



TESIS - EE185401

# PREDIKSI SISA UMUR TRANSFORMATOR DISTRIBUSI MENGGUNAKAN METODE NEURO WAVELET

NOVIE ELOK SETIAWATI  
07111650010008

DOSEN PEMBIMBING  
Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M.Eng  
Vita Lystianingrum Budiharto Putri, ST., M.Sc.,Ph.D

PROGRAM MAGISTER  
BIDANG KEAHLIAN TEKNIK SISTEM TENAGA  
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNOLOGI ELEKTRO  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2019





TESIS - EE185401

# **PREDIKSI SISA UMUR TRANSFORMATOR DISTRIBUSI MENGGUNAKAN METODE NEURO WAVELET**

NOVIE ELOK SETIAWATI  
07111650010008

DOSEN PEMBIMBING  
Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M.Eng.  
Vita Lystianingrum Budiharto Putri, ST., M.Sc., Ph.D

PROGRAM MAGISTER  
BIDANG KEAHLIAN TEKNIK SISTEM TENAGA  
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNOLOGI ELEKTRO  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2019



## LEMBAR PENGESAHAN

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
Magister Teknik (M.T)  
di  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh:

Novie Elok Setiawati  
NRP. 07111650010008

Tanggal Ujian : 17 Desember 2018  
Periode Wisuda : Maret 2019

Disetujui oleh:

1. Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M.Eng. (Pembimbing I)  
NIP: 195809161986011001
2. Vita Lystianingrum Budiharto P, S.T., M.Sc., Ph.D. (Pembimbing II)  
NIP: 198208292006042001  
14/1/19
3. Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T. (Penguji)  
NIP: 196603181990101001  
08-4-19
4. Dedet Candra Riawan, S.T., M.Eng., Ph.D. (Penguji)  
NIP: 197311192000031001
5. Dimas Anton Asfani, S.T., M.T., Ph.D. (Penguji)  
NIP: 198109052005011002



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi keseluruhan Tesis saya dengan judul “**PREDIKSI SISA UMUR TRANSFORMATOR DISTRIBUSI MENGGUNAKAN METODE NEURO WAVELET**” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

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

Surabaya, 17 Desember 2018



Novie Elok Setiawati

NRP. 07111650010008

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



# **PREDIKSI SISA UMUR TRANSFORMATOR DISTRIBUSI MENGUNAKAN METODE NEURO WAVELET**

Nama mahasiswa : Novie Elok Setiawati  
NRP : 07111650010008  
Pembimbing : 1. Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M. Eng.  
2. Vita Lystianingrum B. P., ST., M.Sc., Ph.D.

## **ABSTRAK**

Transformator distribusi adalah salah satu instrument penting dalam penyaluran listrik ke konsumen. Selain penggunaan normal, kondisi gangguan pada transformator dapat menyebabkan menurunnya umur transformator sehingga kinerja transformator tidak optimal sampai batas umur operasinya. Oleh karena itu penting sekali dilakukan menghitung sisa umur transformator. Tahapan yang dilakukan adalah menghitung sisa umur transformator menggunakan standar IEC 60076-7.

Selanjutnya dilakukan prediksi sisa umur transformator menggunakan *wavelet transform* dan *backpropagation neural network*. Parameter-parameter yang diperlukan untuk penelitian ini antara lain sinyal arus transformator, pembebanan dan umur transformator. Pengukuran arus dan temperatur transformator distribusi dilaksanakan di Surabaya Utara dengan rating 20 KV / 380-220 Volt. Pengukuran arus transformator telah diolah dengan menggunakan *wavelet transform* untuk mendapatkan detail koefisien yang digunakan untuk menghitung nilai energi dan PSD. Nilai energi, PSD dan pembebanan transformator merupakan data latih dan data testing pada *backpropagation neural network*. Output metode yang diharapkan adalah prediksi sisa umur transformator

Kata kunci: transformator distribusi, IEC standart 60076-7, wavelet transform, energi, PSD, backpropagation neural network

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# **PREDICTION REMAINING LIFETIME OF DISTRIBUTION TRANSFORMER USING NEURWO WAVELET**

By : Novie Elok Setiawati  
Student Identity Number : 07111650010008  
Supervisor(s) : 1. Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery P,M. Eng.  
2.Vita Lystianingrum B.P, ST.,M.Sc., Ph.D.

## **ABSTRACT**

The distribution transformer is one of the vital components in the power system distribution, which is deliver electricity power to the consumer. In addition to normal use, the disturbance conditions on the transformer can cause a decrease of its performance of the transformer, so that it cannot reach its operation life. Therefore, it is important to calculate the remaining lifetime of trnasformer. The step that needs to be done is to calculate the remaining lifetime of transformer using the IEC standard 60076-7.

Furthermore, predicting the remaining lifetime of transformer using wavelet transform and backpropagation neural network. The parameters used for this research include current signal, load and remaining lifetime of transformer. Transformer current measurement is carried out in North Surabaya with a rating of 20 KV/380-220 V. The current of the distribution transformer has been processed using the wavelet transform to obtain the detail coefficients used to calculate the energi and PSD (power spectral density) value. Energi value and PSD (power spectral density) are inputs data used on training and testing of backpropagation neural network. The expected output method is the prediction remaining lifetime of transformer.

Key words: distribution transformer; IEC 600076-7; wavelet transform; energi value; PSD; backpropagation neural network

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **KATA PENGANTAR**

Alhamdulillah rabbil'alamin rasa syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, karena berkat rahmat Nya penulis dapat menyelesaikan Tesis yang berjudul **"PREDIKSI SISA UMUR TRANSFORMATOR DISTRIBUSI MENGGUNAKAN NEURO WAVELET"**.

Tesis ini dapat tersusun berkat bantuan dari semua pihak, untuk itu penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah banyak membantu dalam menyelesaikan Tesis ini, tak lupa juga penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Ayahanda Sentot Rahardjono, Ibunda tercinta Lely Indrayati, kakak saya Ayu, kakak ipar Yayak, keponakan tercinta Chacha dan suami saya Dwiki telah memberikan dukungan, kasih sayang, doa, dan bantuannya untuk menyelesaikan Tesis ini.
2. Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery Purnomo ,M. Eng dan Vita Lystianingrum B. P, ST., M.Sc., Ph.D. selaku dosen pembimbing Tesis, yang telah membimbing dan memberi semangat dalam penyusunan Tesis ini.
3. Ibu Rosmaliati yang telah banyak memberikan wawasan, motivasi, ilmu, bimbingan dan waktu yang telah banyak diluangkan kepad apenulis untuk berdiskusi
4. Seluruh Dosen Elektro yang telah memberikan bekal ilmu pengetahuan selama penulis belajar di Institut Sepuluh Nopember.
5. Teman-temanku seperjuangan S2 Teknik Sistem Tenaga Ganjil 2016/2017 yang telah banyak membantu dan memberi semangat dalam penyusunan Tesis ini.
6. Temanku Iit yang telah berjuang bersama dalam penyusunan Tesis ini, semoga silaturahmi kita tetap terjaga.
7. Rekan-rekan AJ302, Lipist yang telah banyak membantu dan menemani penulis dari pagi hingga malam hari.
8. Bapak Ardi Purwono, Staf SARPRAS ITS bagian teknisi transformator, yang telah menemani penulis dalam pengambilan data transformator di lingkungan ITS.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa dalam penyusunan Tesis ini mungkin masih terdapat kekurangan. Namun penulis telah berusaha sekuat tenaga dan pikiran untuk memperoleh hasil Tesis dengan baik. Oleh karena itu, saran dan kritik yang membangun sangat diharapkan penulis demi kesempurnaan Tesis ini.

Akhir kata penulis berharap semoga Tesis ini dapat bermanfaat bagi penulis pada khususnya dan pembaca pada umumnya

Surabaya, 11 Desember 2018

Novie Elok Setiawati

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS .....	v
ABSTRAK .....	vii
ABSTRACT .....	ix
KATA PENGANTAR .....	xi
DAFTAR ISI .....	xiii
DAFTAR GAMBAR .....	xv
DAFTAR TABEL .....	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan .....	2
1.4 Batasan Masalah .....	3
1.5 Kontribusi .....	3
1.6 Metodologi Penelitian .....	3
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA .....	5
2.1 Kajian Penelitian Terkait .....	5
2.2 Transformator Distribusi .....	7
2.2.1 Konstruksi Transformator .....	7
2.2.2 Temperatur dan Pembebanan pada Transformator .....	9
2.2.3 Perhitungan Sisa Umur Transformator .....	11
2.3 Transformasi Wavelet .....	13
2.3.1 Ekstraksi Fitur .....	15
2.3.2 <i>Backpropagation Neural Network</i> .....	15
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN .....	21
3.1 Desain Penelitian .....	21
3.2 Pengukuran Arus dan Temperatur Pada Transformator .....	22

3.3	Menghitung Data Pembebanan dan Sisa Umur Transformator.....	23
3.4	Pengolahan Data Sampel Arus .....	24
3.5	Energi dan <i>Power Spectral Density</i> (PSD).....	25
3.6	Normalisasi dan Denormalisasi .....	25
3.7	Prediksi Sisa Umur Transformator .....	26
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN .....		29
4.1	Hasil Pengukuran Arus dan Temperatur .....	29
4.2	Hasil Menghitung Data Pembebanan dan Sisa Umur Transformator .....	31
4.3	Hasil Pengolahan Data Sampel Arus.....	35
4.4	Hasil Energi dan <i>Power Spectral Density</i> (PSD) .....	37
4.5	Hasil Prediksi Sisa Umur Transformator Menggunakan <i>Backpropagation</i> .....	38
4.5.1	Komposisi I .....	38
4.5.2	Komposisi II .....	39
4.5.3	Komposisi III.....	40
4.6	Sisa Umur Transformator .....	41
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN .....		43
DAFTAR PUSTAKA.....		45
LAMPIRAN 1 .....		47
LAMPIRAN 2 .....		59
LAMPIRAN 3 .....		61
LAMPIRAN 4 .....		75
BIOGRAFI PENULIS .....		79



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Bagian konstruksi transformator distribusi .....	9
Gambar 2.2 Diagram Thermal .....	10
Gambar 2.3 Tiga level <i>wavelet decomposition tree</i> .....	14
Gambar 2.4 Arsitektur jaringan backpropagation[13] .....	16
Gambar 3.1 Blok diagram tahapan penelitian .....	21
Gambar 3.2 (a) Sketsa pengukuran arus transformator (b) Sketsa pengukuran temperatur pada transformator .....	23
Gambar 3.3 Sinyal Arus Transformator TR-11 .....	24
Gambar 3.4 Arsitektur Backpropagation .....	27
Gambar 3.5 Diagram Alir backpropagation neural network untuk prediksi sisa umur transformator.....	28
Gambar 4.1 Hasil Dekomposisi Wavelet pada Transformator TR-1 .....	37
Gambar 4.2 Prediksi Sisa Umur vs Sisa Umur Asli Komposisi I.....	39
Gambar 4.3 Prediksi Sisa Umur vs Sisa Umur Asli Komposisi II .....	40
Gambar 4.4 Prediksi Sisa Umur vs Sisa Umur Asli Komposisi III .....	41

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Karakteristik termal untuk perhitungan pembebanan transformator distribusi “ONAN” .....	12
Tabel 3.1 Rentang frekuensi gelombang hasil dari dekomposisi sinyal .....	25
Tabel 4.1 Kapasitas dan tahun operasi transformator distribusi .....	29
Tabel 4.2 Data hasil pengukuran arus dan temperatur TR-1 selama 24 jam .....	30
Tabel 4.3 Data hasil pengukuran arus dan temperatur TR-2 selama 24 jam .....	30
Tabel 4.4 Data pembebanan transformator distribusi selama 24 jam .....	31
Tabel 4.5 Perhitungan sisa umur transformator TR-1 .....	32
Tabel 4.6 Perhitungan Sisa Umur Transformator TR-2 .....	33
Tabel 4.7 Hasil perhitungan IEC 60076-7 Vs hasil pengukuran temperatur <i>hot spot</i> .....	34
Tabel 4.8 Kerapatan Energi dan PSD Pada Transformator TR-1 .....	37
Tabel 4.9 Kerapatan Energi dan PSD Pada Transformator TR-2 .....	38
Tabel 4.10 Hasil simulasi prediksi sisa umur vs sisa umur asli komposisi I .....	38
Tabel 4.11 Hasil simulasi prediksi sisa umur vs sisa umur asli komposisi II .....	40
Tabel 4.12 Hasil simulasi prediksi sisa umur vs sisa umur asli komposisi III .....	41
Tabel 4.13 Hasil sisa umur transformator .....	42

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Transformator distribusi adalah salah satu komponen utama dalam sistem tenaga yang berperan dalam proses penyaluran tenaga listrik kepada konsumen yang harus terjamin pelayanannya. Namun, dalam kondisi tertentu proses pelayanan tenaga listrik dapat mengalami gangguan yang disebabkan beberapa faktor antara lain, gangguan hubung singkat, pembebanan yang semakin meningkat, pengaruh mekanisme kimia, penurunan isolasi transformator dan faktor-faktor lainnya. Faktor-faktor tersebut dapat mengakibatkan menurunnya umur transformator sehingga kinerja transformator tidak optimal sampai batas umur operasinya. Berbagai penelitian telah dilakukan untuk memonitor dan mengevaluasi kondisi transformator, salah satunya adalah memprediksi dan memonitor transformator daya untuk mengetahui kapasitas beban dan sisa umur transformator[1]. Penelitian lainnya[2], menentukan sisa umur transformator dengan memperkirakan profil beban harian. Selain itu, penelitian nilai arus harmonik juga dapat menyebabkan berkurangnya umur transformator seperti pada penelitian [3] yang melakukan pengukuran harmonik arus dengan beban non linier pada transformator distribusi. Sama halnya dengan penelitian sebelumnya, penelitian [4] melakukan klasifikasi umur transformator dan monitoring kondisi transformator dengan metode transformasi wavelet dan probalistic neural network. Penelitian [5] kombinasi transformasi wavelet dan probalistic neural network untuk mengklasifikasi umur transformator dan monitoring kondisi transformator dilakukan dengan mempertimbangkan harmonic arus. Selain itu pada penelitian [6] dilakukan eksperimen pada transformator untuk menentukan *health index* dengan menggunakan metode ANFIS. Dari penelitian yang telah disebutkan di atas, belum membahas tentang prediksi sisa umur transformator. Oleh karena itu, penelitian ini melakukan prediksi sisa umur transformator dengan menggunakan metode transformasi wavelet dan backpropagation neural network. Informasi tentang sisa

umur traansfromator dapat membantu pada utilitas ketenagalistrikan dalam melakukan perencanaan pemeliharaan dan penggantian transfromator distribusi.

Tahapan yang dilakukan adalah menghitung sisa umur transformator menggunakan standar IEC 60076-7. Parameter-parameter yang diperlukan untuk penelitian ini antara lain sinyal arus transformator, pembebanan dan umur transformator. Pengukuran arus transformator telah diolah dengan menggunakan *wavelet transform* untuk mendapatkan detail koefisien yang digunakan untuk menghitung nilai energi dan PSD. Nilai energi, PSD dan pembebanan transformator merupakan data latih dan data testing pada *backpropagation neural network*. Output metode yang diharapkan adalah prediksi sisa umur transformator.

## 1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang dibahas dalam tesis ini adalah terkait :

1. Bagaimana karakteristik spektrum arus sekunder transformator berdasarkan umur dan kapasitas?
2. Bagaimana pengaruh pembebanan, temperature *hot spot* terhadap sisa umur transformator?
3. Bagaimana karakteristik hasil transformasi wavelet berupa kerapatan energi dan *Power Spectral Density* (PSD) pada transformator berdasarkan umur dan kapasitas ?
4. Bagaimana memperoleh hasil prediksi sisa umur transformator dengan menggunakan *neural network*?

## 1.3 Tujuan

Penelitian pada tesis ini bertujuan sebagai berikut :

1. Menggambarkan pengaruh pembebanan, temperature *hot spot* terhadap sisa umur transformator
2. Memperoleh karakteristik spektrum arus sekunder transformator berdasarkan umur dan kapasitas
3. Memperoleh karakteristik hasil transformasi wavelet berupa kerapatan energi dan *Power Spectral Density* (PSD) pada transformator

4. Memperoleh hasil prediksi sisa umur transformator dengan menggunakan *neural network*

#### **1.4 Batasan Masalah**

Beberapa asumsi dan batasan yang diambil pada penelitian ini adalah :

1. Transformator yang digunakan merupakan transformator distribusi dengan level tegangan 20 kV/220-380 V.
2. Transformator yang dianalisis memiliki sisa umur 14 tahun, 19 tahun, 21 tahun, 22 tahun, 23 tahun, 24 tahun, 25 tahun, 26 tahun
3. Tidak membahas pengaruh kualitas minyak transformator dalam penelitian ini
4. Analisis yang dilakukan sebatas pengaruh pembebanan transformator, dan temperatur terhadap prediksi sisa umur transformator

#### **1.5 Kontribusi**

Kontribusi dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Penelitian sebelumnya untuk memprediksi sisa umur transformator menggunakan pengujian minyak di laboratorium. Sedangkan penelitian ini menggunakan pengukuran secara elektris yaitu pengukuran arus dan temperature pada transformator
2. Penelitian sebelumnya untuk menentukan sisa umur transformator menggunakan perhitungan rumit. Sedangkan penelitian ini tidak perlu melakukan perhitungan rumit cukup dengan menggunakan simulasi *backpropagation neural network* untuk memprediksi sisa umur transformator.

#### **1.6 Metodologi Penelitian**

Tahapan dalam pengerjaan penelitian ini adalah:

1. Studi literatur

Literatur yang digunakan mengacu pada paper *conference*, jurnal, dan buku teks. Literatur yang dipelajari mengenai *wavelet transform*,

pengukuran arus dan temperatur pada transformator, dan *backpropagation neural network*.

2. Pengumpulan data dan Pengolahan data

Untuk mendapatkan data input nilai energi dan nilai PSD dilakukan pengolahan data sinyal arus menggunakan DWT (*Discrete Wavelet Transform*) sedangkan untuk data sisa umur transformator dilakukan perhitungan menggunakan standart IEC 60076-7.

3. Simulasi dan analisis

Simulasi yang digunakan menggunakan *backpropagation neural network* kemudian hasil dari simulasi dibandingkan dengan data umur transformator sebenarnya.

4. Penulisan buku

Hasil penelitian yang telah dilakukan, dilaporkan dalam bentuk laporan tesis serta dipublikasikan pada seminar internasional. Laporan ditulis berdasarkan kesimpulan dan hasil analisis beserta tahapannya.



