4144	30,3754	-3,8053	-2,0030	-6,2788	-5,9383	-1,3998	-2,3856	-9,6061
10	0,4318	0,3221	7,7697	-5,1195	2,6824	3,0321	-7,7972	-2,6495	0,3939	0,2487	0,4160



**E. Nilai *Weight* dan *Bias* pada *Output Layer***

<i>Weight</i>	<i>Neuron 1</i>	<i>Neuron 2</i>	<i>Neuron 3</i>	<i>Neuron 4</i>
1	0,5001	-0,5001	-0,5021	-0,0092
2	0,0000	-0,0001	0,9978	-0,0037
3	0,0000	0,0001	-0,4981	0,0045
4	0,0001	0,0000	-0,5003	-0,0025
5	0,0021	-0,0006	-0,2624	-0,8937
6	-0,0017	-0,0080	0,3919	1,8633
7	0,0000	-0,5000	-0,4979	0,0070
8	0,0000	-0,5001	-0,4996	0,5001
9	0,0000	-0,0002	-0,4985	-0,4959
10	0,0000	0,0000	-0,0019	-0,0067
<i>Bias</i>	<i>Neuron 1</i>	<i>Neuron 2</i>	<i>Neuron 3</i>	<i>Neuron 4</i>
1	0,5003	0,4912	1,1283	0,9674

**F. Tabel Konsentrasi Gas Berdasarkan Data PT. PLN TJBTB**

No	APP	Gardu Induk	No. Transformator	Daya (MVA)	Konsentrasi Gas (ppm)				
					H2 (Hydrogen)	CH4 (Methane)	C2H4 (Ethylene)	C2H6 (Ethane)	C2H2 (Acetylene)
1	Bali	Gilimanuk	Trafo 1	10	88,284	14,459	21,173	305,136	0,000
2	Bali	Pesanggaran	Trafo 5	60	85,400	62,496	27,582	824,499	0,000
3	Madiun	Ngawi	Trafo 2	60	91,852	0,000	7,400	9,007	0,000
4	Madiun	Tulungagung	Trafo 2	30	45,390	16,906	24,814	622,737	0,000
5	Madiun	Tulungagung	Trafo 4	20	60,630	9,530	18,540	23,528	0,000
6	Malang	Ngoro	Trafo 2	60	104,513	265,497	879,927	412,328	0,000
7	Malang	Polehan	Trafo 3	30	85,870	1.250,838	2.440,743	916,108	0,000
8	Probolinggo	Paiton	Ibt 1	500	22,817	2,675	6,492	4,227	0,000
9	Probolinggo	Paiton	Tft	30	1.711,605	62,755	6,289	279,558	0,000
10	Surabaya	Waru	Trafo 4	60	44,548	75,065	32,524	1.317,219	0,000
11	Surabaya	Undaan	Trafo 1	60	56,606	41,706	78,425	536,360	0,000
12	Surabaya	Kupang	Trafo 1	60	48,146	47,995	188,439	471,310	0,000
13	Bali	Gianyar	Trafo 1	60	89,640	46,012	15,636	410,074	0,000
14	Surabaya	Babadan	Trafo 2	50	30,153	844,426	196,947	2,527	0,000
15	Surabaya	Darmogrand	Trafo 1	50	167,059	758,980	29,318	12,426	0,000
16	Surabaya	Kenjeran	Trafo 2	50	29,583	856,289	186,446	1,618	0,000
17	Bali	Amlapura	Trafo 1	20	64,553	82,672	32,273	314,379	0,000
18	Bali	Sanur	Trafo 3	60	271,260	209,801	18,112	268,152	0,000
19	Madiun	Bojonegoro	Trafo 1	20	53,807	0,000	5,305	2,242	0,447
20	Madiun	Bojonegoro	Trafo 2	60	56,548	8,841	1,215	19,784	0,000
21	Madiun	Bojonegoro	Trafo 3	60	147,055	183,408	14,624	525,992	0,000
22	Madiun	Manisrejo	Trafo 6	60	323,049	711,664	854,804	397,966	0,000
23	Malang	Polehan	Trafo 3	30	111,874	1977,827	2533,814	870,486	0,000