## **BAB 2**

### **KAJIAN PUSTAKA**

#### **2.1 Kajian Penelitian Terkait**

Bab ini akan menguraikan kajian terhadap penelitian terkait seperti penelitian yang sudah pernah dilakukan tentang prediksi dan monitoring transformator terhadap sisa umur transformator. Berbagai penelitian yang telah dilakukan untuk memonitor dan mengevaluasi kondisi transformator antara lain memprediksi dan memonitor transformator daya untuk mengetahui kapasitas beban dan sisa umur transformator [1]. Ada 2 metode yang diusulkan dalam paper tersebut. Pertama, high measurement-time resolution and functional algorithm. Metode ini berisi tentang daya tahan dan umur transformator yang tergantung pada panas yang dihasilkan oleh internal transformator. Cara yang dilakukan adalah mengamati perilaku termal transformator dalam kondisi normal hingga kondisi kelebihan beban, lalu dihitung menggunakan rumus hot spot temperatur. Kedua, equations relating to predictions of the leading demand and a realistic life-loss. Metode kedua ini tentang masa pakai transformator daya yang tergantung pada karakteristik kondisi beban dan faktor beban dengan mengelompokkan beban harian dalam 1 tahun. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa sisa masa isolasi tergantung pada kondisi beban pada transformator. Selain faktor isolasi transformator diperlukan variasi beban dan susutnya umur di tahun sebelumnya untuk menentukan umur jangka pendek dan panjang pada transformator daya.

Menentukan sisa umur transformator yang telah dipelajari dengan memperkirakan profil beban harian untuk menentukan sisa umur transformator [2]. Jumlah transformator dan profil beban digunakan sebagai pola database untuk menentukan sisa umur transformator. Perhitungan sisa umur transformator mempertimbangkan kurva beban harian, suhu lingkungan, kemungkinan yang berkaitan dengan beban, nilai temperatur dan umur transformator. Setelah itu, dilakukan klasifikasi menggunakan metode classification through cluster analysis, classification using Euclidean distance, classification using the ANN model LVQ, dan interpolation using ANN model MLP (Multi Layer Perceptron). Hasil dari

penelitian ini dapat mengklasifikasi umur transformator dengan berbagai metode yang digunakan. Selain kondisi beban harian hingga tahunan, efek harmonisa juga merupakan salah satu penyebab susutnya umur transformator. Seperti pada penelitian [3] yang melakukan pengukuran data harmonic dengan beban non linier pada transformator distribusi untuk meneliti tentang rugi-rugi transformator dan sisa umur transformator yang disebabkan oleh harmonisa. Tahapan yang dilakukan antara lain melakukan perhitungan faktor kerugian harmonic, perhitungan sisa umur transformator, penjelasan harmonic data logging. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa semakin banyak beban dan nilai THD arus semakin tinggi mengakibatkan berkurangnya umur transformator karena adanya peningkatan rugi-rugi transformator dan hot spot temperatur. Sama halnya dengan penelitian sebelumnya. Penelitian [4] monitoring kondisi transformator dilakukan dengan mempertimbangkan arus harmonic dengan menggunakan kombinasi transformasi wavelet dan probalistic neural network untuk mengklasifikasi umur transformator. Harmonic current yang diperoleh melalui pengukuran telah di filter menggunakan wavelet transform. Nilai energi dan PSD yang didapat dari proses wavelet transform digunakan sebagai input pada PNN untuk mengklasifikasi kelas umur transformator. Sebelum dijadikan input pada PNN, nilai energi dan PSD perlu normalisasi data agar nilai tersebut sama. Namun, hasil penelitian tersebut nilai akurat sebesar 80% dikarenakan keterbatasan data.

Penelitian lain, membandingkan suhu *top oil* dan *hot spot* temperatur pada kondisi tanpa harmonic dan memiliki harmonic [5]. Penelitian ini menggunakan thermal model dinamik dalam kondisi beban linier dan non linier dengan mempertimbangkan hot spot temperatur, top oil, dan sisa umur transformator. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa temperatur memberikan efek pada berkurangnya umur transformator. Sedangkan pada penelitian [6] melakukan eksperimen dengan input parameternya adalah *dissolved gas analysis factor* (DGAF), *percent water in paper insulation*, *acidity*, *aging acceleration factor*, *dissipation factor*, *breakdown voltage*. Setelah mendapatkan keseluruhan input parameter lalu dilakukan penentuan *Health Index* transformator dengan menggunakan metode ANFIS.

## 2.2 Transformator Distribusi

Transformator distribusi merupakan salah satu komponen utama dalam proses penyaluran tenaga listrik ke konsumen. Transformator distribusi ini digunakan untuk menurunkan tegangan listrik dari 20 kV/380-220 Volt

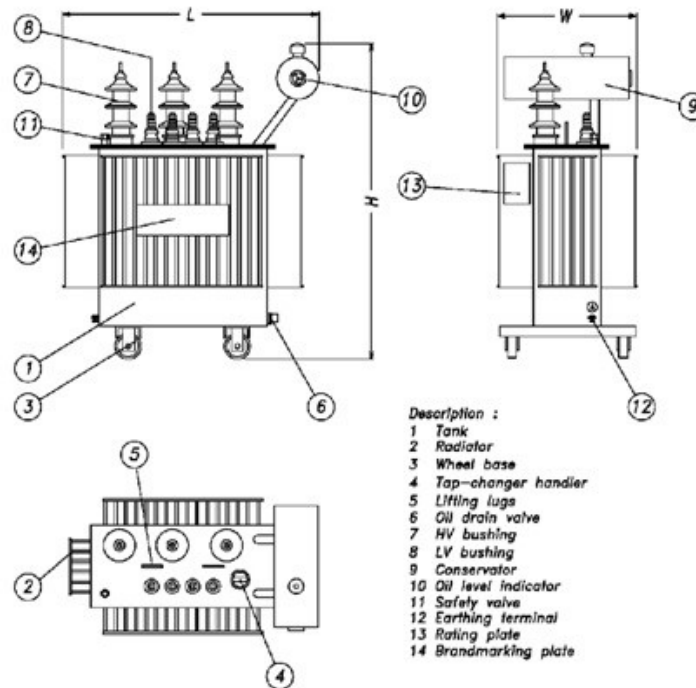
### 2.2.1 Konstruksi Transformator

Transformator distribusi pada gambar 2.1 terdiri atas beberapa bagian antara lain :

1. Inti besi, berfungsi untuk mempermudah alur fluks yang ditimbulkan oleh arus listrik yang melalui kumparan. Inti besi terbuat dari lempengan besi tipis yang berisolasi (untuk mengurangi panas) yang ditimbulkan oleh *eddy current*
2. Belitan transformator, terbuat dari tembaga yang letaknya dibelitkan pada inti dengan bentuk spiral atau konsentrik. Belitan transformator diisolasi terhadap inti besi maupun terhadap kumparan lain dengan isolasi padat. Umumnya pada transformator terdapat belitan primer dan sekunder.
3. Tangki dan konservator, umumnya bagian-bagian dari transformator yang terendam minyak transformator berada atau ditempatkan di dalam tangki. Untuk menampung pemuaian pada minyak transformator, tangki transformator dilengkapi sebuah konservator.
4. Pendingin, pada inti besi dan kumparan-kumparan akan timbul panas akibat rugi-rugi besi dan tembaga. Bila terjadi kenaikan suhu yang berlebihan, maka akan merusak isolasi di dalam transformator. Untuk mengurangi kenaikan suhu yang berlebih, transformator perlu dilengkapi dengan sistem pendingin untuk menyalurkan panas keluar transformator. Beberapa metode pendinginan transformator dan material pendinginnya :
  - a. ONAN, minyak transformator dengan suhu yang tinggi akan bergerak ke posisi atas. Bagian yang kosong dalam tangki transformator akan terisi oleh minyak dengan suhu yang lebih rendah. Minyak panas yang terletak pada posisi atas akan

mneyalurkan suhu panas ke udara. Sirkulasi minyak ini akan bekerja bersamaan dengan pembebanan transformator.

- b. ONAF, proses pendinginan transformator dapat dipercepat dengan memperluas permukaan pendingin. Jika kondisi tersebut belum cukup mendinginkan minyak transformator dapat ditambahkan kipas pendingin untuk mempercepat pendinginan elemen pendingin. Kipas pendingin digunakan untuk mengalirkan udara dengan suhu yang lebih rendah ke elemen pendingin. Metode ONAF lebih baik dalam metode mendinginkan transformator dibandingkan dengan ONAN.
- c. OFAF, cara kerjanya adalah dengan memaksa minyak transformator untuk bersirkulasi di dalam tangki menggunakan pompa dan kipas pendingin untuk mendinginkan elemen pendingin. Keunggulannya adalah proses pendinginan yang lebih maksimal dan ukuran transformator yang lebih kecil dibandingkan dengan metode ONAN dan ONAF. Kekurangannya adalah dibutuhkan proses perawatan yang lebih sering karena penambahan pompa minyak, motor, dan kipas elemen pendingin.
- d. OFWF, proses pendinginan transformator menggunakan elemen air untuk pertukaran suhu yang lebih efektif. Proses kerjanya adalah minyak panas disirkulasikan oleh pompa minyak menuju pipa-pipa pendingin yang didinginkan menggunakan air. Suhu minyak akan diserap oleh air pada elemen pendingin.
- e. ODAF, mensirkulasikan minyak yang diarahkan melewati saluran dalam belitan transformator. Minyak yang dingin memasuki tangki dari elemen pendingin dan mengalir melalui belitan yang ditentukan, pola aliran minyak diatur agar bagian yang memiliki suhu lebih panas bisa cepat dingin.
- f. ODWF, metode pendinginan yang mirip dengan metode ODAF. Perbedaannya adalah minyak dengan suhu tinggi didinginkan menggunakan air yang disirkulasikan.



Gambar 2.1 Bagian konstruksi transformator distribusi

### 2.2.2 Temperatur dan Pembebanan pada Transformator

Ketika transformator beroperasi untuk memenuhi kebutuhan beban pada konsumen dalam kondisi normal, beban puncak, dan keadaan darurat akan menimbulkan panas belitan dan juga isolasi transformator. Jika kondisi pembebanan transformator terus meningkat maka akan terjadi kenaikan suhu yang berlebih diakibatkan adanya perubahan pembebanan yang besar. Kondisi beban lebih ini akan menaikkan suhu belitan *hot spot*, sehingga menyebabkan penurunan isolasi transformator dan akhirnya akan memperpendek umur operasi transformator. Oleh karena itu, terdapat standar untuk mengatur kenaikan suhu berdasarkan isolasi transformator, dengan suhu sekitar (*ambient temperature*) 20°C, ditetapkan sebagai berikut:

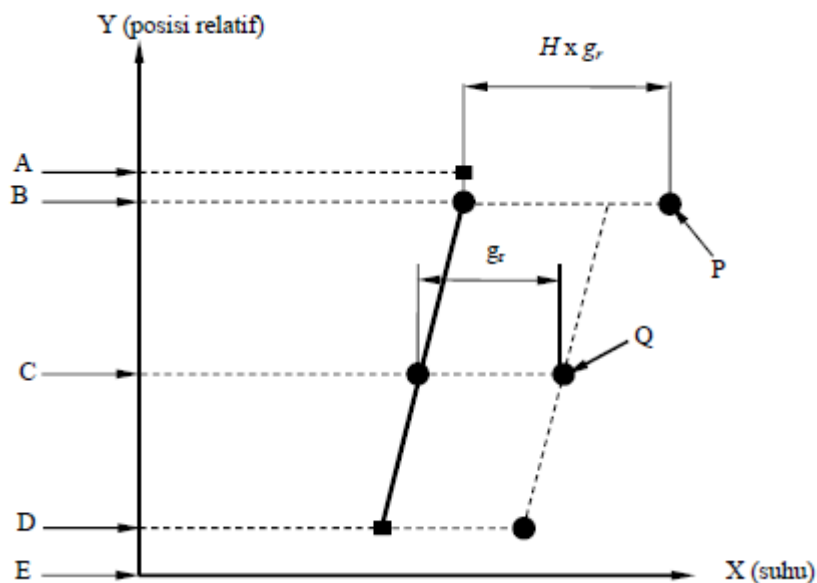
1. Laju kerusakan termal isolasi transformator meningkat terhadap suhu secara eksponensial di daerah suhu belitan *hot spot* sampai dengan 140°C

2. Laju normal kerusakan isolasi terjadi pada suhu titik panas belitan  $98^{\circ}\text{C}$ , dan laju kerusakan pada suhu lain akan dibandingkan dengan laju normal

3. Suhu titik panas belitan tidak boleh melebihi suhu  $140^{\circ}\text{C}$

Sistem isolasi dari sebuah transformator distribusi secara umum menggunakan kertas dan minyak yang berangsur-angsur mengalami penuaan. Meningkatnya beban yang secara tiba-tiba akan mempengaruhi kenaikan suhu *hot spot*, jika terjadi secara terus-menerus menyebabkan dekomposisi dari isolasi transformator. Karena persebaran suhu *hot spot* yang tidak merata, transformator akan mengalami kerusakan dan mempengaruhi umur dari transformator.

Besaran pembebanan yang diberikan terhadap transformator menentukan kenaikan suhu pada transformator tersebut. Untuk menentukan besarnya kenaikan suhu transformator diasumsikan sebuah diagram thermal seperti pada gambar 2.2 [7].



Gambar 2.2 Diagram Thermal

Keterangan:

A : Suhu *top oil* yang berasal dari rata-rata suhu minyak saluran tangki dan suhu minyak pada daerah tangki

B : Suhu minyak campuran di dalam tangki pada belitan bagian atas.

C : Suhu minyak rata-rata dalam tangki

D : Suhu minyak pada dasar belitan

E : Dasar tangki

$g_r$  : Rata-rata belitan pada rata-rata temperature minyak

H : Faktor *hot spot*

P : Suhu *hot spot*

Q : Suhu belitan rata-rata yang ditentukan oleh pengukuran resistansi

Asumsi diagram thermal dijelaskan berikut ini:

1. Suhu minyak di dalam tangki meningkat secara linier dari bawah ke atas, apapun cara pendinginannya
2. Sebagai indikator pertama, kenaikan suhu konduktor tiap posisi atas belitan diasumsikan meningkat secara linier, selaras terhadap kenaikan suhu minyak, dengan perbedaan konstanta  $g_r$  antara dua garis lurus ( $g_r$  adalah perbedaan antara kenaikan temperature belitan rata-rata oleh resistansi dan kenaikan rata-rata temperature minyak di dalam tangki)
3. Kenaikan temperature *hot spot* lebih tinggi dari kenaikan suhu konduktor pada puncak belitan harus menaikkan *stray losses*, untuk perbedaan pada aliran minyak local dan kemungkinan penambahan kertas pada konduktor. Memperhitungkan ketidaklinieran ini terdapat perbedaan suhu antara *hot spot* dan *top oil* di dalam tangki sama dengan  $H \times g_r$  yakni  $\Delta\theta_{hr} = H \times g_r$

### 2.2.3 Perhitungan Sisa Umur Transformator

Temperatur *top oil* tergantung pada kondisi suhu sekitar yang dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\theta_o = \left[ \frac{1+K^2R}{1+R} \right]^x \times \Delta\theta_{or} \quad (2.1)$$

dengan,

K = faktor beban

R = Rasio rugi-rugi

$\Delta\theta_{or}$  = kenaikan temperature *top oil*

Untuk menentukan selisih antara temperature *hot spot* dengan temperature *top oil* dapat menggunakan persamaan dibawah ini:

$$\Delta\theta_{h1} = k_{21} \times K^y \times \Delta\theta_{hr} \quad (2.2)$$

$$\Delta\theta_{h2} = (k_{21} - 1) \times K^y \times \Delta\theta_{hr} \quad (2.3)$$

$$\Delta\theta_h = \Delta\theta_{h1} - \Delta\theta_{h2} \quad (2.4)$$

dengan,

K = Faktor beban

$k_{21}$  = Konstanta

$\Delta\theta_{hr}$  = Gradien *hot spot* ke *top oil* (dalam tangki)

Y = Eksponen belitan

Menggabungkan persamaan (2.1) dan (2.4) maka akan didapatkan persamaan baru untuk menentukan nilai temperature *hot spot*.

$$\theta_h = \theta_o + \Delta\theta_h \quad (2.5)$$

dengan,

$\theta_o$  = Temperatur *top oil*

$\Delta\theta_h$  = Selisih temperature *hot spot* dan *top oil*

Sebagai pedoman untuk perhitungan temperature *hot spot* dan *top oil*, diberikan karakteristik termal dari transformator distribusi dengan jenis pendingin ONAN pada tabel 2.1

Tabel 2.1 Karakteristik termal untuk perhitungan pembebanan transformator distribusi “ONAN”

Uraian	ONAN
Eksposen Minyak (x)	0.8
Eksposen Belitan (y)	1.6
Rasio Rugi-Rugi (R)	5
Factor <i>Hot Spot</i> (H)	1.1
Konstanta Minyak ( $\tau_o$ )	180
Konstanta Belitan ( $\tau_w$ )	4
Temperatur <i>Ambient</i> ( $\theta_a$ )	20
Temperatur <i>Hot Spot</i> ( $\theta_h$ )	98
Gradient <i>Hot Spot to Top Oil</i> (dalam tangki) ( $\Delta\theta_{hr}$ )	23*
Rata-Rata Kenaikan Temperatur Minyak ( $\Delta\theta_{omr}$ )	44
Kenaikan Temperatur <i>Top Oil</i> ( $\Delta\theta_{or}$ )	55*
Kenaikan Temperatur <i>Bottom Oil</i> ( $\Delta\theta_{br}$ )	33
$k_{11}$	1
$k_{21}$	1
$k_{22}$	2

(\*) Data tersebut merupakan asumsi dari contoh kasus yang ada di standart IEC 60076-7



Pendistribusian suhu pada transformator distribusi yang tidak seragam menyebabkan suhu tertinggi akan mengalami penurunan isolasi paling besar sehingga akan berpengaruh terhadap laju penuaan. Laju penuaan relative (V) ditentukan pada persamaan 2.6.

$$v = 2^{(\theta_h - 98)} / 6 \quad (2.6)$$

dengan,  $\theta_h$  = Temperatur *hot spot*

Pengaruh penurunan isolasi belitan tanpa mempertimbangkan pengaruh yang lainnya dapat mengakibatkan pengurangan umur pada transformator, dapat ditentukan pada persamaan 2.7.

$$L = \sum_{n=1}^N V_n \times t_n \quad (2.7)$$

dengan,

$V_n$  = Laju penuaan relative selama interval ke-n

$t_n$  = Interval waktu ke-n

n = Nomor pada tiap interval waktu ke-n

N = Jumlah nomor selama periode interval

Nilai L merupakan nilai sisa umur dalam satuan jam per hari. Untuk mengetahui nilai sisa umur transformator dalam tahun maka perlu dikalikan dengan 365 hari dan umur dasar transformator distribusi adalah 30 tahun [8], ditunjukkan pada persamaan 2.8

$$\text{Sisa umur} = \frac{8760 - (L \times 365)}{8760} \times (30 - \text{tahun operasi}) \quad (2.8)$$

dengan, 8760 adalah konversi satuan jam per tahun

### 2.3 Transformasi Wavelet

Transformasi wavelet adalah metode transformasi yang mentransformasikan signal dalam domain waktu menjadi signal dalam domain waktu dan frekuensi. Metode transformasi ini mengadopsi metode *Fourier Transform* dan *Short Time Fourier Transform*. Secara umum transformasi wavelet terdiri dari 2, yakni *Continue Wavelet Transform* dan *Discrete Wavelet Transform*[9].

*Continue Wavelet Transform* (CWT) adalah menghitung konvolusi sebuah sinyal dengan sebuah jendela modulasi pada setiap waktu dengan setiap skala yang

diinginkan. Jendela modulasi yang mempunyai skala fleksibel inilah yang biasa disebut induk wavelet atau fungsi dasar wavelet.

*Discrete Wavelet Transform* (DWT) adalah bentuk diskrit yang lebih sederhana. Prinsip dasar pada DWT adalah dengan cara mendapatkan representasi waktu dan skala dari sebuah sinyal menggunakan teknik pemfilteran digital dan operasi sampling. Persamaan untuk DWT dapat dirumuskan seperti dibawah ini:

$$x[n] = \sum_k a_{j_0,k} \phi_{j_0,k}[n] + \sum_{j=j_0}^{j-1} \sum_k d_{j,k} \phi_{j,k}[n] \quad (2.9)$$

dengan,

$\phi[n]$  = Fungsi skala

$\phi_j[n]$  = *Wavelet* induk

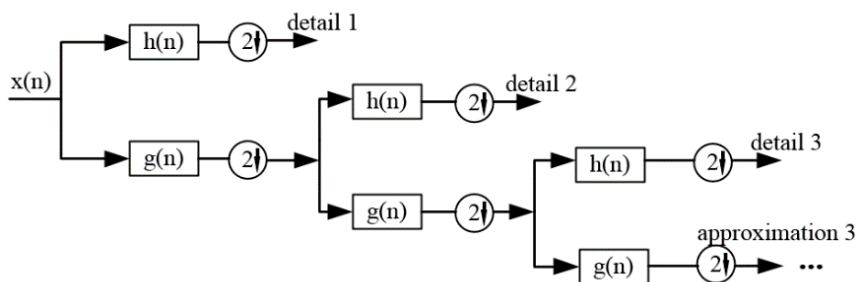
$\phi_{j_0,k}[n]$  =  $2^{j_0/2} \phi(2^{j_0}n - k)$  = Fungsi skala dari  $s = 2^{j_0}$

$\phi_{j,k}[n]$  =  $2^{j/2} \phi(2^j n - k)$  = *Wavelet* induk skala dari  $s = 2^j$

$d_{j,k}$  = koefisien detail skala dari  $s = 2^j$  dan  $N = 2^j$

$N$  = nomor sampel dari  $x[n]$

Secara detail, cara kerja DWT adalah mengubah sinyal masukan menjadi dua klasifikasi sinyal yaitu frekuensi tinggi (*coefficient detail*) dengan resolusi waktu yang tinggi dan frekuensi rendah (*coefficient aproxiamation*)[10] dengan resolusi waktu yang rendah. Proses dekomposisi ini dilakukan secara berulang-ulang sampai menghasilkan sinyal yang diinginkan. Sinyal yang rusak akan berada pada layer yang paling bawah. Teori ini disebut dengan pohon dekomposisi wavelet (*wavelet decomposition tree*) ditunjukkan *wavelet decomposition tree* pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Tiga level *wavelet decomposition tree*

Pada gambar diatas, awalnya sinyal dilewatkan di *high pass filter* dan *low pass filter*. Setengah dari masing-masing hasilnya diambil untuk jadi sampel melalui operasi *sub-sampling*, proses ini disebut sebagai proses dekomposisi satu tingkat. Keluaran dari filter *low pass* digunakan sebagai masukan di proses dekomposisi tingkat berikutnya. Proses ini diulang sampai tingkat proses dekomposisi yang diinginkan. Koefisien *wavelet* yang didapatkan nanti berupa informasi sinyal hasil transformasi yang telah dikompresi.

### 2.3.1 Ekstraksi Fitur

Setelah pemisahan sinyal berdasarkan band frekuensi, proses selanjutnya adalah ekstraksi fitur. Ekstraksi fitur yang dipilih adalah sebuah energi dari sebuah sinyal yang diperoleh dengan mengintegrasikan *power spectral density* (PSD). Sedangkan pada transformasi *wavelet*, PSD di dapatkan dari hasil bagi antara energi dengan frekuensi masing-masing level *high pass filter*. Energi yang dihasilkan dari transformasi ini merupakan penjumlahan kuadrat nilai-nilai data pada setiap level frekuensi sinyal *high pass filter* [12]. Sehingga dapat dipresentasikan secara matematika sebagai berikut ini:

$$Energi = \sum_{d_0}^{d_n} f (HPF)_n^2 \quad (2.10)$$

$$PSD = \frac{Energi}{f (HPF)_n} \quad (2.11)$$

dengan,

$d_0$  = range akhir dari jumlah data

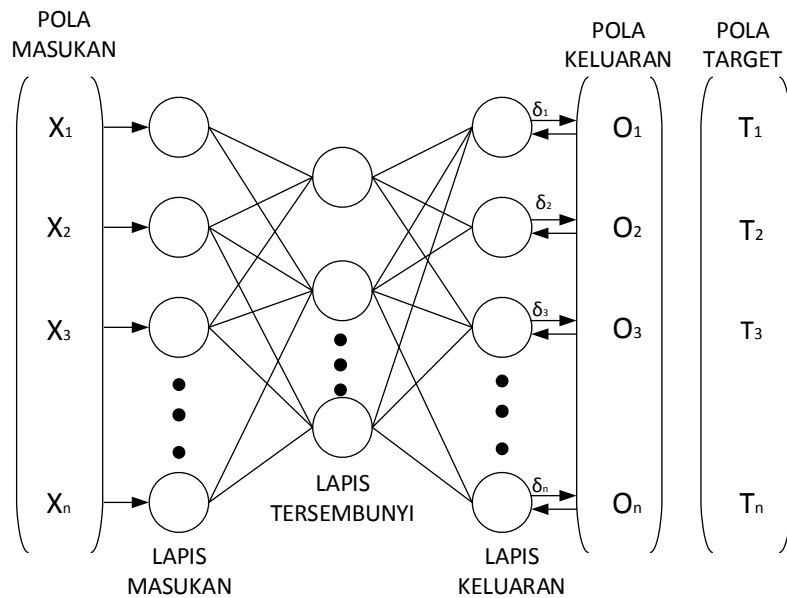
$d_n$  = range awal dari jumlah data

$f (HPF)_n$  = frekuensi *high pass filter* atau sinyal detail

$n$  = level sinyal detail

### 2.3.2 Backpropagation Neural Network

Backpropagation neural network termasuk dalam metode pelatihan terbimbing (supervised). Fungsinya untuk mengurangi error dengan cara menyesuaikan bobot berdasarkan perbedaan keluaran dan target yang diinginkan. Arsitektur jaringan backpropagation neural network ditunjukkan pada gambar 2.4



Gambar 2.4 Arsitektur jaringan backpropagation[13]

Algoritma backpropagation neural network terdiri dari dua tahapan, feedforward and backpropagation. Backpropagation neural network terdiri dari lapisan masukan, lapisan tersembunyi, lapisan keluaran. Layer pada backpropagation neural network ini merupakan perkembangan dari jaring layer tunggal yang memiliki dua layer yaitu lapisan masukan dan lapisan keluaran. Lapisan keluaran pada backpropagation neural network memiliki nilai error yang lebih kecil dibandingkan nilai error pada jaring layer tunggal, karena lapisan tersembunyi berfungsi untuk memperbaiki bobot. Proses backpropagation neural network yaitu jaringan lapisan masukan diteruskan ke lapisan tersembunyi. Setiap lapisan tersembunyi dan lapisan keluaran dikalikan dengan berat dan dijumlahkan dengan bias. Jika ada pola yang berbeda dengan target, maka nilai setiap bobot pada setiap unit lapisan akan diperbaiki dalam arah mundur.

### 2.3.2.1 Algoritma Backpropagation Neural Network

Backpropagation terdiri dari lapisan masukan, lapisan tersembunyi, lapisan keluaran. Algoritma pelatihan backpropagation terdiri dari dua tahapan, feed forward dan backpropagation. Algoritma untuk pelatihan adalah sebagai berikut :

1. Langkah 0  
Pemberian inisialisasi penimbang (diberi nilai kecil secara acak)
2. Langkah 1  
Mengulangi langkah 2 hingga langkah 9 sampai kondisi akhir iterasi dipenuhi
3. Langkah 2  
Melakukan langkah 3 hingga langkah 8 untuk masing-masing pasangan data pelatihan (*training data*)
4. Langkah 3  
Masing-masing unit masukan ( $X_i, i = 1, \dots, n$ ) menerima sinyal masukan  $X_i$  dan sinyal tersebut disebarkan ke unit-unit bagian berikutnya (unit-unit lapisan tersembunyi)
5. Langkah 4  
Masing-masing unit dilapisan tersembunyi dikalikan dengan penimbang dan dijumlahkan serta ditambah dengan biasnya:
 
$$Z_{in_j} = V_{oj} + \sum_{i=1}^n X_i V_{ij} \quad (2.12)$$
 Kemudian dihitung sesuai dengan fungsi pengaktif yang digunakan:
 
$$K_j = f(Z_{in_j}) \exp^{-Z_{in_j}} \quad (2.13)$$
6. Langkah 5  
Masing-masing unit keluaran ( $L_k, k = 1, 2, 3 \dots m$ ) dikalikan dengan penimbang dan dijumlahkan serta ditambah dengan biasnya:
 
$$Y_{in_k} = W_{ok} + \sum_{j=1}^p Z_j W_{jk} \quad (2.14)$$
 Kemudian dihitung kembali sesuai dengan fungsi pengaktif:
 
$$L_k = f(Y_{in_k}) \quad (2.15)$$
7. Langkah 6  
Masing-masing unit keluaran ( $L_k, k = 1, 2, 3 \dots m$ ) menerima pola target sesuai dengan pola masukan saat pelatihan/training dan dihitung galatnya:

$$\partial_k = (t_k - L_k) f^1(Y_{in_k}) \quad (2.16)$$

Karena  $f^1(Y_{in_k}) = L_k$  menggunakan fungsi sigmoid, maka:

$$f^1(Y_{in_k}) = f(Y_{in_k})(1 - (Y_{in_k})) = L_k(1 - L_k) \quad (2.17)$$

Menghitung perbaikan penimbang (kemudian untuk memperbaiki  $W_{jk}$ )

$$\Delta W_{jk} = \alpha \cdot \partial_k \cdot Z_j \quad (2.18)$$

Menghitung perbaikan koreksi:

$$\Delta W_{0k} = \alpha \cdot \partial_k \quad (2.19)$$

Dan menggunakan nilai delta  $\partial_k$  pada semua unit lapisan sebelumnya.

#### 8. Langkah 7

Masing-masing penimbang yang menghubungkan unit-unit lapisan keluaran dengan unit-unit lapisan tersembunyi ( $K_j, j = 1, \dots, p$ ) dikalikan delta ( $\partial_k$ ) dan dijumlahkan sebagai masukan ke unit-unit lapisan berikutnya

$$M_{in_j} = \sum_{k=1}^m \partial_k W_{jk} \quad (2.20)$$

Selanjutnya dikalikan dengan turunan dari fungsi pengaktifnya untuk menghitung galat.

$$N_j = M_{in_j} f^1(Y_{in_j}) \quad (2.21)$$

Langkah berikutnya menghitung perbaikan penimbang (digunakan untuk memperbaiki  $V_{ij}$ )

$$\Delta V_{ij} = \alpha \cdot N_j \cdot X_i \quad (2.22)$$

Kemudian menghitung perbaikan bias (untuk memperbaiki  $V_{0j}$ )

$$\Delta V_{0j} = \alpha \cdot N_j \quad (2.23)$$

#### 9. Langkah 8

Masing-masing unit keluaran ( $L_k, k = 1, \dots, m$ ) diperbaiki bias dan penimbangannya ( $j = 0, \dots, p$ )

$$W_{jk}(\text{baru}) = W_{jk}(\text{lama}) + \Delta W_{jk} \quad (2.24)$$

Masing-masing unit tersembunyi ( $K_j$ ,  $k = 1, \dots, p$ ) diperbaiki bias dan penimbangnya ( $j = 0, \dots, n$ )

$$V_{jk}(\text{baru}) = V_{jk}(\text{lama}) + \Delta V_{jk} \quad (2.25)$$

10. Langkah 9

Uji kondisi pemberhentian (akhir iterasi)

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

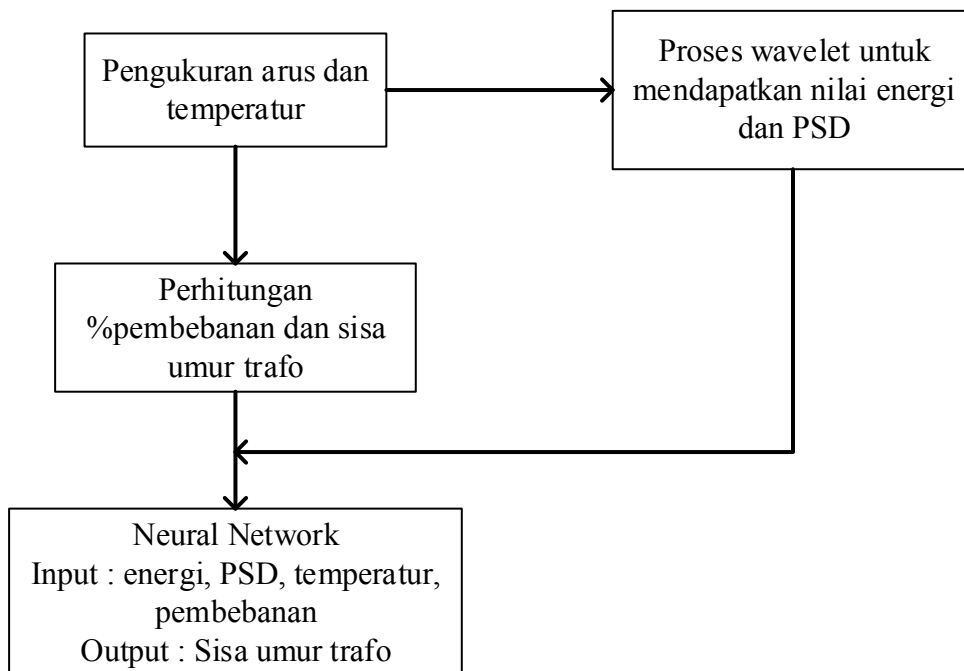


## BAB 3

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Desain Penelitian

Pada tesis ini dilakukan proses memprediksi sisa umur transformator menggunakan metode neuro wavelet. Secara umum, tahapan dari penelitian yang dilakukan adalah seperti pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Blok diagram tahapan penelitian

Detail tahapan penelitian adalah sebagai berikut:

1. Melakukan pengukuran arus dan temperatur pada transformator
2. Menghitung data pembebanan dan sisa umur transformator
3. Melakukan transformasi sinyal arus dengan menggunakan transformasi wavelet (*daubechies*)
4. Menghitung nilai PSD dan energi
5. Membangun arsitektur neural network (*backpropagation*)
6. Menyiapkan data input : temperatur dan pembebanan pada langkah 1 dan 2 serta nilai PSD dan energi

7. Data target adalah sisa umur transformator yang terdapat pada langkah 2
8. Normalisasi
9. Training dan testing menggunakan neural network (backpropagation)
10. Analisis hasil target dan output.

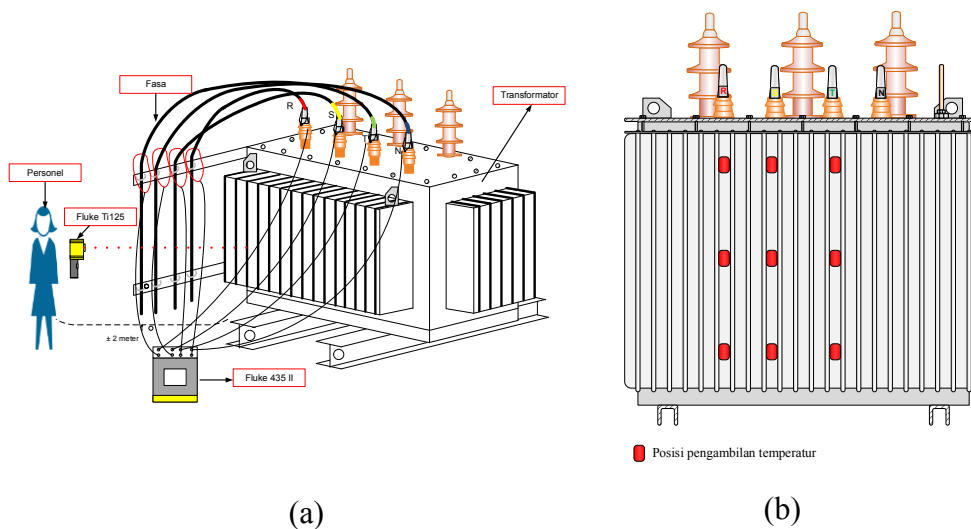
Penjelasan tahapan penelitian akan dijabarkan pada subbab berikutnya.

### **3.2 Pengukuran Arus dan Temperatur Pada Transformator**

Sebelum melangkah ke proses penelitian, hal pertama yang dilakukan adalah penentuan objek yang akan diukur. Objek yang dimaksud disini adalah transformator distribusi. Pada penelitian ini dilakukan pengambilan data sinyal arus sekunder dan temperatur dari beberapa transformator distribusi. Pengukuran data arus transformator pada penelitian ini dilakukan di daerah Surabaya Utara. Transformator distribusi yang akan diukur adalah transformator distribusi dengan level tegangan 20 KV/220-380 V. Transformator distribusi yang dipilih memiliki range sisa umur 14 tahun, 19 tahun, 21 tahun, 22 tahun, 23 tahun, 24 tahun, 25 tahun, 26 tahun

Pengukuran data arus transformator menggunakan alat ukur *power quality analyser* FLUKE 435 Series II. Pengukuran dilakukan dengan cara memasang probe yang terdapat di alat ukur tersebut ke masing-masing saluran fasa yakni fasa R, S, T, N dan memasang clamp arus ke masing-masing fasa R, S, T, N seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.2 (a). Pengukuran dan pengambilan data arus transformator dilakukan selama 24 jam.

Pengukuran temperatur transformator menggunakan kamera thermal inframerah FLUKE Ti125. Pengukuran temperatur dilakukan dengan cara mengarahkan kamera thermal ke arah body transformator distribusi [14], sketsa pengukuran temperature transformator dapat dilihat pada gambar 3.2 (b). Pengambilan data temperatur dilakukan dengan cara membidik kursor pada tangki transformator. Pada saat pengambilan gambar transformator terlihat temperatur pada titik yang ditunjuk oleh kursor pada gambar tersebut yang dinamakan temperatur spot. Temperatur spot ini berguna untuk mengetahui temperatur pada titik yang dituju.