No	APP	Gardu Induk	No. Transformator	Daya (MVA)	Konsentrasi Gas (ppm)				
					H2 (Hydrogen)	CH4 (Methane)	C2H4 (Ethylene)	C2H6 (Ethane)	C2H2 (Acetylene)
24	Malang	Blimbing	Trafo 2	30	448,416	129,292	21,630	330,886	0,000
25	Probolinggo	Kraksaan	Trafo 1	30	134,417	28,181	5,157	3,423	0.000
26	Probolinggo	Bangil	Ibt 2	50	253,568	17,175	13,274	21,950	0.000
27	Madiun	Lamongan	Trafo 3	60	263,891	30,245	1,662	18,229	0.000
28	Madiun	Banaran	Trafo 5	60	235,948	119,372	11,622	351,087	0.000
29	Bali	Pamecutan Kelod	Trafo 1	60	171,362	80,664	18,974	868,692	0.000
30	Bali	Sanur	Trafo 2	60	225,388	86,549	8,681	156,351	0.000
31	Bali	Kapal	Trafo 3	60	258,036	53,923	8,657	361,064	0.000
32	Bali	Pesanggaran	Trafo 3	60	306,990	61,662	8,336	304,839	0.000
33	Malang	Tarik	Trafo 2	20	278,057	142,483	26,258	12,005	0,000
34	Malang	Driyorejo	Trafo 1	50	194,237	92,003	5,388	67,071	0,000
35	Malang	Kebonagung	Trafo 5	30	315,785	71,611	8,346	409,963	0,000
36	Probolinggo	Bangil	Trafo 4	20	295,577	111,623	5,779	94,622	0,000
37	Probolinggo	Bumicokro	Trafo 2	60	225,915	41,268	4,910	375,091	0,000
38	Madiun	Manisrejo	Ibt 1	100	211,704	93,207	3,856	246,198	0,000
39	Madiun	Manisrejo	Ibt 3	35	80,372	21,461	82,569	37,675	1,426
40	Malang	Driyorejo	Trafo 9	60	82,050	138,816	6,884	411,898	0,000
41	Bali	Kapal	Trafo 4	60	66,154	118,244	8,084	433,754	0,000
42	Surabaya	Pamekasan	Trafo 1	60	43,338	72,974	4,870	194,004	0,000
43	Madiun	Banaran	Ibt 3	35	107,264	209,711	72,141	393,117	0,000
44	Bali	Negara	Trafo 1	30	80,619	81,565	75,482	78,007	0,000
45	Bali	Baturiti	Trafo 1	16	452,605	53,301	26,854	15,444	0,000
46	Probolinggo	Genteng	Trafo 2	60	68,341	242,959	21,428	760,765	0,000
47	Probolinggo	Tanggul	Trafo 2	60	68,537	159,743	4,117	149,973	0,000
48	Malang	Driyorejo	Trafo 3	50	255,982	161,776	14,660	214,837	0,000