Gambar 3.2 (a) Sketsa pengukuran arus transformator (b) Sketsa pengukuran temperatur pada transformator

### 3.3 Menghitung Data Pembebanan dan Sisa Umur Transformator

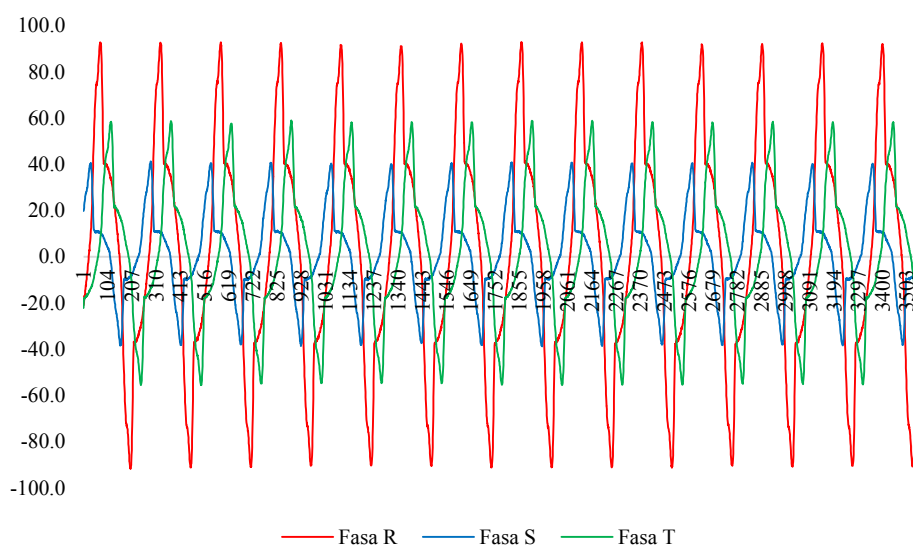
Parameter yang dibutuhkan dalam menentukan sisa umur transformator antara lain adalah data pembebanan. Data pembebanan merupakan presentase perbandingan arus yang terukur pada masing-masing fasa dengan arus nominal. Pada penelitian ini, telah dilakukan pengukuran pembebanan dalam sehari maka diasumsikan pola beban harian adalah sama sepanjang tahun.

Tahapan untuk menghitung sisa umur transformator adalah menghitung temperature *top oil* dan selisih antara temperature *hot spot* dengan *top oil* yang dapat dilihat pada persamaan (2.1) sampai (2.4). (2.5) untuk persamaan (2.1) dan (2.4) dapat digabungkan untuk mendapatkan persamaan menghitung temperature *hot spot* dapat dilihat pada persamaan (2.5). Penyebaran suhu pada transformator distribusi yang tidak seragam menyebabkan suhu yang tertinggi akan mengalami penurunan isolasi paling besar sehingga berpengaruh terhadap laju penuaan (2.6). Pengaruh penurunan isolasi belitan dapat mengakibatkan pengurangan umur transformator, sehingga untuk menentukan sisa umur transformator dapat menggunakan persamaan (2.7). Sisa umur transformator pada persamaan (2.7) merupakan nilai sisa umur dalam satu jam per hari. Untuk mendapatkan sisa umur dalam satuan tahun, maka nilai tersebut dikalikan dengan 365 hari. Dalam perhitungan ini, berdasarkan standart IEEE digunakan umur dasar 180.000 jam atau

lebih. Sedangkan berdasarkan standart IEC 60076-7 digunakan umur dasar transformator distribusi 30 tahun [8]. Perhitungan menggunakan persamaan (2.8).

### 3.4 Pengolahan Data Sampel Arus

Data sampel arus yang didapat dari hasil pengukuran arus transformator berupa sinyal arus. Terlihat pada gambar 3.3 bahwa sinyal arus tersebut telah terdistorsi oleh harmonic yang muncul pada system tersebut .



Gambar 3.3 Sinyal Arus Transformator TR-11

Sampel arus yang telah didapat selanjutnya akan diolah menggunakan *daubechies wavelet transform* dengan menggunakan software MATLAB. Metode ini digunakan untuk memecah sinyal arus menjadi beberapa kelompok frekuensi. Penggunaan metode *daubechies* dipilih berdasarkan hasil penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa *daubechies* memberikan hasil MSE yang lebih baik. [15].

Sampel arus yang telah disampling dipecah menjadi beberapa dekomposisi sinyal. Setiap dekomposisi memiliki dua bagian yaitu *approximation coefficient* dan *detail coefficient*. Pada dekomposisi pertama sinyal dibagi menjadi 2, yaitu *approximation coefficient* dan *detail coefficient*. Pada level dekomposisi kedua *approximation coefficient* pada level pertama dipakai untuk menghasilkan *approximation coefficient* dan *detail coefficient* kedua. Proses dekomposisi wavelet

dapat dilihat pada gambar 2.2. Hasil dari dekomposisi sinyal menggunakan DWT didapatkan rentang frekuensi setiap gelombang seperti terlihat pada tabel 3.3.

Tabel 3.1 Rentang frekuensi gelombang hasil dari dekomposisi sinyal

Level Dekomposisi	Frekuensi Band (Hz)
Level 1	6400-3200
Level 2	3200-1600
Level 3	1600-800
Level 4	800-400
Level 5	400-200
Level 6	200-100
Level 7	100-50
Level 8	50-25
Level 9	25-12.5

Selain itu, pemilihan *daubechies* tersebut dikarenakan karakteristik dari skala yang digunakan serupa dengan sinyal arus transformator.

### 3.5 Energi dan *Power Spectral Density* (PSD)

Setelah pemisahan sinyal berdasarkan band frekuensi, proses selanjutnya adalah ekstraksi fitur. Ekstraksi fitur yang dipilih adalah nilai energi dan PSD. Nilai yang diambil adalah nilai *detail coefficient (high frequency)*. Persamaan dari nilai energi dan PSD dapat dilihat pada persamaan (2.10) dan (2.11).

### 3.6 Normalisasi dan Denormalisasi

Hasil dari nilai energi dan PSD yang telah dilakukan sebelumnya, selanjutnya data input dan output harus dinormalisasi terlebih dahulu. Normalisasi adalah penskalaan terhadap nilai-nilai yang masuk ke dalam suatu range dari fungsi aktivasi yang digunakan dalam jaringan. Pada penelitian ini algoritma backpropagation menggunakan fungsi aktivasi sigmoid biner, yang berarti data harus ditransformasikan terlebih dahulu karena range keluaran fungsi sigmoid adalah  $[0,1]$ . Data tersebut bisa ditransformasikan juga ke interval  $[0,1]$ . Tujuan dari normalisasi adalah:

1. Menghilangkan kerangkapan data
2. Mengurangi kompleksitas
3. Mempermudah pemodifikasian data

Untuk menormalisasi data dapat menggunakan rumus pada persamaan (3.1) :

$$Normalisasi = \frac{X - Min(x)}{Max(x) - Min(x)} \quad (3.1)$$

dengan:

$$\begin{aligned} X &= \text{data awal} \\ Min(x) &= \text{nilai minimal data awal} \\ Max(x) &= \text{nilai maksimal data awal} \end{aligned}$$

Data yang sebelumnya sudah dinormalisasi juga perlu dikembalikan lagi datanya untuk mengetahui data yang sebenarnya dengan cara denormalisasi. Denormalisasi data dapat menggunakan rumus pada persamaan (3.2):

$$X = x'(\max(x) - \min(x)) + \min(x) \quad (3.2)$$

dengan:

$$\begin{aligned} x' &= \text{data keluaran} \\ Min(x) &= \text{nilai minimal data awal} \\ Max(x) &= \text{nilai maksimal data awal} \end{aligned}$$

### 3.7 Prediksi Sisa Umur Transformator

Proses untuk memprediksi sisa umur transformator dilakukan dengan menggunakan metode backpropagation. Cara yang pertama ini jaringan backpropagation menginisialisasi bobot secara random, bobot diinisialisasi secara acak tanpa menggunakan faktor skala. Backpropagation neural network untuk memprediksi sisa umur transformator terdiri dari 2 lapisan yaitu 1 lapisan tersembunyi, dan 1 lapisan keluaran. Data yang dibutuhkan untuk mensimulasikan backpropagation adalah data input berupa data kerapatan energi dan PSD. Data kerapatan energi dan PSD dipilih berdasarkan hasil penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa data tersebut telah digunakan untuk memprediksi sisa umur transformator [5].

Arsitektur dari backpropagation dapat dilihat pada gambar 3.4. Hasil performansi dari metode yang digunakan maka perlu dilakukan perhitungan nilai MSE (*mean square error*) persamaan (3.3) dan tingkat akurasi (%) persamaan (3.4)

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Na_i - Np_i)^2 \quad (3.3)$$

$$Tingkat Akurasi (100\%) = 100\% - \left( \frac{Na_i - Np_i}{Na_i} * 100 \right) \quad (3.4)$$

dengan,

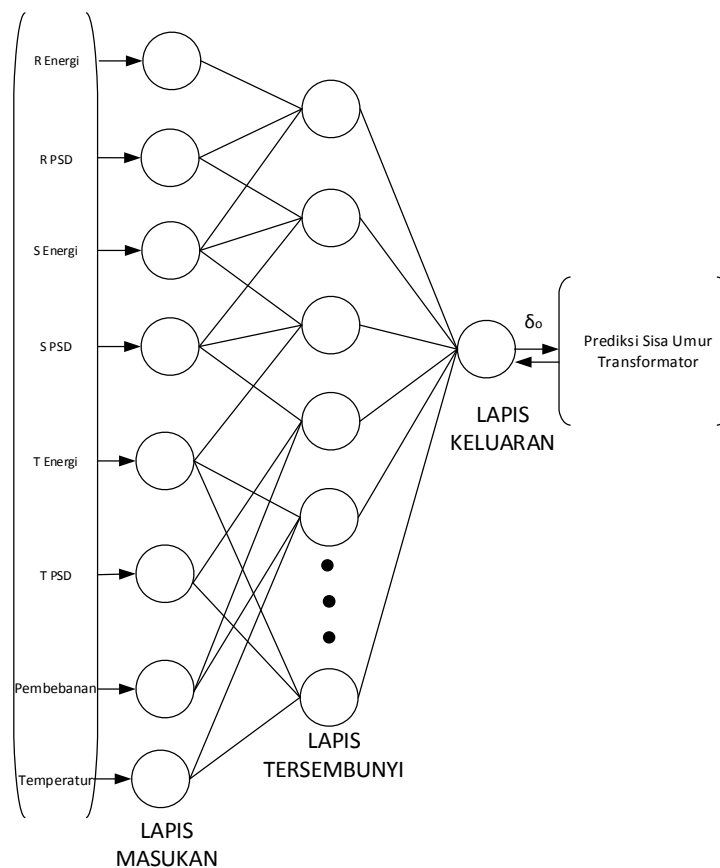
$N$  = Jumlah data

$Na_i$  = Nilai Aktual

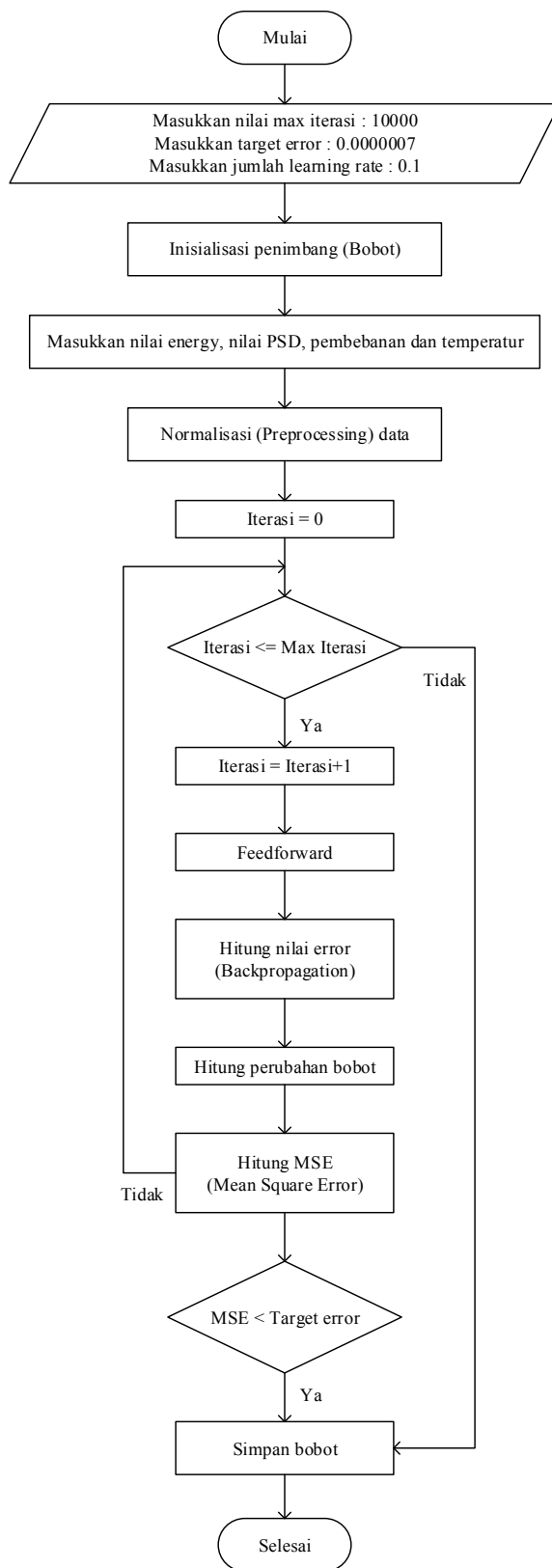
$Np_i$  = Nilai prediksi

Sedangkan diagram alir backpropagation neural network yang digunakan untuk prediksi sisa umur transformator dapat dilihat pada gambar 3.5. Parameter yang digunakan pada backpropagation neural network terdiri dari:

- a. Jumlah iterasi : 10000
- b. Jumlah error minimum :  $10^{-7}$
- c. Nilai learning rate : 0.4



Gambar 3.4 Arsitektur Backpropagation



Gambar 3.5 Diagram Alir backpropagation neural network untuk prediksi sisa umur transformator.



## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dibahas tentang hasil pengukuran, perhitungan pembebanan dan sisa umur transformator yang akan dijadikan sebagai data target pada *neural network*. Data yang digunakan adalah data hasil pengukuran arus dan temperature transformator selama 24 jam. Jumlah sample pengukuran adalah 24 transformator dengan variasi tahun operasi dan kapasitasnya.

#### 4.1 Hasil Pengukuran Arus dan Temperatur

Transformator distribusi yang diukur adalah transformator distribusi dengan kapasitas bervariasi dengan level tegangan 20 KV/220-380 V dapat dilihat pada tabel 4.1

Tabel 4.1 Kapasitas dan tahun operasi transformator distribusi

No	Label Transformer	Kapasitas (KVA)	Tahun Operasi (Tahun)
1	TR-1	160	6
2	TR-2	100	4
3	TR-3	100	4
4	TR-4	400	6
5	TR-5	100	5
6	TR-6	100	5
7	TR-7	315	7
8	TR-8	100	6
9	TR-9	200	5
10	TR-10	200	5
11	TR-11	200	4
12	TR-12	100	5
13	TR-13	315	7
14	TR-14	315	7
15	TR-15	160	6
16	TR-16	250	6
17	TR-17	100	4
18	TR-18	200	5
19	TR-19	315	7
20	TR-20	200	5
21	TR-21	200	5
22	TR-22	250	7
23	TR-23	250	7
24	TR-24	500	7

Transformator distribusi yang dipilih memiliki range sisa umur 14 tahun, 19 tahun, 21 tahun, 22 tahun, 23 tahun, 24 tahun, 25 tahun, 26 tahun. Pengukuran

data arus transformator menggunakan alat ukur *power quality analyser* FLUKE 435 Series II sedangkan pengukuran data temperature menggunakan kamera thermal inframerah FLUKE Ti125. Penelitian ini menggunakan 24 transformator, berikut contoh hasil sampel pengukuran arus dan temperature TR-1 dan TR-2 dapat dilihat pada tabel 4.2 dan tabel 4.3. Hasil pengukuran dari transformator yang lainnya dapat dilihat pada lampiran 1.

Tabel 4.2 Data hasil pengukuran arus dan temperatur TR-1 selama 24 jam

<b>Waktu</b>	<b>R (A)</b>	<b>S (A)</b>	<b>T (A)</b>	<b>Suhu (°C)</b>
01.00	34.3	46.8	58.3	44.85
02.00	38.4	52.5	65.3	46.41
03.00	38.4	52.5	65.3	46.41
04.00	38.4	52.5	65.3	46.41
05.00	32.3	44.2	55.0	41.75
06.00	21.9	30.0	37.3	41.75
07.00	11.5	15.8	19.7	37.08
08.00	13.7	18.7	23.3	37.08
09.00	13.7	18.7	23.3	37.08
10.00	13.7	18.7	23.3	37.08
11.00	13.7	18.7	23.3	37.08
12.00	13.7	18.7	23.3	37.08
13.00	13.7	18.7	23.3	37.08
14.00	13.7	18.7	23.3	36.83
15.00	13.7	18.7	23.3	38.12
16.00	19.2	26.2	32.7	38.38
17.00	19.2	26.2	32.7	39.16
18.00	53.5	73.1	91.0	52.11
19.00	56.9	77.8	96.9	53.14
20.00	56.2	76.8	95.7	53.4
21.00	56.2	76.8	95.7	53.14
22.00	53.5	73.1	91.0	52.11
23.00	50.0	68.4	85.2	50.81
24.00	34.3	46.8	58.3	44.85

Tabel 4.3 Data hasil pengukuran arus dan temperatur TR-2 selama 24 jam

<b>Waktu</b>	<b>R (A)</b>	<b>S (A)</b>	<b>T (A)</b>	<b>Suhu (°C)</b>
01.00	3.3	1.2	1.8	33.7
02.00	3.3	1.2	1.8	33.7
03.00	3.3	1.2	1.8	33.7
04.00	3.3	1.2	1.8	33.7
05.00	3.3	1.2	1.8	33.7
06.00	3.3	1.2	1.8	33.7
07.00	3.3	1.2	1.8	33.7
08.00	8.2	2.9	4.5	35.3
09.00	8.2	2.9	4.5	35.3

Lanjutan Tabel 4.3 Data hasil pengukuran arus dan temperatur TR-2 selama 24 jam

Waktu	R (A)	S (A)	T (A)	Suhu (°C)
10.00	9.0	3.2	5.1	35.7
11.00	9.0	3.2	5.1	35.7
12.00	9.0	3.2	5.1	35.7
13.00	9.0	3.2	5.1	35.7
14.00	11.9	4.2	6.6	36.6
15.00	12.7	4.5	7.1	36.9
16.00	12.7	4.5	7.1	36.9
17.00	13.4	4.7	7.5	37.1
18.00	13.4	4.7	7.5	37.1
19.00	13.5	4.8	7.5	37.2
20.00	4.6	1.6	2.5	34.1
21.00	4.6	1.6	2.5	34.1
22.00	3.3	1.2	1.8	33.7
23.00	3.3	1.2	1.8	33.7
24.00	3.3	1.2	1.8	33.7

#### 4.2 Hasil Menghitung Data Pembebanan dan Sisa Umur Transformator

Parameter yang diperlukan dalam menentukan sisa umur transformator salah satunya adalah data pembebanan. Data pembebanan yang sudah didapatkan dapat dilihat pada tabel 4.4. Hasil data pembebanan dari transformator yang lainnya dapat dilihat pada lampiran 2.