No	APP	Gardu Induk	No. Transformator	Daya (MVA)	Konsentrasi Gas (ppm)				
					H2 (Hydrogen)	CH4 (Methane)	C2H4 (Ethylene)	C2H6 (Ethane)	C2H2 (Acetylene)
49	Malang	Driyorejo	Trafo 4	60	60,717	226,473	27,385	870,706	0,000
50	Madiun	Ngimbang	Ibt 1 Phs. R	167	71,756	48,000	2,770	159,300	0,000
51	Madiun	Ngimbang	Ibt 1 Phs. T	167	121,545	55,639	2,720	170,125	0,000
52	Bali	Pemecutan Kelod	Trafo 3	60	19,958	27,597	0,287	45,174	0,000
53	Bali	Antosari	Trafo 2	30	358,976	8,213	24,166	12,496	0,000
54	Surabaya	Kenjeran	Trafo 1	50	78,587	95,165	16,379	198,106	0,000
55	Surabaya	Ujung	Trafo 2	30	86,640	185,288	19,942	354,402	0,000
56	Probolinggo	Probolinggo	Trafo 1	60	42,664	18,543	1,717	37,789	0,000
57	Madiun	Nganjuk	Trafo 3	30	78,589	48,875	24,395	17,948	0,000
58	Probolinggo	Jember	Trafo 3	60	85,957	38,710	25,538	17,112	0,000
59	Malang	Polehan	Trafo 1	20	135,358	183,980	5,658	533,547	0,000
60	Bali	Nusa Dua	Trafo 3	60	75,366	65,731	7,471	14,946	0,000
61	Bali	Sanur	Trafo 4	60	102,812	77,892	5,631	28,918	0,000
62	Probolinggo	Pandaan	Trafo 3	30	8,858	50,406	22,929	18,515	0,000
63	Madiun	Mranggen	Trafo 1	30	20,088	50,406	22,929	18,515	0,000
64	Madiun	Magetan	Trafo 1	20	13,967	114,309	8,479	379,046	0,000
65	Madiun	Magetan	Trafo 2	30	10,440	132,388	36,257	571,539	0,000
66	Madiun	Tanjung Awar Awar	Trafo 1	40	77,417	6,745	0,497	1,082	0,000
67	Madiun	Nganjuk	Trafo 2	20	78,589	48,875	24,395	17,948	0,000
68	Malang	Wlingi	Ibt 1	100	164,351	202,843	160,466	108,812	0,000
69	Malang	Wlingi	Trafo 2	10	275,652	40,542	18,217	68,551	0,000
70	Bali	Kapal	Trafo 2	60	75,079	36,346	1,017	75,716	0,000
71	Bali	Gianyar	Trafo 2	60	108,394	77,466	2,114	244,057	0,000
72	Malang	Gitet Krian	Ibt 3 - R	167	174,342	103,468	3,221	273,128	0,000
73	Surabaya	Manyar	Trafo 3	60	115,687	109,873	6,697	376,439	0,000

No	APP	Gardu Induk	No. Transformator	Daya (MVA)	Konsentrasi Gas (ppm)				
					H2 (Hydrogen)	CH4 (Methane)	C2H4 (Ethylene)	C2H6 (Ethane)	C2H2 (Acetylene)
74	Malang	Sekarputih	Ibt 1	35	1,892	84,349	3,685	182,390	0,138
75	Madiun	Tet Kediri	Ibt 3 - S	167	78,966	275,774	263,399	286,981	0,000
76	Surabaya	Sampang	Trafo 2	60	73,404	152,698	10,951	541,317	0,000
77	Probolinggo	Gondang Wetan	Trafo 1	60	169,430	14,297	6,735	10,991	0,000
78	Madiun	Tet Kediri	Ibt 2 - Phs R	167	135,995	61,887	3,216	208,571	0,000
79	Madiun	Tet Kediri	Ibt 2 - Phs S	167	246,197	37,815	2,019	179,705	0,000
80	Madiun	Tet Kediri	Ibt 2 - Phs T	167	145,312	56,237	1,968	205,929	0,000
81	Madiun	Tet Kediri	Ibt 3 - Phs R	167	45,658	251,020	5,573	161,556	0,000
82	Surabaya	Sawahan	Trafo 3	60	28,881	81,737	4,692	239,739	0,000
83	Surabaya	Simpang	Trafo 1	50	220,480	113,712	15,091	136,210	0,000
84	Surabaya	Simpang	Trafo 2	50	57,954	77,119	2,909	360,991	0,000
85	Madiun	Mranggen	Trafo 2	20	86,967	333,041	42,236	5,660	0,000
86	Madiun	Caruban	Trafo 2	30	22,700	95,337	6,050	339,158	0,000
87	Malang	Kebonagung	Ibt 3	50	59,755	192,453	34,379	307,775	2,566
88	Malang	Kebonagung	Trafo 4	60	91,053	69,002	13,255	240,824	0,000
89	Surabaya	Tandes	Trafo 4	10	144,949	88,884	8,564	441,644	0,000
90	Probolinggo	Pier	Trafo 1	50	196,964	28,423	444,907	11,250	71,384
91	Malang	Sekarputih	Trafo 8	60	47,255	276,559	29,243	538,307	0,000
92	Surabaya	Waru	Trafo 6	60	4,923	79,247	17,727	282,596	0,000
93	Probolinggo	Pier	Trafo 1	50	219,083	20,427	399,365	9,913	95,914
94	Probolinggo	Pier	Trafo 1	50	112,000	22,000	212,000	5,000	70,000
95	Probolinggo	Bondowoso	Trafo 1	30	68,975	9,108	33,174	16,215	92,303
96	Probolinggo	Bondowoso	Trafo 1	30	42,000	5,000	20,000	8,000	71,000
97	Malang	Blimbing	Trafo 1	20	55,078	5,680	7,930	4,236	70,761
98	Malang	Kebonagung	Trafo 6	60	63,965	10,606	1,613	1,802	0,000