Tabel 4.4 Data pembebanan transformator distribusi selama 24 jam

Waktu	Label Transformator								
	TR-1	TR-2	TR-3	TR-4	TR-5	TR-6	TR-7	TR-8	TR-9
01.00	0.483	0.027	0.043	0.754	0.051	0.169	0.708	0.318	0.146
02.00	0.541	0.027	0.043	0.754	0.051	0.169	0.708	0.356	0.146
03.00	0.541	0.027	0.043	0.754	0.051	0.169	0.708	0.356	0.146
04.00	0.541	0.027	0.043	0.754	0.051	0.169	0.708	0.356	0.146
05.00	0.456	0.027	0.043	0.754	0.051	0.169	0.708	0.242	0.146
06.00	0.309	0.027	0.043	0.754	0.051	0.084	0.708	0.242	0.146
07.00	0.163	0.027	0.043	0.754	0.051	0.062	0.372	0.127	0.146
08.00	0.193	0.068	0.060	0.336	0.129	0.062	0.316	0.127	0.364
09.00	0.193	0.068	0.060	0.336	0.129	0.062	0.316	0.127	0.364
10.00	0.193	0.076	0.149	0.336	0.144	0.062	0.316	0.127	0.408
11.00	0.193	0.076	0.149	0.336	0.144	0.062	0.316	0.127	0.408
12.00	0.193	0.076	0.149	0.336	0.144	0.062	0.316	0.127	0.408
13.00	0.193	0.076	0.149	0.336	0.144	0.062	0.316	0.127	0.408
14.00	0.193	0.099	0.149	0.336	0.188	0.062	0.316	0.121	0.532
15.00	0.193	0.105	0.156	1.012	0.188	0.062	0.316	0.153	0.568
16.00	0.271	0.105	0.167	1.012	0.188	0.062	0.442	0.159	0.568
17.00	0.271	0.111	0.167	1.012	0.188	0.087	0.442	0.178	0.597
18.00	0.754	0.111	0.120	1.012	0.188	0.244	1.231	0.497	0.597
19.00	0.802	0.112	0.120	1.012	0.188	0.244	1.295	0.522	0.604
20.00	0.792	0.038	0.120	1.012	0.092	0.256	1.310	0.528	0.204

Lanjutan Tabel 4.4 Data pembebanan transformator distribusi selama 24 jam

Waktu	Label Transformator								
	TR-1	TR-2	TR-3	TR-4	TR-5	TR-6	TR-7	TR-8	TR-9
21.00	0.792	0.038	0.120	1.012	0.092	0.259	1.295	0.522	0.204
22.00	0.754	0.027	0.043	1.012	0.092	0.256	1.153	0.497	0.146
23.00	0.705	0.027	0.043	1.012	0.071	0.228	1.231	0.465	0.146
24.00	0.483	0.027	0.043	1.012	0.051	0.172	0.789	0.318	0.146

Tahapan yang akan dilakukan untuk menghitung sisa umur transformator adalah sebagai berikut :

1. Menghitung temperature *top oil* ( $\theta_o$ ) menggunakan persamaan (2.1)
2. Menghitung selisih antara temperature *hot spot* dengan *top oil* ( $\Delta\theta_h$ ) yang dapat dilihat pada persamaan (2.1) sampai (2.4)
3. Menghitung temperature *hot spot* ( $\theta_h$ ) dapat dilihat pada persamaan (2.5).
4. Menghitung laju penuaan ( $V$ ) dapat dilihat pada persamaan (2.6).
5. Menghitung sisa umur transformator ( $L$ ) dalam satuan jam perhari dapat menggunakan persamaan (2.7).
6. Menghitung sisa umur transformator dalam satuan tahun dapat dilihat pada persamaan (2.8)

Hasil perhitungan sisa umur transformator disajikan dalam tabel 4.5 dan tabel 4.6. Hasil perhitungan sisa umur transformator yang lainnya dapat dilihat pada lampiran 3.

Perhitungan sisa umur yang dilakukan menunjukkan bahwa nilai pembebanan pada transformator semakin besar maka temperatur *hot spot* akan meningkat. Temperature *hot spot* yang tinggi akan menyebabkan susut umur transformator.

Tabel 4.5 Perhitungan sisa umur transformator TR-1

Waktu	Pembebanan	$\theta_o$	$\Delta\theta_h$	$\theta_h$	$V$	$L$	Sisa Umur (tahun)
01.00	0.48	24.35113	7.18	31.53	0.0005		
02.00	0.54	26.9853	8.61	35.59	0.00074	0.0456	23.95
03.00	0.54	26.9853	8.61	35.59	0.00074		
04.00	0.54	26.9853	8.61	35.59	0.00074		

Lanjutan Tabel 4.6 Perhitungan sisa umur transformator TR-1

Waktu	Pembebanan	$\theta_o$	$\Delta\theta_h$	$\theta_h$	$V$	$L$	Sisa Umur (tahun)
05.00	0.46	23.18531	6.54	29.72	0.000375		
06.00	0.31	17.92982	3.52	21.45	0.000144		
07.00	0.16	14.48914	1.26	15.75	7.47E-05		
08.00	0.19	15.04241	1.66	16.70	8.34E-05		
09.00	0.19	15.04241	1.66	16.70	8.34E-05		
10.00	0.19	15.04241	1.66	16.70	8.34E-05		
11.00	0.19	15.04241	1.66	16.70	8.34E-05		
12.00	0.19	15.04241	1.66	16.70	8.34E-05		
13.00	0.19	15.04241	1.66	16.70	8.34E-05		
14.00	0.19	15.04241	1.66	16.70	8.34E-05	0.0456	23.95
15.00	0.19	15.04241	1.66	16.70	8.34E-05		
16.00	0.27	16.83411	2.84	19.67	0.000118		
17.00	0.27	16.83411	2.84	19.67	0.000118		
18.00	0.75	38.48525	14.63	53.11	0.005597		
19.00	0.80	41.46967	16.16	57.63	0.009428		
20.00	0.79	40.86245	15.85	56.71	0.00848		
21.00	0.79	40.86245	15.85	56.71	0.00848		
22.00	0.75	38.48525	14.63	53.11	0.005597		
23.00	0.71	35.63262	13.16	48.79	0.003396		
24.00	0.48	24.35113	7.18	31.53	0.000463		

Tabel 4.6 Perhitungan Sisa Umur Transformator TR-2

Waktu	Pembebanan	$\theta_o$	$\Delta\theta_h$	$\theta_h$	$V$	$L$	Sisa Umur (tahun)
01.00	0.027	13.16	0.07	13.23	5.58181E-05		
02.00	0.027	13.16	0.07	13.23	5.58181E-05		
03.00	0.027	13.16	0.07	13.23	5.58181E-05		
04.00	0.027	13.16	0.07	13.23	5.58181E-05		
05.00	0.027	13.16	0.07	13.23	5.58181E-05		
06.00	0.027	13.16	0.07	13.23	5.58181E-05		
07.00	0.027	13.16	0.07	13.23	5.58181E-05		
08.00	0.068	13.36	0.31	13.66	5.87099E-05		
09.00	0.068	13.36	0.31	13.66	5.87099E-05		
10.00	0.076	13.42	0.37	13.79	5.95415E-05		
11.00	0.076	13.42	0.37	13.79	5.95415E-05		
12.00	0.076	13.42	0.37	13.79	5.95415E-05	0.0014	25.99
13.00	0.076	13.42	0.37	13.79	5.95415E-05		
14.00	0.099	13.62	0.56	14.19	6.23807E-05		
15.00	0.105	13.70	0.63	14.32	6.33582E-05		
16.00	0.105	13.70	0.63	14.32	6.33582E-05		
17.00	0.111	13.76	0.68	14.44	6.41891E-05		
18.00	0.111	13.76	0.68	14.44	6.41891E-05		
19.00	0.112	13.77	0.69	14.47	6.44037E-05		
20.00	0.038	13.19	0.12	13.31	5.63845E-05		
21.00	0.038	13.19	0.12	13.31	5.63845E-05		
22.00	0.027	13.16	0.07	13.23	5.58181E-05		
23.00	0.027	13.16	0.07	13.23	5.58181E-05		
24.00	0.027	13.16	0.07	13.23	5.58181E-05		

Menurut standart IEC 60076-7 transformator distribusi beroperasi dengan pembebanan yang kontinu pada suhu sekitar 20 °C dan kenaikan suhu belitan 98 °C agar dapat beroperasi hingga mencapai usia normalnya. Namun demikian, kebanyakan transformator di Indonesia beroperasi pada suhu ruang sekitar 30 °C. Tingginya suhu sekitar tempat dioperasikannya transformator sangat berpengaruh pada karakteristik termal dan temperature *hot spot*. Makin tinggi suhu sekitar, maka temperature *hot spot* pada transformator akan semakin tinggi yang berakibat pada menurunnya usia transformator.

Tabel 4.7 adalah salah satu contoh transformator distribusi TR-24 menunjukkan bahwa hasil prediksi susut umur temperature *hot spot* yang diperoleh dari variasi pembebanan selama 24 jam adalah sebesar 0.83 jam/hari sehingga sisa umur 22.20 tahun. Nilai tersebut lebih kecil dibandingkan dengan perhitungan data temperature *hot spot* hasil pengukuran yaitu susut umur sebesar 2.19 jam/hari sehingga sisa umur 20.89 tahun. Hal ini menunjukkan bahwa sebenarnya sisa umur transformator hasil perhitungan adalah lebih tinggi dibandingkan dengan hasil pengukuran.

Tabel 4.7 Hasil perhitungan IEC 60076-7 Vs hasil pengukuran temperatur *hot spot*

TR-24					
Hasil Perhitungan IEC 60076-7				Hasil Pengukuran Temperatur <i>Hot Spot</i>	
Waktu	LF	$\theta_{h\_est}$	V	$\theta_{h\_meas}$	V
01.00	0.8096	58.358	0.010258315	69.65	0.037792
02.00	0.9067	68.042	0.03140363	73.89	0.061714
03.00	0.9067	68.042	0.03140363	73.89	0.061714
04.00	0.9067	68.042	0.03140363	73.89	0.061714
05.00	0.3832	25.333	0.000226047	51.01	0.004391
06.00	0.3832	25.333	0.000226047	51.01	0.004391
07.00	0.3832	25.333	0.000226047	51.01	0.004391
08.00	0.3832	25.333	0.000226047	51.01	0.004391
09.00	0.3832	25.333	0.000226047	51.01	0.004391
10.00	0.3832	25.333	0.000226047	51.01	0.004391
11.00	0.3832	25.333	0.000226047	51.01	0.004391
12.00	0.3832	25.333	0.000226047	51.01	0.004391
13.00	0.3832	25.333	0.000226047	51.01	0.004391
14.00	0.3832	25.333	0.000226047	51.01	0.004391
15.00	0.3832	25.333	0.000226047	51.01	0.004391
16.00	0.8568	62.976	0.017488992	71.71	0.047966

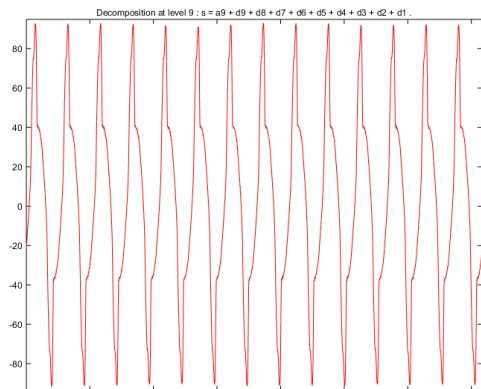
Lanjutan Tabel 4.7 Hasil perhitungan IEC 60076-7 Vs hasil pengukuran temperatur *hot spot*

TR-24					
Hasil Perhitungan IEC 60076-7				Hasil Pengukuran Temperatur <i>Hot Spot</i>	
Waktu	LF	$\theta_{h\_est}$	V	$\theta_{h\_meas}$	V
15.00	0.3832	25.333	0.000226047	51.01	0.004391
16.00	0.8568	62.976	0.017488992	71.71	0.047966
17.00	0.8568	62.976	0.017488992	71.71	0.047966
18.00	0.8568	62.976	0.017488992	71.71	0.047966
19.00	0.8568	62.976	0.017488992	71.71	0.047966
20.00	1.0439	82.905	0.174850146	92.99	0.560854
21.00	1.063	85.074	0.224624196	89.46	0.372698
22.00	1.0277	81.081	0.141627899	92.29	0.516834
23.00	1.002	78.221	0.101774748	85.92	0.247664
24.00	0.8096	58.358	0.010258315	69.65	0.037792

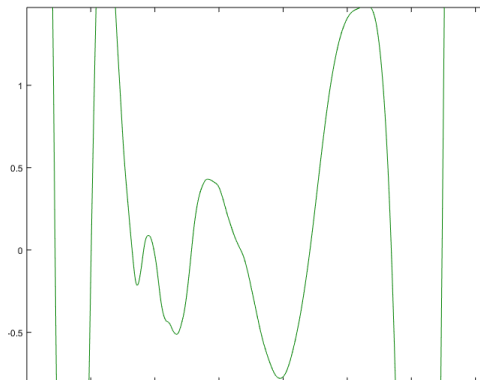
### 4.3 Hasil Pengolahan Data Sampel Arus

Sampel arus yang terdapat pada gambar 4.1 selanjutnya akan diolah menggunakan *daubechies wavelet transform* dengan menggunakan software MATLAB. Dekomposisi sinyal memiliki dua bagian yaitu *approximation coefficient* dan *detail coefficient*. Pada dekomposisi pertama sinyal dibagi menjadi 2, yaitu *approximation coefficient* dan *detail coefficient*. Pada level dekomposisi kedua *approximation coefficient* pada level pertama dipakai untuk menghasilkan *approximation coefficient* dan *detail coefficient* kedua. Begitu seterusnya hingga mencapai dekomposisi kesembilan dengan range frekuensi yang lebih kecil.

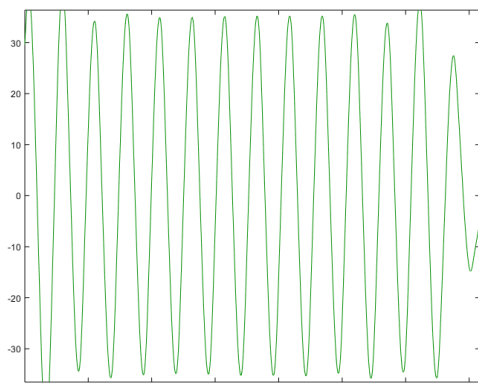
Sinyal ditransformasikan ke dalam bentuk d1-d9 dan a9. Sinyal berlabel s adalah sinyal awal yang akan diolah. Sinyal berlambang d1-d9 adalah *detail coefficient* atau sinyal hasil masing-masing level dekomposisi. Sedangkan sinyal a9 adalah *approximation coefficient* pada level kesembilan sekaligus menjadi sinyal sisa dari beberapa dekomposisi yang telah dilakukan sebelumnya. Berdasarkan gambar 4.1 dapat dilihat bahwa semakin rendah dekomposisi semakin rapat sinyal tersebut yang terdapat pada d1 dengan nilai amplitude sinyal sekitar 1. Sedangkan sinyal yang memiliki amplitude yang paling besar adalah sinyal yang berada pada dekomposisi kedelapan. Hal ini dikarenakan pada dekomposisi kedelapan merupakan sinyal fundamental.



(a) Sinyal asli



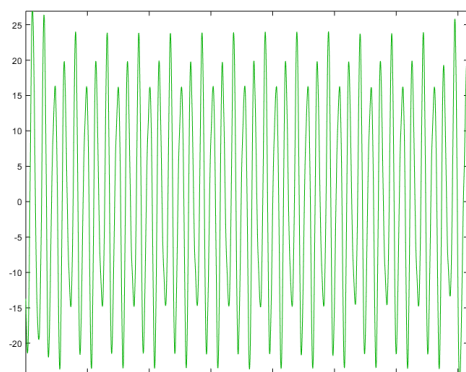
(b) Dekomposisi 9



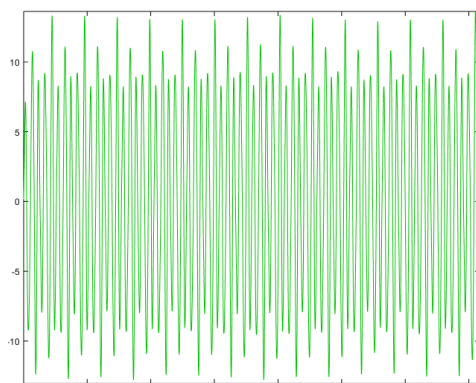
(c) Dekomposisi 8



(d) Dekomposisi 7

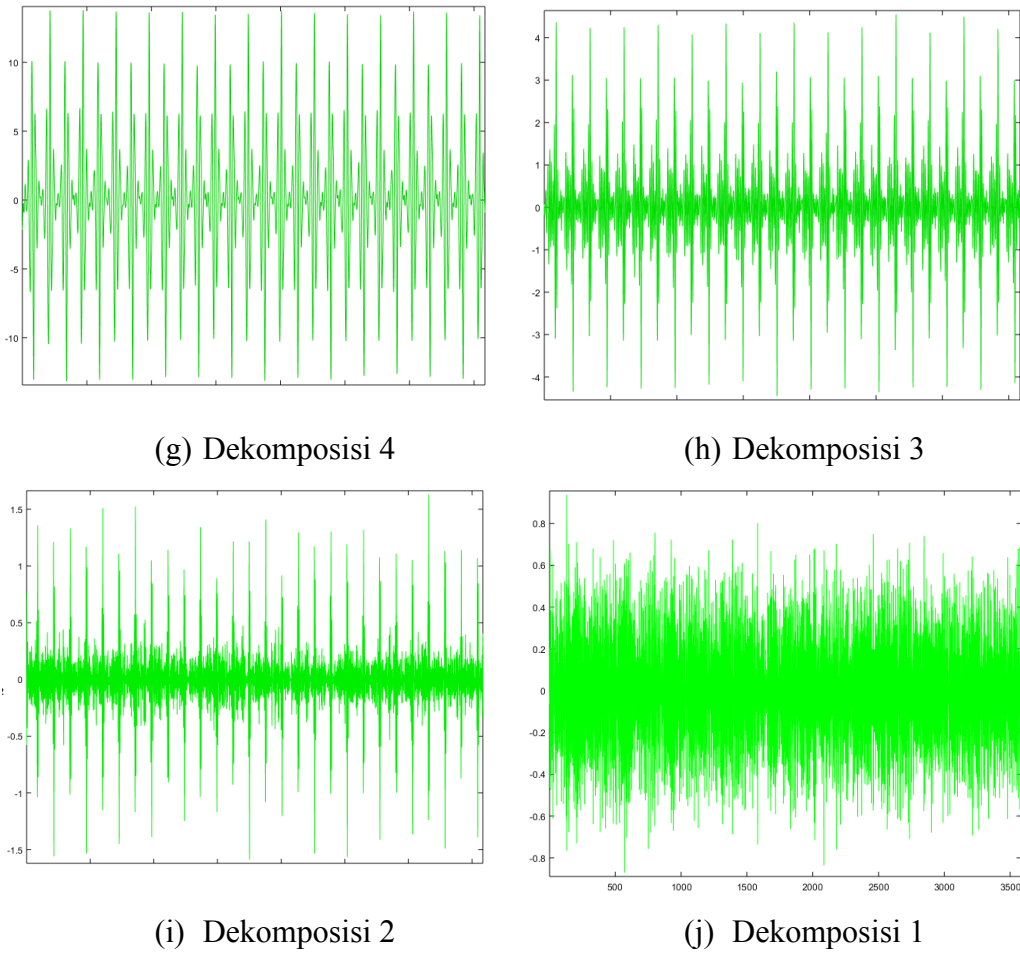


(e) Dekomposisi 6



(f) Dekomposisi 5





Gambar 4.1 Hasil Dekomposisi Wavelet pada Transformator TR-1

#### 4.4 Hasil Energi dan *Power Spectral Density* (PSD)

Hasil pengolahan data sampel arus pada bab 4.3. Selanjutnya data tersebut akan digunakan akan diolah untuk mendapatkan hasil kerapatan energi dan *power spectral density* yang ditunjukkan pada tabel 4.8 dan 4.9. Untuk transformator yang lainnya dapat dilihat pada lampiran 4.