No	APP	Gardu Induk	No. Transformator	Daya (MVA)	Konsentrasi Gas (ppm)				
					H2 (Hydrogen)	CH4 (Methane)	C2H4 (Ethylene)	C2H6 (Ethane)	C2H2 (Acetylene)
99	Surabaya	Wonokromo	Trafo 2	60	47,615	3,332	7,385	6,011	11,401
100	Surabaya	Undaan	Trafo 1	60	87,850	260,519	107,432	718,926	0,000
101	Surabaya	Babadan	Trafo 1	50	18,189	154,371	36,578	336,167	0,000
102	Surabaya	Buduran	Trafo 4	60	28,580	340,169	20,361	1064,716	0,000
103	Surabaya	Darmogrand	Trafo 2	60	38,638	264,834	22,370	1354,670	0,000
104	Probolinggo	Sukorejo	Trafo 1	30	118,755	27,101	30,366	18,595	0,000
105	Probolinggo	Bulukandang	Trafo 1	60	28,001	174,960	92,989	264,507	0,000
106	Madiun	Kertosono	Trafo 2	60	75,099	192,639	4,520	533,268	0,000
107	Malang	Ploso	Trafo 1	30	33,185	179,852	11,680	585,865	0,000
108	Malang	Ploso	Trafo 2	30	72,203	72,690	5,159	202,733	0,000
109	Malang	Tet Krian	Ibt 3 Phs S	167	167,325	127,928	4,331	332,195	0,000
110	Malang	Tet Krian	Ibt 3 Phs T	167	141,261	93,057	7,290	280,933	0,000
111	Surabaya	Krembangan	Trafo 2	50	220,441	210,831	42,236	353,839	0,000
112	Malang	Tet Krian	Ibt 4 Phs R	167	91,337	15,198	1,160	63,093	0,000
113	Madiun	Banaran	Ibt 6	60	67,000	220,000	14,000	491,000	0,000
114	Bali	Gilimanuk	Trafo 1	30	19,000	82,000	26,000	374,000	0,000
115	Bali	Gilimanuk	Trafo 2	10	142,000	9,000	3,000	12,000	5,000
116	Surabaya	New Sidoarjo	Trafo 1	60	2,000	38,000	6,000	52,000	0,000
117	Surabaya	Surabaya Selatan	Trafo 2	60	14,000	2,000	2,000	11,000	0,000
118	Surabaya	Alta Prima	Trafo 1	60	3,000	4,000	1,000	1,000	0,000
119	Surabaya	Manyar	Ibt 4	100	1,000	7,000	2,000	6,000	0,000
120	Madiun	Pare	Trafo 1	30	4,000	21,000	7,000	50,000	0,000
121	Madiun	Jatigedong	Trafo 1	60	2,000	12,000	4,000	2,000	0,000
122	Madiun	Pacitan	Trafo 1	60	2,000	38,000	8,000	135,000	0,000
123	Madiun	Mliwang	Trafo 2	60	3,000	4,000	2,000	2,000	0,000

No	APP	Gardu Induk	No. Transformator	Daya (MVA)	Konsentrasi Gas (ppm)				
					H <sub>2</sub> (Hydrogen)	CH <sub>4</sub> (Methane)	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> (Ethylene)	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> (Ethane)	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> (Acetylene)
124	Madiun	New Ponorogo	Trafo 3	60	2,000	10,000	9,000	14,000	0,000
125	Madiun	New Ponorogo	Trafo 2	60	3,000	11,000	8,000	10,000	0,000
126	Malang	Ploso	Trafo 3	30	1,000	9,000	5,000	3,000	0,000
127	Malang	Mojoagung	Trafo 3	60	1,000	24,000	4,000	36,000	0,000
128	Probolinggo	Banyuwangi	Trafo 1	30	2,000	92,000	9,000	242,000	0,000
129	Probolinggo	Banyuwangi	Trafo 2	60	4,000	12,000	11,000	17,000	0,000
130	Probolinggo	Banyuwangi	Trafo 3	60	2,000	24,000	3,000	21,000	0,000
131	Probolinggo	Banyuwangi	Trafo 4	30	5,000	18,000	92,000	6,000	0,000

**G. Tabel Perbandingan Hasil Analisis Kondisi Transformator Berdasarkan Data DGA PT. PLN TJBTB**

No	Gardu Induk	Daya (MVA)	Rasio gas			Kondisi Transformator		
			R1	R2	R3	IEC	NN	NN+
1	Gilimanuk	10	0,000	0,164	0,069	normal	Normal	normal
2	Pesanggaran	60	0,000	0,732	0,033	normal	Normal	normal
3	Ngawi	60	0,000	0,000	0,822	partial discharge rendah	partial discharge rendah	normal
4	Tulungagung	30	0,000	0,372	0,040	normal	Normal	normal
5	Tulungagung	20	0,000	0,157	0,788	normal	Normal	normal
6	Ngoro	60	0,000	2,540	2,134	thermal 300-700	thermal 300-700	thermal 300-700
7	Polehan	30	0,000	14,567	2,664	thermal 300-700	thermal 300-700	thermal 300-700
8	Paiton	500	0,000	0,117	1,536	thermal <150	thermal <150	normal
9	Paiton	30	0,000	0,037	0,022	partial discharge rendah	partial discharge rendah	partial discharge rendah
10	Waru	60	0,000	1,685	0,025	thermal 150-300	thermal 150-300	thermal 150-300
11	Undaan	60	0,000	0,737	0,146	normal	Normal	normal
12	Kupang	60	0,000	0,997	0,400	normal	Normal	normal
13	Gianyar	60	0,000	0,513	0,038	normal	Normal	normal
14	Babadan	50	0,000	28,005	77,937	thermal tinggi >700	thermal tinggi >700	thermal tinggi >700
15	Darmogrand	50	0,000	4,543	2,359	thermal 300-700	thermal 300-700	thermal 300-700
16	Kenjeran	50	0,000	28,945	115,232	thermal tinggi >700	thermal tinggi >700	thermal tinggi >700
17	Amlapura	20	0,000	1,281	0,103	thermal 150-300	thermal 150-300	thermal 150-300
18	Sanur	60	0,000	0,773	0,068	normal	Normal	normal
19	Bojonegoro	20	0,059	0,000	2,366	thermal <150	<i>unidentified</i>	normal
20	Bojonegoro	60	0,000	0,156	0,061	normal	Normal	normal
21	Bojonegoro	60	0,000	1,247	0,028	thermal 150-300	thermal 150-300	thermal 150-300
22	Manisrejo	60	0,000	2,203	2,148	thermal 300-700	thermal 300-700	thermal 300-700
23	Polehan	30	0,000	17,679	2,911	thermal 300-700	thermal 300-700	thermal 300-700