Tabel 4.8 Kerapatan Energi dan PSD Pada Transformator TR-1

TR-1	ENERGI			PSD		
	R	S	T	R	S	T
D7	4005.389616	1264.005502	2896.978124	40.05389616	12.64005502	28.96978124
D8	73839.45185	5919.339194	34064.33549	1476.789037	118.3867839	681.2867099

Tabel 4.9 Kerapatan Energi dan PSD Pada Transformator TR-2

TR-2	ENERGI			PSD		
	R	S	T	R	S	T
D7	25.8170623	26.24781303	21.81063795	0.258170623	0.26247813	0.218106379
D8	13.50349905	72.4943097	12.13093228	0.270069981	1.449886194	0.242618646

#### 4.5 Hasil Prediksi Sisa Umur Transformator Menggunakan

##### *Backpropagation*

Pengujian prediksi sisa umur transformator dengan menggunakan *backpropagation neural network* dilakukan dengan beberapa scenario:

- Komposisi I pada scenario ini terdiri dari 100% data training dan data testing
- Komposisi II pada scenario ini terdiri dari 50% data training dan 50% data testing
- Komposisi III pada scenario ini terdiri dari 75% data training dan 25% data testing

##### 4.5.1 Komposisi I

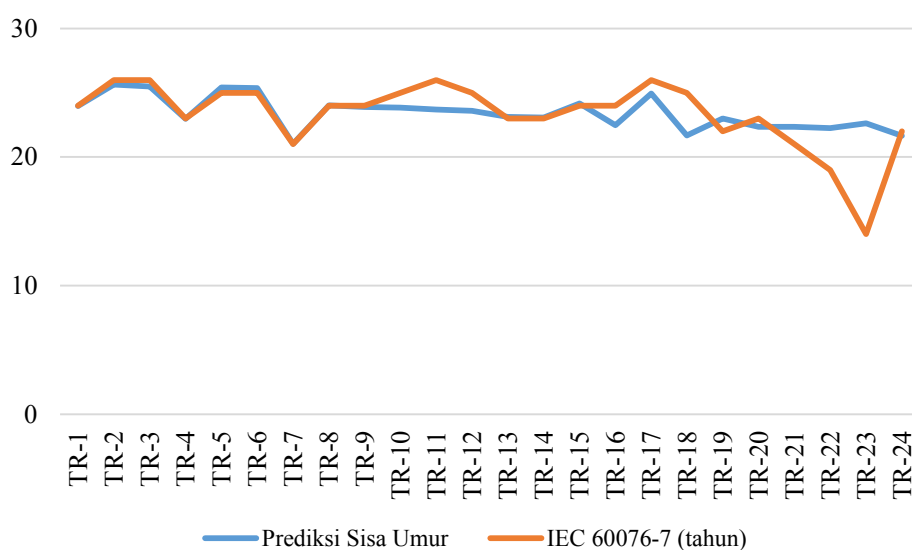
Hasil dari simulasi yang dilakukan untuk memprediksi sisa umur transformator ditunjukkan pada tabel 4.10 dan gambar 4.2. Rata-rata nilai akurasi sebesar 93.92% dan MSE sebesar 4.68. Karena nilai error yang kecil maka dapat disimpulkan parameter input yang digunakan dapat digunakan untuk mengetahui sisa umur transformator. Sedangkan nilai error yang paling besar terdapat pada TR-23 sebesar 73.63.

Tabel 4.10 Hasil simulasi prediksi sisa umur vs sisa umur asli komposisi I

No	Label Transformator	Sisa Umur Transformator (tahun)		Akurasi (%)	MSE
		IEC 60076-7 (tahun)	Prediksi Sisa Umur (tahun)		
1	TR-1	24	23.9636	99.85	0.00
2	TR-2	26	25.634	98.59	0.13
3	TR-3	26	25.49	98.04	0.26
4	TR-4	23	22.9748	99.89	0.00
5	TR-5	25	25.4036	98.39	0.16
6	TR-6	25	25.3736	98.51	0.14
7	TR-7	21	21.0212	99.90	0.00
8	TR-8	24	24.0152	99.94	0.00

Lanjutan Tabel 4.10 Hasil simulasi prediksi sisa umur vs sisa umur asli komposisi I

No	Label Transformator	Sisa Umur Transformator (tahun)		Akurasi (%)	MSE
		IEC 60076-7 (tahun)	Prediksi Sisa Umur (tahun)		
9	TR-9	24	23.8952	99.56	0.01
10	TR-10	25	23.846	95.38	1.33
11	TR-11	26	23.696	91.14	5.31
12	TR-12	25	23.6024	94.41	1.95
13	TR-13	23	23.1224	99.47	0.01
14	TR-14	23	23.0624	99.73	0.00
15	TR-15	24	24.1796	99.25	0.03
16	TR-16	24	22.4672	93.61	2.35
17	TR-17	26	24.9524	95.97	1.10
18	TR-18	25	21.6728	86.69	11.07
19	TR-19	22	22.9976	95.47	1.00
20	TR-20	23	22.3424	97.14	0.43
21	TR-21	21	22.3424	93.61	1.80
22	TR-22	19	22.2632	82.83	10.65
23	TR-23	14	22.6388	38.29	74.63
24	TR-24	22	21.6608	98.46	0.12
<b>Rata-rata</b>				93.92	4.68



Gambar 4.2 Prediksi Sisa Umur vs Sisa Umur Asli Komposisi I

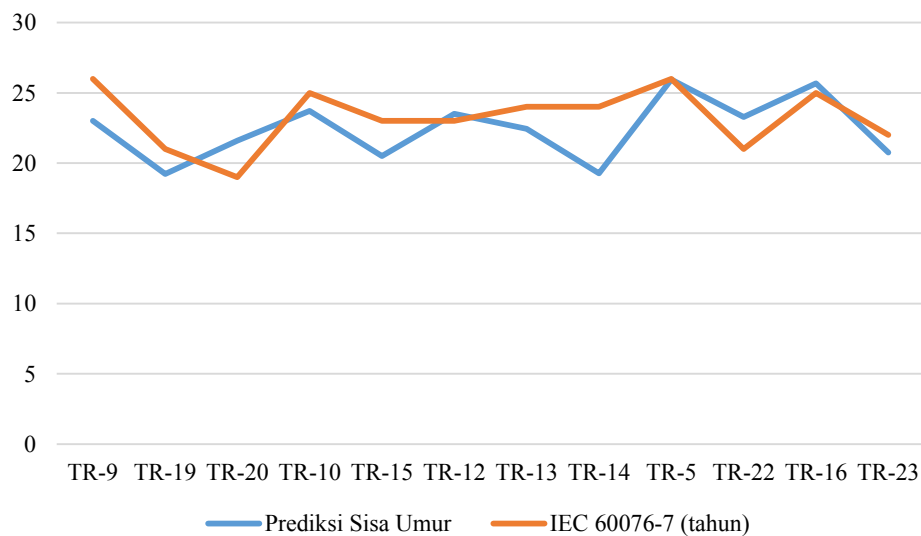
#### 4.5.2 Komposisi II

Hasil dari simulasi yang dilakukan untuk memprediksi sisa umur transformator ditunjukkan pada tabel 4.11 dan gambar 4.3. Pada komposisi II pemilihan data training dan data testing dilakukan secara acaka sehingga didapatkan rata-rata nilai akurasi sebesar 93.92% dan MSE sebesar 4.68. Karena

nilai error yang kecil maka dapat disimpulkan parameter input yang digunakan dapat digunakan untuk mengetahui sisa umur transformator. Sedangkan nilai error yang paling besar terdapat pada TR-14 sebesar 22.31.

Tabel 4.11 Hasil simulasi prediksi sisa umur vs sisa umur asli komposisi II

No	Label Transformator	Sisa Umur Transformator (tahun)		Akurasi (%)	MSE
		IEC 60076-7 (tahun)	Prediksi Sisa Umur (tahun)		
1	TR-9	26	22.9977	88.45	9.01
2	TR-19	21	19.2247	91.55	3.15
3	TR-20	19	21.5879	86.38	6.70
4	TR-10	25	23.7229	94.89	1.63
5	TR-15	23	20.5029	89.14	6.24
6	TR-12	23	23.5017	97.82	0.25
7	TR-13	24	22.4328	93.47	2.46
8	TR-14	24	19.2765	80.32	22.31
9	TR-5	26	25.9475	99.80	0.00
10	TR-22	21	23.2889	89.10	5.24
11	TR-16	25	25.6717	97.31	0.45
12	TR-23	22	20.7507	94.32	1.56
<b>Rata-rata</b>				91.87	4.91



Gambar 4.3 Prediksi Sisa Umur vs Sisa Umur Asli Komposisi II

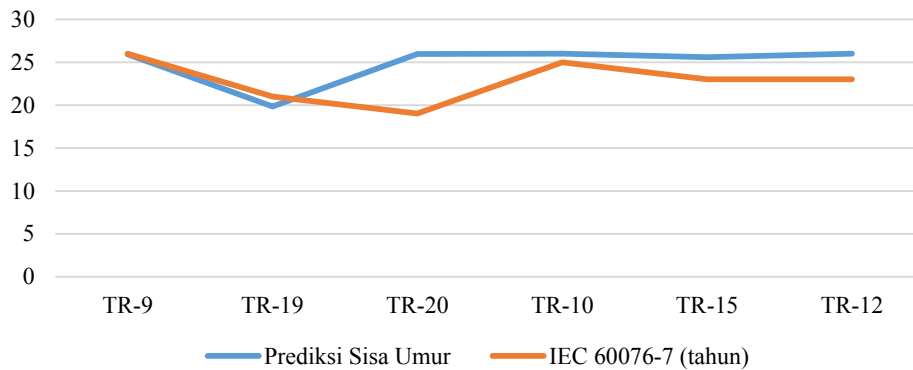
### 4.5.3 Komposisi III

Hasil dari simulasi yang dilakukan untuk memprediksi sisa umur transformator ditunjukkan pada tabel 4.12 dan gambar 4.4. Pada komposisi III pemilihan data training dan data testing dilakukan secara acak sehingga didapatkan

rata-rata nilai akurasi sebesar 88.23% dan MSE sebesar 11.03. Hasil error yang paling besar terdapat pada TR-20 sebesar 48.29.

Tabel 4.12 Hasil simulasi prediksi sisa umur vs sisa umur asli komposisi III

No	Label Transformator	Sisa Umur Transformator (tahun)		Akurasi (%)	MSE
		IEC 60076-7 (tahun)	Prediksi Sisa Umur (tahun)		
1	TR-9	26	25.923	99.70	0.01
2	TR-19	21	19.8316	94.44	1.37
3	TR-20	19	25.9489	63.43	48.29
4	TR-10	25	25.9783	96.09	0.96
5	TR-15	23	25.5926	88.73	6.72
6	TR-12	23	25.979	87.05	8.87
<b>Rata-rata</b>				<b>88.23</b>	<b>11.03</b>



Gambar 4.4 Prediksi Sisa Umur vs Sisa Umur Asli Komposisi III

#### 4.6 Sisa Umur Transformator

Sisa umur transformator pada Tabel 4.13 menunjukkan bahwa akurasi antara sisa umur menggunakan data temperatur hasil pengukuran (*Hot Spot<sub>ukur</sub>*) dibandingkan dengan sisa umur data temperatur hasil perhitungan (*Hot Spot<sub>hitung</sub>*) sebesar 75% dari data memiliki akurasi sebesar 100%, sedangkan sisanya memiliki akurasi antara 63%-95%, akurasi rata-rata untuk seluruh sampel adalah 96.64%. Nilai akurasi ini hampir sama atau dengan selisih yang sangat kecil yaitu 96.723% pada sisa umur hasil prediksi *backpropagation*. Perbedaannya adalah jumlah sampel yang memiliki akurasi sempurna (100%) berjumlah 18 sampel pada sisa umur yang dihitung berdasarkan *hot spot* hasil perhitungan (*Hot Spot<sub>hitung</sub>*). Jadi

hasil prediksi sisa umur transformator nilainya hampir sama dengan sisa umur hasil pengukuran (*Hot Spot*<sub>ukur</sub>).

Tabel 4.13 Hasil sisa umur transformator

Label Transformator	Sisa Umur Berdasarkan <i>Hot Spot</i> <sub>ukur</sub> (tahun)	Sisa Umur Berdasarkan		Sisa Umur Hasil Prediksi	
		<i>Hot Spot</i> <sub>hitung</sub>		<i>Backpropagation</i>	
		Sisa Umur (tahun)	Akurasi (%)	Sisa Umur (tahun)	Akurasi (%)
TR-1	24	24	100.00	24	100.00
TR-2	26	26	100.00	26	100.00
TR-3	26	26	100.00	26	100.00
TR-4	23	23	100.00	23	100.00
TR-5	25	25	100.00	25	100.00
TR-6	25	25	100.00	25	100.00
TR-7	21	21	100.00	21	100.00
TR-8	24	24	100.00	24	100.00
TR-9	25	25	100.00	24	96.00
TR-10	25	25	100.00	24	96.00
TR-11	26	26	100.00	24	92.31
TR-12	25	25	100.00	23	92.00
TR-13	23	23	100.00	23	100.00
TR-14	23	23	100.00	23	100.00
TR-15	24	24	100.00	24	100.00
TR-16	24	24	100.00	22	91.67
TR-17	26	26	100.00	25	96.15
TR-18	25	25	100.00	22	88.00
TR-19	23	22	95.65	23	100.00
TR-20	24	23	95.83	22	91.67
TR-21	24	21	87.50	22	91.67
TR-22	22	19	86.36	21	95.45
TR-23	22	14	63.64	21	95.45
TR-24	20	22	90.00	21	95.00
		Rata-rata	96.62	Rata-rata	96.72

## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian yang telah dilakukan untuk memprediksi sisa umur transformator dengan menggunakan metode *wavelet transform* dan *backpropagation* untuk mendapatkan data input nilai energi dan nilai PSD dilakukan pengolahan data sinyal arus menggunakan DWT (*Discrete Wavelet Transform*) sedangkan untuk data sisa umur transformator dilakukan perhitungan menggunakan standart IEC 60076-7. Hasil dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Parameter temperature *hot spot* didapatkan dari parameter arus beban dengan menggunakan perhitungan standart IEC 60076-7
2. Prediksi sisa umur transformator distribusi dipengaruhi oleh pembebanan
3. Hasil simulasi *backpropagation neural network* untuk memprediksi sisa umur mendapatkan nilai rata-rata akurasi dari komposisi I sebesar 93.92 %, komposisi II sebesar 91.87%, dan komposisi III sebesar 88.23%
4. Transformator distribusi TR-24 hasil estimasi menunjukkan bahwa susut umur sebesar 0.83 jam/hari sehingga sisa umur 22.20 tahun. Nilai tersebut lebih kecil dibandingkan temperatur *hot spot* hasil pengukuran yaitu susut umur sebesar 2.19 jam/hari sehingga sisa umur 20.89 tahun.
5. Hasil prediksi sisa umur transformator nilainya hampir sama dengan sisa umur hasil pengukuran (*Hot Spot<sub>ukur</sub>*).
6. Perlu dilakukan pengukuran secara langsung untuk mendapatkan  $\Delta\theta_{hr}$  dan  $\Delta\theta_{br}$  agar prediksi sisa umur transformator menjadi lebih akurat dikarenakan dalam penelitian ini nilai  $\Delta\theta_{hr}$  dan  $\Delta\theta_{br}$  berdasarkan asumsi pada contoh kasus di standart IEC 60076-7.
7. Penelitian selanjutnya perlu dilakukan perhitungan prediksi sisa umur transformator distribusi menggunakan tipe pendingin yang berbeda

8. Perhitungan sisa umur transformator distribusi dengan per satuan 3 menit untuk mendapatkan laju penuaan yang lebih spesifik
9. Pembuatan sistem monitoring untuk menghitung nilai susut umur transformator
10. Variasi jumlah sampel untuk masing-masing umur diharapkan lebih banyak dan jumlahnya sama setiap umur.
11. Dalam penelitian ini, pengambilan sampel arus dilakukan dalam durasi 1 jam dikarenakan keterbatasan memori dan memerlukan waktu komputasi yang lebih lama sehingga untuk penelitian selanjutnya perlu dilakukan pengambilan sampel arus selama 24 jam dalam beberapa hari dengan variasi beban agar dapat memprediksi sisa umur transformator lebih akurat.



## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. Biçen, F. Aras, dan H. Kirkici, "Lifetime estimation and monitoring of power transformer considering annual load factors," *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, vol. 21, no. 3, hlm. 1360–1367, Jun 2014.
- [2] J. A. Jardini, H. P. Schmidt, C. M. V. Tahan, C. C. B. D. Oliveira, dan S. U. Ahn, "Distribution transformer loss of life evaluation: a novel approach based on daily load profiles," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 15, no. 1, hlm. 361–366, Jan 2000.
- [3] D. M. Said, K. M. Nor, dan M. S. Majid, "Analysis of distribution transformer losses and life expectancy using measured harmonic data," dalam *Proceedings of 14th International Conference on Harmonics and Quality of Power - ICHQP 2010*, 2010, hlm. 1–6.
- [4] O. E. Gouda, G. M. Amer, dan W. A. A. Salem, "Predicting transformer temperature rise and loss of life in the presence of harmonic load currents," *Ain Shams Eng. J.*, vol. 3, no. 2, hlm. 113–121, Jun 2012.
- [5] I. W. F, W. K. Adi, A. Priyadi, M. Pujiantara, dan M. H. P, "Transformer monitoring using harmonic current based on wavelet transformation and probabilistic neural network (PNN)," dalam *2014 The 1st International Conference on Information Technology, Computer, and Electrical Engineering*, 2014, hlm. 419–423.
- [6] H. Zeinoddini-Meymand dan B. Vahidi, "Health index calculation for power transformers using technical and economical parameters," *IET Sci. Meas. Technol.*, vol. 10, no. 7, hlm. 823–830, 2016.
- [7] IEC 60076-7:2018, "Power Transformer- Part 7: Loading Guide for Oil-Immersed Power Transformers."
- [8] F. Husnayain, M. Latif, dan I. Garniwa, "Transformer oil lifetime prediction using the Arrhenius law based on physical and electrical characteristics," dalam *2015 International Conference on Quality in Research (QiR)*, 2015, hlm. 115–120.
- [9] H. Monsef dan S. Lotfifard, "Internal fault current identification based on wavelet transform in power transformers," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 77, no. 12, hlm. 1637–1645, Okt 2007.
- [10] J. CusidÓCusido, L. Romeral, J. A. Ortega, J. A. Rosero, dan A. G. Espinosa, "Fault Detection in Induction Machines Using Power Spectral Density in Wavelet Decomposition," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 55, no. 2, hlm. 633–643, Feb 2008.
- [11] P. L. Mao dan R. K. Aggarwal, "A novel approach to the classification of the transient phenomena in power transformers using combined wavelet transform and neural network," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 16, no. 4, hlm. 654–660, Okt 2001.
- [12] I. Hafidz, P. E. Nofi, D. O. Anggriawan, A. Priyadi, dan M. H. Pumomo, "Neuro wavelet algortihm for detecting high impedance faults in extra high voltage transmission systems," dalam *2017 2nd International Conference Sustainable and Renewable Energy Engineering (ICSREE)*, 2017, hlm. 97–100.