No	Gardu Induk	Daya (MVA)	Rasio gas			Kondisi Transformator		
			R1	R2	R3	IEC	NN	NN+
24	Blimbing	30	0,000	0,288	0,065	normal	Normal	normal
25	Kraksaan	30	0,000	0,210	1,507	thermal <150	thermal <150	thermal <150
26	Bangil	50	0,000	0,068	0,605	partial discharge rendah	partial discharge rendah	partial discharge rendah
27	Lamongan	60	0,000	0,115	0,091	normal	partial discharge rendah	partial discharge rendah
28	Banaran	60	0,000	0,506	0,033	normal	Normal	normal
29	Pamecutan Kelod	60	0,000	0,471	0,022	normal	Normal	normal
30	Sanur	60	0,000	0,384	0,056	normal	Normal	normal
31	Kapal	60	0,000	0,209	0,024	normal	Normal	normal
32	Pesanggaran	60	0,000	0,201	0,027	normal	Normal	normal
33	Tarik	20	0,000	0,512	2,187	thermal 150-300	thermal <150	thermal <150
34	Driyorejo	50	0,000	0,474	0,080	normal	Normal	normal
35	Kebonagung	30	0,000	0,227	0,020	normal	Normal	normal
36	Bangil	20	0,000	0,378	0,061	normal	Normal	normal
37	Bumicokro	60	0,000	0,183	0,013	normal	Normal	normal
38	Manisrejo	100	0,000	0,440	0,016	normal	Normal	normal
39	Manisrejo	35	0,017	0,267	2,192	thermal <150	thermal <150	thermal <150
40	Driyorejo	60	0,000	1,692	0,017	thermal 150-300	thermal 150-300	thermal 150-300
41	Kapal	60	0,000	1,787	0,019	thermal 150-300	thermal 150-300	thermal 150-300
42	Pamekasan	60	0,000	1,684	0,025	thermal 150-300	thermal 150-300	thermal 150-300
43	Banaran	35	0,000	1,955	0,184	thermal 150-300	thermal 150-300	thermal 150-300
44	Negara	30	0,000	1,012	0,968	thermal 150-300	Normal	normal
45	Baturiti	16	0,000	0,118	1,739	thermal <150	thermal <150	thermal <150
46	Genteng	60	0,000	3,555	0,028	thermal 150-300	thermal 150-300	thermal 150-300
47	Tanggul	60	0,000	2,331	0,027	thermal 150-300	thermal 150-300	thermal 150-300
48	Driyorejo	50	0,000	0,632	0,068	normal	Normal	normal

No	Gardu Induk	Daya (MVA)	Rasio gas			Kondisi Transformator		
			R1	R2	R3	IEC	NN	NN+
49	Driyorejo	60	0,000	3,730	0,031	thermal 150-300	thermal 150-300	thermal 150-300
50	Ngimbang	167	0,000	0,669	0,017	normal	Normal	normal
51	Ngimbang	167	0,000	0,458	0,016	normal	Normal	normal
52	Pemecutan Kelod	60	0,000	1,383	0,004	thermal 150-300	thermal 150-300	normal
53	Antosari	30	0,000	0,023	1,934	thermal <150	<i>unidentified</i>	<i>unidentified</i>
54	Kenjeran	50	0,000	1,211	0,083	thermal 150-300	thermal 150-300	thermal 150-300
55	Ujung	30	0,000	2,139	0,056	thermal 150-300	thermal 150-300	thermal 150-300
56	Probolinggo	60	0,000	0,435	0,045	normal	Normal	normal
57	Nganjuk	30	0,000	0,622	1,359	thermal <150	thermal <150	normal
58	Jember	60	0,000	0,450	1,492	thermal <150	thermal <150	normal
59	Polehan	20	0,000	1,359	0,011	thermal 150-300	thermal 150-300	thermal 150-300
60	Nusa Dua	60	0,000	0,872	0,500	normal	Normal	normal
61	Sanur	60	0,000	0,758	0,195	normal	Normal	normal
62	Pandaan	30	0,000	5,690	1,238	thermal 300-700	thermal 300-700	normal
63	Mranggen	30	0,000	2,509	1,238	thermal 300-700	thermal 300-700	normal
64	Magetan	20	0,000	8,184	0,022	thermal 150-300	thermal 150-300	thermal 150-300
65	Magetan	30	0,000	12,681	0,063	thermal 150-300	thermal 150-300	thermal 150-300
66	Tanjung Awar Awar	40	0,000	0,087	0,319	partial discharge rendah	partial discharge rendah	normal
67	Nganjuk	20	0,000	0,622	1,359	thermal <150	thermal <150	normal
68	Wlingi	100	0,000	1,234	1,475	thermal 300-700	thermal 300-700	thermal 300-700
69	Wlingi	10	0,000	0,147	0,266	normal	Normal	normal
70	Kapal	60	0,000	0,484	0,013	normal	Normal	normal
71	Gianyar	60	0,000	0,715	0,009	normal	Normal	normal
72	Gitet Krian	167	0,000	0,593	0,012	normal	Normal	normal
73	Manyar	60	0,000	0,950	0,018	normal	Normal	normal

No	Gardu Induk	Daya (MVA)	Rasio gas			Kondisi Transformator		
			R1	R2	R3	IEC	NN	NN+
74	Sekarputih	35	0,026	44,582	0,020	thermal 150-300	<i>unidentified</i>	<i>unidentified</i>
75	Tet Kediri	167	0,000	3,492	0,918	thermal 150-300	thermal 150-300	thermal 150-300
76	Sampang	60	0,000	2,080	0,020	thermal 150-300	thermal 150-300	thermal 150-300
77	Gondang Wetan	60	0,000	0,084	0,613	partial discharge rendah	partial discharge rendah	partial discharge rendah
78	Tet Kediri	167	0,000	0,455	0,015	normal	normal	normal
79	Tet Kediri	167	0,000	0,154	0,011	normal	normal	normal
80	Tet Kediri	167	0,000	0,387	0,010	normal	normal	normal
81	Tet Kediri	167	0,000	5,498	0,034	thermal 150-300	thermal 150-300	thermal 150-300
82	Sawahan	60	0,000	2,830	0,020	thermal 150-300	thermal 150-300	thermal 150-300
83	Simpang	50	0,000	0,516	0,111	normal	normal	normal
84	Simpang	50	0,000	1,331	0,008	thermal 150-300	thermal 150-300	thermal 150-300
85	Mranggen	20	0,000	3,830	7,462	thermal tinggi >700	thermal 300-700	thermal 300-700
86	Caruban	30	0,000	4,200	0,018	thermal 150-300	thermal 150-300	thermal 150-300
87	Kebonagung	50	0,075	3,221	0,112	thermal 150-300	thermal 150-300	thermal 150-300
88	Kebonagung	60	0,000	0,758	0,055	normal	normal	normal
89	Tandes	10	0,000	0,613	0,019	normal	normal	normal
90	Pier	50	0,160	0,144	39,547	discharge energi tinggi	discharge energi tinggi	discharge energi tinggi
91	Sekarputih	60	0,000	5,852	0,054	thermal 150-300	thermal 150-300	thermal 150-300
92	Waru	60	0,000	16,097	0,063	thermal 150-300	thermal 150-300	thermal 150-300
93	Pier	50	0,240	0,093	40,287	discharge energi tinggi	discharge energi tinggi	discharge energi tinggi
94	Pier	50	0,330	0,196	42,400	discharge energi tinggi	discharge energi tinggi	discharge energi tinggi
95	Bondowoso	30	2,782	0,132	2,046	discharge energi rendah	discharge energi rendah	discharge energi rendah
96	Bondowoso	30	3,550	0,119	2,500	discharge energi rendah	discharge energi rendah	discharge energi rendah
97	Blimbing	20	8,923	0,103	1,872	discharge energi rendah	discharge energi rendah	discharge energi rendah
98	Kebonagung	60	0,000	0,166	0,895	normal	normal	normal