- [13] M. Purnomo Hery, *Supervised Neural Networks dan aplikasinya*, Pertama. Yogyakarta: Graha Ilmu, 2006.
- [14] I. Faria, R. Salustiano, dan M. Martinez, "A prediction of distribution transformers aging based on tank infrared temperature measurements," dalam *22nd International Conference and Exhibition on Electricity Distribution (CIRED 2013)*, 2013, hlm. 1–4.
- [15] Rosmaliati, "Nguyen-Widrow Neural Network for Distribution Transformer Lifetime Prediction," *Int. Conf. Comput. Eng. Netw. Intell. Multimed.* 2018.

## LAMPIRAN 1

TR-3					TR-4				
Waktu	R (A)	S (A)	T (A)	Suhu (°C)	Waktu	R (A)	S (A)	T (A)	Suhu (°C)
01.00	4.85	3.71	3.80	35.12	01.00	186.01	181.42	176.91	66.8
02.00	4.85	3.71	3.80	35.12	02.00	186.01	181.42	176.91	66.8
03.00	4.85	3.71	3.80	35.12	03.00	186.01	181.42	176.91	66.8
04.00	4.85	3.71	3.80	35.12	04.00	186.01	181.42	176.91	66.8
05.00	4.85	3.71	3.80	35.12	05.00	186.01	181.42	176.91	66.8
06.00	4.85	3.71	3.80	35.12	06.00	186.01	181.42	176.91	66.8
07.00	4.85	3.71	3.80	35.12	07.00	186.01	181.42	176.91	66.8
08.00	6.79	5.19	5.32	35.85	08.00	82.93	80.89	78.87	48.7
09.00	6.79	5.19	5.32	35.85	09.00	82.93	80.89	78.87	48.7
10.00	16.83	12.87	13.18	39.61	10.00	82.93	80.89	78.87	48.7
11.00	16.83	12.87	13.18	39.61	11.00	82.93	80.89	78.87	48.7
12.00	16.83	12.87	13.18	39.61	12.00	82.93	80.89	78.87	48.7
13.00	16.83	12.87	13.18	39.61	13.00	82.93	80.89	78.87	48.7
14.00	16.83	12.87	13.18	39.61	14.00	82.93	80.89	78.87	48.7
15.00	17.71	13.54	13.87	39.94	15.00	249.63	243.47	237.41	78.0
16.00	18.92	14.47	14.82	40.39	16.00	249.63	243.47	237.41	78.0
17.00	18.92	14.47	14.82	40.39	17.00	249.63	243.47	237.41	78.0
18.00	13.58	10.39	10.64	38.39	18.00	249.63	243.47	237.41	78.0
19.00	13.58	10.39	10.64	38.39	19.00	249.63	243.47	237.41	78.0
20.00	13.58	10.39	10.64	38.39	20.00	249.63	243.47	237.41	78.0
21.00	13.58	10.39	10.64	38.39	21.00	249.63	243.47	237.41	78.0
22.00	4.85	3.71	3.80	35.12	22.00	249.63	243.47	237.41	78.0
23.00	4.85	3.71	3.80	35.12	23.00	249.63	243.47	237.41	78.0
24.00	4.85	3.71	3.80	35.12	24.00	249.63	243.47	237.41	78.0

<b>TR-5</b>				
<b>Waktu</b>	<b>R</b>	<b>S</b>	<b>T</b>	<b>Suhu</b>
	<b>(A)</b>	<b>(A)</b>	<b>(A)</b>	<b>(°C)</b>
01.00	2.90	3.80	0.73	37.53
02.00	2.90	3.80	0.73	37.53
03.00	2.90	3.80	0.73	37.53
04.00	2.90	3.80	0.73	37.53
05.00	2.90	3.80	0.73	37.53
06.00	2.90	3.80	0.73	37.53
07.00	2.90	3.80	0.73	37.53
08.00	7.25	9.50	1.82	40.99
09.00	7.25	9.50	1.82	40.99
10.00	8.12	10.64	2.03	41.68
11.00	8.12	10.64	2.03	41.68
12.00	8.12	10.64	2.03	41.68
13.00	8.12	10.64	2.03	41.68
14.00	10.59	13.87	2.65	43.65
15.00	10.59	13.87	2.65	43.65
16.00	10.59	13.87	2.65	43.65
17.00	10.59	13.87	2.65	43.65
18.00	10.59	13.87	2.65	43.65
19.00	10.59	13.87	2.65	43.65
20.00	5.16	6.76	1.29	39.33
21.00	5.16	6.76	1.29	39.33
22.00	5.16	6.76	1.29	39.33
23.00	4.00	5.24	1.00	38.4
24.00	2.90	3.80	0.73	37.53

<b>TR-6</b>				
<b>Waktu</b>	<b>R</b>	<b>S</b>	<b>T</b>	<b>Suhu</b>
	<b>(A)</b>	<b>(A)</b>	<b>(A)</b>	<b>(°C)</b>
01.00	33.11	23.71	40.54	42.18
02.00	33.11	23.71	40.54	42.18
03.00	33.11	23.71	40.54	42.18
04.00	33.11	23.71	40.54	42.18
05.00	33.11	23.71	40.54	42.18
06.00	16.55	11.85	20.27	38.45
07.00	12.26	8.78	15.02	37.48
08.00	12.26	8.78	15.02	37.48
09.00	12.26	8.78	15.02	37.48
10.00	12.26	8.78	15.02	37.48
11.00	12.26	8.78	15.02	37.48
12.00	12.26	8.78	15.02	37.48
13.00	12.26	8.78	15.02	37.48
14.00	12.26	8.78	15.02	37.48
15.00	12.26	8.78	15.02	37.48
16.00	12.26	8.78	15.02	37.48
17.00	12.26	8.78	15.02	38.59
18.00	12.26	8.78	15.02	45.5
19.00	12.26	8.78	15.02	45.5
20.00	12.26	8.78	15.02	46.05
21.00	12.26	8.78	15.02	46.19
22.00	12.26	8.78	15.02	46.05
23.00	12.26	8.78	15.02	44.81
24.00	12.26	8.78	15.02	42.32

TR-7				
Waktu	R (A)	S (A)	T (A)	Suhu (°C)
01.00	138.77	73.46	80.97	68.75
02.00	124.49	65.90	72.64	65.2
03.00	124.49	65.90	72.64	65.2
04.00	124.49	65.90	72.64	65.2
05.00	124.49	65.90	72.64	65.2
06.00	124.49	65.90	72.64	65.2
07.00	124.49	65.90	72.64	65.2
08.00	65.36	34.60	38.14	50.51
09.00	57.19	30.27	33.37	48.06
10.00	57.19	30.27	33.37	48.06
11.00	57.19	30.27	33.37	48.06
12.00	57.19	30.27	33.37	48.06
13.00	57.19	30.27	33.37	48.06
14.00	57.19	30.27	33.37	48.06
15.00	57.19	30.27	33.37	48.06
16.00	57.19	30.27	33.37	48.06
17.00	179.86	95.21	104.95	53.58
18.00	179.86	95.21	104.95	53.58
19.00	179.86	95.21	104.95	88.06
20.00	179.86	95.21	104.95	90.82
21.00	179.86	95.21	104.95	91.51
22.00	179.86	95.21	104.95	88.06
23.00	179.86	95.21	104.95	90.82
24.00	179.86	95.21	104.95	84.62

TR-8				
Waktu	R (A)	S (A)	T (A)	Suhu (°C)
01.00	11.00	2.65	6.81	44.85
02.00	27.61	6.65	17.09	46.41
03.00	27.61	6.65	17.09	46.41
04.00	27.61	6.65	17.09	46.41
05.00	18.77	4.52	11.62	41.75
06.00	18.77	4.52	11.62	41.75
07.00	9.88	2.38	6.12	37.08
08.00	9.88	2.38	6.12	37.08
09.00	9.88	2.38	6.12	37.08
10.00	9.88	2.38	6.12	37.08
11.00	9.88	2.38	6.12	37.08
12.00	9.88	2.38	6.12	37.08
13.00	9.88	2.38	6.12	37.08
14.00	9.39	2.26	5.81	36.83
15.00	11.86	2.86	7.34	38.12
16.00	12.35	2.98	7.65	38.38
17.00	13.83	3.33	8.56	39.16
18.00	38.53	9.28	23.85	52.11
19.00	40.51	9.76	25.08	53.14
20.00	41.00	9.88	25.38	53.4
21.00	40.51	9.76	25.08	53.14
22.00	38.53	9.28	23.85	52.11
23.00	36.06	8.69	22.33	50.81
24.00	24.70	5.95	15.29	44.85

<b>TR-9</b>				
<b>Waktu</b>	<b>R (A)</b>	<b>S (A)</b>	<b>T (A)</b>	<b>Suhu (°C)</b>
01.00	17.90	14.44	33.87	37.88
02.00	17.90	14.44	33.87	37.88
03.00	17.90	14.44	33.87	37.88
04.00	17.90	14.44	33.87	37.88
05.00	17.90	14.44	33.87	37.88
06.00	17.90	14.44	33.87	37.88
07.00	17.90	14.44	33.87	37.88
08.00	44.75	36.09	84.67	46.78
09.00	44.75	36.09	84.67	46.78
10.00	50.12	40.43	94.83	48.56
11.00	50.12	40.43	94.83	48.56
12.00	50.12	40.43	94.83	48.56
13.00	50.12	40.43	94.83	48.56
14.00	65.34	52.70	123.62	53.6
15.00	65.34	52.70	123.62	55.09
16.00	65.34	52.70	123.62	55.09
17.00	73.39	59.19	138.86	56.27
18.00	73.39	59.19	138.86	56.27
19.00	74.29	59.92	140.56	56.57
20.00	25.06	20.21	47.42	40.25
21.00	25.06	20.21	47.42	40.25
22.00	17.90	14.44	33.87	37.88
23.00	17.90	14.44	33.87	37.88
24.00	17.90	14.44	33.87	37.88

<b>TR-10</b>				
<b>Waktu</b>	<b>R (A)</b>	<b>S (A)</b>	<b>T (A)</b>	<b>Suhu (°C)</b>
01.00	14.96	29.79	9.99	47.87
02.00	14.96	29.79	9.99	47.87
03.00	14.96	29.79	9.99	47.87
04.00	14.96	29.79	9.99	47.87
05.00	14.96	29.79	9.99	47.87
06.00	6.70	13.35	4.48	39.26
07.00	6.70	13.35	4.48	39.26
08.00	6.70	13.35	4.48	39.26
09.00	6.70	13.35	4.48	39.26
10.00	6.70	13.35	4.48	39.26
11.00	6.70	13.35	4.48	39.26
12.00	6.70	13.35	4.48	39.26
13.00	6.70	13.35	4.48	39.26
14.00	6.70	13.35	4.48	39.26
15.00	6.70	13.35	4.48	39.26
16.00	8.38	16.68	5.60	41.01
17.00	8.38	16.68	5.60	41.01
18.00	23.34	46.48	15.59	56.61
19.00	24.54	48.86	16.39	57.86
20.00	24.84	49.46	16.59	58.17
21.00	23.34	46.48	15.59	56.61
22.00	24.54	48.86	16.39	57.86
23.00	21.85	43.50	14.59	55.05
24.00	14.96	29.79	9.99	47.87

<b>TR-11</b>				
<b>Waktu</b>	<b>R</b>	<b>S</b>	<b>T</b>	<b>Suhu</b>
	<b>(A)</b>	<b>(A)</b>	<b>(A)</b>	<b>(°C)</b>
01.00	35.67	37.88	42.19	49.52
02.00	36.51	38.77	43.18	49.92
03.00	37.35	39.66	44.17	50.31
04.00	38.18	40.55	45.16	50.7
05.00	39.02	41.43	46.15	51.09
06.00	13.68	14.52	16.18	39.19
07.00	13.68	14.52	16.18	39.19
08.00	13.68	14.52	16.18	39.19
09.00	13.68	14.52	16.18	39.19
10.00	13.68	14.52	16.18	39.19
11.00	13.68	14.52	16.18	39.19
12.00	13.68	14.52	16.18	39.19
13.00	13.68	14.52	16.18	39.19
14.00	13.68	14.52	16.18	39.19
15.00	13.68	14.52	16.18	39.19
16.00	19.15	20.33	22.65	41.76
17.00	19.15	20.33	22.65	41.76
18.00	53.74	57.07	63.56	58.01
19.00	54.43	57.80	64.38	58.33
20.00	55.12	58.53	65.19	58.66
21.00	55.81	59.26	66.01	58.98
22.00	56.50	59.99	66.82	59.3
23.00	49.92	53.01	59.04	56.21
24.00	34.84	36.99	41.20	49.13

<b>TR-12</b>				
<b>Waktu</b>	<b>R</b>	<b>S</b>	<b>T</b>	<b>Suhu</b>
	<b>(A)</b>	<b>(A)</b>	<b>(A)</b>	<b>(°C)</b>
01.00	47.20	36.10	36.97	50.02
02.00	48.31	36.94	37.84	50.42
03.00	49.41	37.79	38.70	50.83
04.00	50.52	38.63	39.57	51.24
05.00	14.15	10.82	11.08	37.87
06.00	15.49	11.84	12.13	38.36
07.00	16.82	12.86	13.18	38.85
08.00	18.16	13.88	14.22	39.34
09.00	19.49	14.91	15.27	39.83
10.00	20.83	15.93	16.31	40.32
11.00	22.16	16.95	17.36	40.81
12.00	23.50	17.97	18.40	41.3
13.00	24.83	18.99	19.45	41.79
14.00	26.17	20.01	20.49	42.28
15.00	27.50	21.03	21.54	42.77
16.00	25.34	19.37	19.84	43.26
17.00	28.84	22.05	22.59	41.98
18.00	70.58	53.97	55.28	58.61
19.00	70.58	53.97	55.28	59.94
20.00	74.20	56.74	58.11	60.27
21.00	75.10	57.43	58.82	58.61
22.00	74.20	56.74	58.11	59.94
23.00	66.05	50.51	51.73	56.95
24.00	46.10	35.25	36.10	49.61

<b>TR-13</b>				
<b>Waktu</b>	<b>R</b>	<b>S</b>	<b>T</b>	<b>Suhu</b>
	<b>(A)</b>	<b>(A)</b>	<b>(A)</b>	<b>(°C)</b>
01.00	51.58	50.35	35.79	54.55
02.00	55.15	53.83	38.27	57.31
03.00	55.15	53.83	38.27	57.31
04.00	55.15	53.83	38.27	57.31
05.00	55.15	53.83	38.27	57.31
06.00	19.70	19.23	13.67	40.79
07.00	19.70	19.23	13.67	40.79
08.00	19.70	19.23	13.67	40.79
09.00	19.70	19.23	13.67	40.79
10.00	19.70	19.23	13.67	40.79
11.00	19.70	19.23	13.67	40.79
12.00	19.70	19.23	13.67	40.79
13.00	19.70	19.23	13.67	40.79
14.00	19.70	19.23	13.67	40.79
15.00	19.70	19.23	13.67	40.79
16.00	27.57	26.92	19.13	44.46
17.00	27.57	26.92	19.13	44.46
18.00	71.89	70.18	49.88	67.4
19.00	76.81	74.98	53.30	69.24
20.00	76.81	74.98	53.30	69.7
21.00	80.75	78.83	56.03	67.4
22.00	80.75	78.83	56.03	69.24
23.00	81.74	79.79	56.72	65.11
24.00	49.24	48.07	34.17	54.55

<b>TR-14</b>				
<b>Waktu</b>	<b>R</b>	<b>S</b>	<b>T</b>	<b>Suhu</b>
	<b>(A)</b>	<b>(A)</b>	<b>(A)</b>	<b>(°C)</b>
01.00	31.71	17.13	23.58	51.41
02.00	35.52	19.19	26.41	53.81
03.00	35.52	19.19	26.41	53.81
04.00	35.52	19.19	26.41	53.81
05.00	35.52	19.19	26.41	53.81
06.00	12.68	6.85	9.43	39.37
07.00	12.68	6.85	9.43	39.37
08.00	12.68	6.85	9.43	39.37
09.00	12.68	6.85	9.43	39.37
10.00	12.68	6.85	9.43	39.37
11.00	12.68	6.85	9.43	39.37
12.00	12.68	6.85	9.43	39.37
13.00	12.68	6.85	9.43	39.37
14.00	12.68	6.85	9.43	39.37
15.00	9.97	5.38	7.41	37.65
16.00	19.60	10.59	14.58	43.75
17.00	29.23	15.79	21.74	49.84
18.00	38.87	21.00	28.90	55.93
19.00	52.01	28.09	38.67	64.24
20.00	52.64	28.44	39.14	64.65
21.00	49.47	26.72	36.79	62.64
22.00	52.01	28.09	38.67	64.24
23.00	46.30	25.01	34.43	60.63
24.00	31.71	17.13	23.58	51.41



TR-15				
Waktu	R (A)	S (A)	T (A)	Suhu (°C)
01.00	57.63	104.24	64.54	51.81
02.00	57.63	104.24	64.54	51.81
03.00	57.63	104.24	64.54	51.81
04.00	57.63	104.24	64.54	51.81
05.00	57.63	104.24	64.54	51.81
06.00	57.63	104.24	64.54	51.81
07.00	23.46	42.42	26.27	39.87
08.00	23.46	42.42	26.27	39.87
09.00	23.46	42.42	26.27	39.87
10.00	23.46	42.42	26.27	39.87
11.00	23.46	42.42	26.27	39.87
12.00	23.46	42.42	26.27	39.87
13.00	23.46	42.42	26.27	39.87
14.00	23.46	42.42	26.27	39.87
15.00	23.46	42.42	26.27	39.87
16.00	32.84	59.39	36.77	43.15
17.00	32.84	59.39	36.77	43.15
18.00	96.17	173.94	107.69	63.62
19.00	97.34	176.06	109.00	65.26
20.00	91.48	165.45	102.44	65.67
21.00	91.48	165.45	102.44	63.62
22.00	96.17	173.94	107.69	65.26
23.00	85.61	154.85	95.87	61.57
24.00	57.63	104.24	64.54	51.81

TR-16				
Waktu	R (A)	S (A)	T (A)	Suhu (°C)
01.00	92.32	79.54	71.42	56.92
02.00	103.40	89.08	79.99	56.92
03.00	103.40	89.08	79.99	41.07
04.00	103.40	89.08	79.99	36.67
05.00	103.40	89.08	79.99	36.67
06.00	36.93	31.81	28.57	36.67
07.00	18.46	15.91	14.28	36.67
08.00	18.46	15.91	14.28	41.07
09.00	18.46	15.91	14.28	41.07
10.00	18.46	15.91	14.28	41.07
11.00	36.93	31.81	28.57	41.07
12.00	36.93	31.81	28.57	41.07
13.00	36.93	31.81	28.57	44.59
14.00	36.93	31.81	28.57	44.59
15.00	36.93	31.81	28.57	66.6
16.00	51.70	44.54	39.99	68.36
17.00	51.70	44.54	39.99	68.8
18.00	144.02	124.08	111.41	66.6
19.00	151.40	130.44	117.13	68.36
20.00	153.25	132.03	118.55	64.4
21.00	144.02	124.08	111.41	54.28
22.00	151.40	130.44	117.13	56.92
23.00	134.78	116.12	104.27	56.92
24.00	92.32	79.54	71.42	41.07