No	Gardu Induk	Daya (MVA)	Rasio gas			Kondisi Transformator		
			R1	R2	R3	IEC	NN	NN+
99	Wonokromo	60	1,544	0,070	1,229	discharge energi rendah	discharge energi rendah	discharge energi rendah
100	Undaan	60	0,000	2,965	0,149	thermal 150-300	thermal 150-300	thermal 150-300
101	Babadan	50	0,000	8,487	0,109	thermal 150-300	thermal 150-300	thermal 150-300
102	Buduran	60	0,000	11,902	0,019	thermal 150-300	thermal 150-300	thermal 150-300
103	Darmogrand	60	0,000	6,854	0,017	thermal 150-300	thermal 150-300	thermal 150-300
104	Sukorejo	30	0,000	0,228	1,633	thermal <150	thermal <150	thermal <150
105	Bulukandang	60	0,000	6,248	0,352	thermal 150-300	thermal 150-300	thermal 150-300
106	Kertosono	60	0,000	2,565	0,008	thermal 150-300	thermal 150-300	thermal 150-300
107	Ploso	30	0,000	5,420	0,020	thermal 150-300	thermal 150-300	thermal 150-300
108	Ploso	30	0,000	1,007	0,025	thermal 150-300	thermal 150-300	thermal 150-300
109	Tet Krian	167	0,000	0,765	0,013	normal	normal	normal
110	Tet Krian	167	0,000	0,659	0,026	normal	normal	normal
111	Krengangan	50	0,000	0,956	0,119	normal	normal	normal
112	Tet Krian	167	0,000	0,166	0,018	normal	normal	normal
113	Banaran	60	0,000	3,284	0,029	thermal 150-300	thermal 150-300	thermal 150-300
114	Gilimanuk	30	0,000	4,316	0,070	thermal 150-300	thermal 150-300	thermal 150-300
115	Gilimanuk	10	1,667	0,063	0,250	PD energi tinggi	PD energi tinggi	PD energi tinggi
116	New Sidoarjo	60	0,000	19,000	0,115	thermal 150-300	thermal 150-300	normal
117	Surabaya Selatan	60	0,000	0,143	0,182	normal	normal	normal
118	Alta Prima	60	0,000	1,333	1,000	thermal 300-700	discharge energi tinggi	normal
119	Manyar	100	0,000	7,000	0,333	thermal 150-300	thermal 150-300	normal
120	Pare	30	0,000	5,250	0,140	thermal 150-300	thermal 150-300	normal
121	Jatigedong	60	0,000	6,000	2,000	thermal 300-700	thermal 300-700	normal
122	Pacitan	60	0,000	19,000	0,059	thermal 150-300	thermal 150-300	thermal 150-300
123	Mliwang	60	0,000	1,333	1,000	thermal 300-700	discharge energi tinggi	normal

No	Gardu Induk	Daya (MVA)	Rasio gas			Kondisi Transformator		
			R1	R2	R3	IEC	NN	NN+
124	New Ponorogo	60	0,000	5,000	0,643	thermal 150-300	thermal 150-300	normal
125	New Ponorogo	60	0,000	3,667	0,800	thermal 150-300	thermal 150-300	normal
126	Ploso	30	0,000	9,000	1,667	thermal 300-700	thermal 300-700	normal
127	Mojoagung	60	0,000	24,000	0,111	thermal 150-300	thermal 150-300	normal
128	Banyuwangi	30	0,000	46,000	0,037	thermal 150-300	<i>unidentified</i>	<i>unidentified</i>
129	Banyuwangi	60	0,000	3,000	0,647	thermal 150-300	thermal 150-300	normal
130	Banyuwangi	60	0,000	12,000	0,143	thermal 150-300	thermal 150-300	normal
131	Banyuwangi	30	0,000	3,600	15,333	thermal tinggi >700	thermal tinggi >700	thermal tinggi >700

*Unidentified* : Tidak Terdefinisi oleh Metode