<b>TR-17</b>				
<b>Waktu</b>	<b>R</b>	<b>S</b>	<b>T</b>	<b>Suhu</b>
	<b>(A)</b>	<b>(A)</b>	<b>(A)</b>	<b>(°C)</b>
01.00	4.90	5.49	22.86	38.1
02.00	4.90	5.49	22.86	38.1
03.00	4.90	5.49	22.86	38.1
04.00	4.90	5.49	22.86	38.1
05.00	4.90	5.49	22.86	38.1
06.00	4.90	5.49	22.86	38.1
07.00	4.90	5.49	22.86	38.1
08.00	12.25	13.73	57.15	42.98
09.00	12.25	13.73	57.15	42.98
10.00	14.94	16.75	69.72	44.76
11.00	17.64	19.77	82.30	46.55
12.00	20.33	22.79	94.87	48.34
13.00	18.80	21.08	87.72	47.32
14.00	18.07	20.25	84.30	46.83
15.00	17.33	19.43	80.87	46.35
16.00	16.60	18.61	77.44	45.86
17.00	16.60	18.61	77.44	45.9
18.00	15.92	17.85	74.29	45.41
19.00	15.19	17.03	70.87	44.93
20.00	6.86	7.69	32.00	39.4
21.00	6.86	7.69	32.00	39.4
22.00	4.90	5.49	22.86	38.1
23.00	4.90	5.49	22.86	38.1
24.00	4.90	5.49	22.86	38.1

<b>TR-18</b>				
<b>Waktu</b>	<b>R</b>	<b>S</b>	<b>T</b>	<b>Suhu</b>
	<b>(A)</b>	<b>(A)</b>	<b>(A)</b>	<b>(°C)</b>
01.00	41.59	45.83	40.85	57.58
02.00	41.59	45.83	40.85	57.58
03.00	41.59	45.83	40.85	57.58
04.00	57.97	63.90	56.95	57.58
05.00	57.97	63.90	56.95	46.24
06.00	57.97	63.90	56.95	46.24
07.00	100.54	110.81	98.76	46.24
08.00	100.54	110.81	98.76	40.57
09.00	100.54	110.81	98.76	40.57
10.00	100.54	110.81	98.76	40.57
11.00	127.05	140.02	124.81	40.57
12.00	127.05	140.02	124.81	40.57
13.00	127.05	140.02	124.81	40.57
14.00	127.05	140.02	124.81	41.87
15.00	127.05	140.02	124.81	41.87
16.00	127.05	140.02	124.81	41.87
17.00	127.05	140.02	124.81	44.48
18.00	127.05	140.02	124.81	68.92
19.00	36.69	40.44	36.05	70.87
20.00	36.69	40.44	36.05	71.36
21.00	36.69	40.44	36.05	68.92
22.00	36.69	40.44	36.05	70.87
23.00	36.69	40.44	36.05	66.47
24.00	36.69	40.44	36.05	55.23

<b>TR-19</b>				
<b>Waktu</b>	<b>R</b>	<b>S</b>	<b>T</b>	<b>Suhu</b>
	<b>(A)</b>	<b>(A)</b>	<b>(A)</b>	<b>(°C)</b>
01.00	87.72	141.04	59.11	56.16
02.00	87.72	141.04	59.11	56.16
03.00	87.72	141.04	59.11	56.16
04.00	87.72	141.04	59.11	56.16
05.00	87.72	141.04	59.11	56.16
06.00	87.72	141.04	59.11	56.16
07.00	87.72	141.04	59.11	41.31
08.00	87.72	141.04	59.11	41.31
09.00	87.72	141.04	59.11	41.31
10.00	87.72	141.04	59.11	41.31
11.00	87.72	141.04	59.11	41.31
12.00	87.72	141.04	59.11	41.31
13.00	57.88	93.07	39.01	47.63
14.00	57.88	93.07	39.01	47.63
15.00	57.88	93.07	39.01	47.63
16.00	57.88	93.07	39.01	47.63
17.00	57.88	93.07	39.01	47.63
18.00	57.88	93.07	39.01	47.63
19.00	146.80	236.03	98.92	73.06
20.00	148.59	238.91	100.13	73.57
21.00	139.64	224.51	94.10	71.01
22.00	146.80	236.03	98.92	73.06
23.00	130.69	210.12	88.06	68.45
24.00	89.51	143.92	60.32	56.67

<b>TR-20</b>				
<b>Waktu</b>	<b>R</b>	<b>S</b>	<b>T</b>	<b>Suhu</b>
	<b>(A)</b>	<b>(A)</b>	<b>(A)</b>	<b>(°C)</b>
01.00	87.72	141.04	59.11	58.44
02.00	87.72	141.04	59.11	58.44
03.00	87.72	141.04	59.11	58.44
04.00	87.72	141.04	59.11	58.44
05.00	87.72	141.04	59.11	58.44
06.00	87.72	141.04	59.11	58.44
07.00	87.72	141.04	59.11	42.52
08.00	87.72	141.04	59.11	42.52
09.00	87.72	141.04	59.11	42.52
10.00	87.72	141.04	59.11	42.52
11.00	87.72	141.04	59.11	42.52
12.00	87.72	141.04	59.11	42.52
13.00	57.88	93.07	39.01	42.52
14.00	57.88	93.07	39.01	42.52
15.00	57.88	93.07	39.01	42.52
16.00	57.88	93.07	39.01	46.92
17.00	57.88	93.07	39.01	46.92
18.00	57.88	93.07	39.01	74.36
19.00	146.80	236.03	98.92	76.56
20.00	148.59	238.91	100.13	77.11
21.00	139.64	224.51	94.10	74.36
22.00	146.80	236.03	98.92	76.56
23.00	130.69	210.12	88.06	71.62
24.00	89.51	143.92	60.32	58.99

<b>TR-21</b>				
<b>Waktu</b>	<b>R</b>	<b>S</b>	<b>T</b>	<b>Suhu</b>
	<b>(A)</b>	<b>(A)</b>	<b>(A)</b>	<b>(°C)</b>
01.00	116.99	71.94	115.10	63.95
02.00	116.99	71.94	115.10	63.95
03.00	116.99	71.94	115.10	63.95
04.00	116.99	71.94	115.10	63.95
05.00	116.99	71.94	115.10	63.95
06.00	116.99	71.94	115.10	49.66
07.00	47.75	29.36	46.98	46.08
08.00	47.75	29.36	46.98	46.08
09.00	47.75	29.36	46.98	46.08
10.00	47.75	29.36	46.98	46.08
11.00	47.75	29.36	46.98	46.08
12.00	47.75	29.36	46.98	46.08
13.00	47.75	29.36	46.98	46.08
14.00	47.75	29.36	46.98	46.08
15.00	47.75	29.36	46.98	46.08
16.00	66.85	41.11	65.77	50.99
17.00	66.85	41.11	65.77	66.31
18.00	186.23	114.52	183.22	66.31
19.00	195.78	120.40	192.62	84.09
20.00	174.29	107.18	171.48	84.7
21.00	186.23	114.52	183.22	81.64
22.00	195.78	120.40	192.62	84.09
23.00	198.17	121.86	194.97	78.57
24.00	119.38	73.41	117.45	63.95

<b>TR-22</b>				
<b>Waktu</b>	<b>R</b>	<b>S</b>	<b>T</b>	<b>Suhu</b>
	<b>(A)</b>	<b>(A)</b>	<b>(A)</b>	<b>(°C)</b>
01.00	207.39	55.83	54.28	65.44
02.00	207.39	55.83	54.28	69.19
03.00	207.39	55.83	54.28	69.19
04.00	207.39	55.83	54.28	69.19
05.00	207.39	55.83	54.28	69.19
06.00	109.00	29.34	28.53	46.72
07.00	84.40	22.72	22.09	46.72
08.00	84.40	22.72	22.09	46.72
09.00	84.40	22.72	22.09	46.72
10.00	84.40	22.72	22.09	46.72
11.00	84.40	22.72	22.09	46.72
12.00	84.40	22.72	22.09	46.72
13.00	84.40	22.72	22.09	46.72
14.00	84.40	22.72	22.09	46.72
15.00	84.40	22.72	22.09	46.72
16.00	118.16	31.81	30.93	51.71
17.00	223.67	60.21	58.54	67.32
18.00	223.67	60.21	58.54	67.32
19.00	346.05	93.16	90.58	85.42
20.00	350.27	94.29	91.68	86.04
21.00	329.17	88.61	86.16	82.92
22.00	346.05	93.16	90.58	85.42
23.00	308.07	82.93	80.64	72.62
24.00	207.39	55.83	54.28	72.62

<b>TR-23</b>				
<b>Waktu</b>	<b>R</b>	<b>S</b>	<b>T</b>	<b>Suhu</b>
	<b>(A)</b>	<b>(A)</b>	<b>(A)</b>	<b>(°C)</b>
01.00	121.42	114.35	89.24	67.13
02.00	136.00	128.07	99.94	71.16
03.00	136.00	128.07	99.94	71.16
04.00	136.00	128.07	99.94	71.16
05.00	136.00	128.07	99.94	71.16
06.00	48.57	45.74	35.69	46.98
07.00	48.57	45.74	35.69	46.98
08.00	48.57	45.74	35.69	46.98
09.00	48.57	45.74	35.69	46.98
10.00	48.57	45.74	35.69	46.98
11.00	48.57	45.74	35.69	47.88
12.00	48.57	45.74	35.69	47.88
13.00	48.57	45.74	35.69	47.88
14.00	48.57	45.74	35.69	47.88
15.00	48.57	45.74	35.69	47.88
16.00	68.00	64.03	49.97	47.88
17.00	128.71	121.21	94.59	79.05
18.00	128.71	121.21	94.59	79.05
19.00	199.14	187.53	146.35	79.05
20.00	201.57	189.81	148.13	79.05
21.00	189.42	178.38	139.21	85.94
22.00	199.14	187.53	146.35	88.62
23.00	149.35	140.65	109.76	82.58
24.00	149.35	140.65	109.76	67.13

<b>TR-24</b>				
<b>Waktu</b>	<b>R</b>	<b>S</b>	<b>T</b>	<b>Suhu</b>
	<b>(A)</b>	<b>(A)</b>	<b>(A)</b>	<b>(°C)</b>
01.00	114.6	124.5	117.9	69.65
02.00	128.4	139.4	132.0	73.89
03.00	128.4	139.4	132.0	73.89
04.00	128.4	139.4	132.0	73.89
05.00	128.4	139.4	132.0	51.01
06.00	45.8	49.8	47.2	51.01
07.00	45.8	49.8	47.2	51.01
08.00	45.8	49.8	47.2	51.01
09.00	45.8	49.8	47.2	51.01
10.00	45.8	49.8	47.2	51.01
11.00	48.9	53.1	50.3	51.01
12.00	48.9	53.1	50.3	51.01
13.00	48.9	53.1	50.3	51.01
14.00	48.9	53.1	50.3	51.01
15.00	48.9	53.1	50.3	51.01
16.00	48.9	53.1	50.3	71.71
17.00	155.3	168.6	159.7	71.71
18.00	155.3	168.6	159.7	71.71
19.00	155.3	168.6	159.7	71.71
20.00	155.3	168.6	159.7	92.99
21.00	178.8	194.1	183.9	89.46
22.00	187.9	204.1	193.3	92.29
23.00	167.3	181.7	172.1	85.92
24.00	114.6	124.5	117.9	69.65

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## LAMPIRAN 2

Waktu	Label Transformator								
	TR-10	TR-11	TR-12	TR-13	TR-14	TR-15	TR-16	TR-17	TR-18
01.00	0.3793	0.401	0.4166	0.5693	0.5018	0.498	0.5351	0.0731	0.2821
02.00	0.3793	0.4104	0.4264	0.6376	0.562	0.498	0.5993	0.0731	0.2821
03.00	0.3793	0.4198	0.4361	0.6376	0.562	0.498	0.5993	0.0731	0.2821
04.00	0.3793	0.4292	0.4459	0.6376	0.562	0.498	0.5993	0.0731	0.3933
05.00	0.3793	0.4386	0.1249	0.6376	0.562	0.498	0.5993	0.0731	0.3933
06.00	0.1699	0.1537	0.1367	0.2277	0.2007	0.498	0.214	0.0731	0.3933
07.00	0.1699	0.1537	0.1485	0.2277	0.2007	0.2027	0.107	0.0731	0.6821
08.00	0.1699	0.1537	0.1603	0.2277	0.2007	0.2027	0.107	0.1828	0.6821
09.00	0.1699	0.1537	0.172	0.2277	0.2007	0.2027	0.107	0.1828	0.6821
10.00	0.1699	0.1537	0.1838	0.2277	0.2007	0.2027	0.107	0.2231	0.6821
11.00	0.1699	0.1537	0.1956	0.2277	0.2007	0.2027	0.214	0.2633	0.8619
12.00	0.1699	0.1537	0.2074	0.2277	0.2007	0.2027	0.214	0.3035	0.8619
13.00	0.1699	0.1537	0.2192	0.2277	0.2007	0.2027	0.214	0.2807	0.8619
14.00	0.1699	0.1537	0.231	0.2277	0.2007	0.2027	0.214	0.2697	0.8619
15.00	0.1699	0.1537	0.2427	0.2277	0.1577	0.2027	0.214	0.2587	0.8619
16.00	0.2124	0.2152	0.2236	0.3188	0.3101	0.2837	0.2996	0.2477	0.8619
17.00	0.2124	0.2152	0.2545	0.3188	0.4626	0.2837	0.2996	0.2487	0.8619
18.00	0.5918	0.604	0.6229	0.8312	0.615	0.8309	0.8347	0.2377	0.8619
19.00	0.6221	0.6118	0.6229	0.8881	0.8229	0.8411	0.8775	0.2267	0.2489
20.00	0.6297	0.6195	0.6549	0.8881	0.8329	0.7904	0.8882	0.1024	0.2489
21.00	0.5918	0.6273	0.6629	0.9336	0.7827	0.7904	0.8347	0.1024	0.2489
22.00	0.6221	0.635	0.6549	0.9336	0.8229	0.8309	0.8775	0.0731	0.2489
23.00	0.5538	0.5611	0.583	0.945	0.7326	0.7397	0.7812	0.0731	0.2489
24.00	0.3793	0.3916	0.4069	0.5693	0.5018	0.498	0.5351	0.0731	0.2489

Waktu	Label Transformator					
	TR-19	TR-20	TR-21	TR-22	TR-23	TR-24
01.00	0.6332	0.6687	0.6983	0.7148	0.7851	0.8096
02.00	0.6332	0.6687	0.6983	0.8006	0.8793	0.9067
03.00	0.6332	0.6687	0.6983	0.8006	0.8793	0.9067
04.00	0.6332	0.6687	0.6983	0.8006	0.8793	0.9067
05.00	0.6332	0.6687	0.6983	0.8006	0.8793	0.3832
06.00	0.6332	0.6687	0.367	0.2859	0.314	0.3832
07.00	0.2584	0.2729	0.2842	0.2859	0.314	0.3832
08.00	0.2584	0.2729	0.2842	0.2859	0.314	0.3832
09.00	0.2584	0.2729	0.2842	0.2859	0.314	0.3832
10.00	0.2584	0.2729	0.2842	0.2859	0.314	0.3832
11.00	0.2584	0.2729	0.2842	0.2859	0.335	0.3832
12.00	0.2584	0.2729	0.2842	0.2859	0.335	0.3832
13.00	0.4178	0.2729	0.2842	0.2859	0.335	0.3832
14.00	0.4178	0.2729	0.2842	0.2859	0.335	0.3832
15.00	0.4178	0.2729	0.2842	0.2859	0.335	0.3832
16.00	0.4178	0.3821	0.3979	0.4003	0.335	0.8568
17.00	0.4178	0.3821	0.7531	0.7577	1.0638	0.8568
18.00	0.4178	1.0645	0.7531	0.7577	1.0638	0.8568
19.00	1.0596	1.1191	1.1652	1.1723	1.0638	0.8568
20.00	1.0725	0.9962	1.1794	1.1866	1.0638	1.0439
21.00	1.0079	1.0645	1.1084	1.1151	1.2247	1.063

<b>Waktu</b>	<b>Label Transformator</b>					
	<b>TR-19</b>	<b>TR-20</b>	<b>TR-21</b>	<b>TR-22</b>	<b>TR-23</b>	<b>TR-24</b>
22.00	1.0596	1.1191	1.1652	1.1723	1.2875	1.0277
23.00	0.9433	1.1327	1.0373	0.8792	1.1462	1.002
24.00	0.6461	0.6824	0.6983	0.8792	0.7851	0.8096



### LAMPIRAN 3

TR 3							
Waktu	Pembebanan	$\theta_o$	$\Delta\theta_h$	$\theta_h$	$V$	$L$	Sisa Umur (tahun)
01.00	0.043	13.21	0.15	13.36	5.66986E-05		
02.00	0.043	13.21	0.15	13.36	5.66986E-05		
03.00	0.043	13.21	0.15	13.36	5.66986E-05		
04.00	0.043	13.21	0.15	13.36	5.66986E-05		
05.00	0.043	13.21	0.15	13.36	5.66986E-05		
06.00	0.043	13.21	0.15	13.36	5.66986E-05		
07.00	0.043	13.21	0.15	13.36	5.66986E-05		
08.00	0.060	13.31	0.25	13.56	5.80115E-05		
09.00	0.060	13.31	0.25	13.56	5.80115E-05		
10.00	0.149	14.26	1.09	15.35	7.13516E-05		
11.00	0.149	14.26	1.09	15.35	7.13516E-05		
12.00	0.149	14.26	1.09	15.35	7.13516E-05	0.0015	25.99
13.00	0.149	14.26	1.09	15.35	7.13516E-05		
14.00	0.149	14.26	1.09	15.35	7.13516E-05		
15.00	0.156	14.38	1.18	15.56	7.31236E-05		
16.00	0.167	14.56	1.31	15.87	7.57823E-05		
17.00	0.167	14.56	1.31	15.87	7.57823E-05		
18.00	0.120	13.87	0.77	14.64	6.57069E-05		
19.00	0.120	13.87	0.77	14.64	6.57069E-05		
20.00	0.120	13.87	0.77	14.64	6.57069E-05		
21.00	0.120	13.87	0.77	14.64	6.57069E-05		
22.00	0.043	13.21	0.15	13.36	5.66986E-05		
23.00	0.043	13.21	0.15	13.36	5.66986E-05		
24.00	0.043	13.21	0.15	13.36	5.66986E-05		

TR 4							
Waktu	Pembebanan	$\theta_o$	$\Delta\theta_h$	$\theta_h$	$V$	$L$	Sisa Umur (tahun)
01.00	0.754	38.522	14.647	53.169	0.005632899		
02.00	0.754	38.522	14.647	53.169	0.005632899		
03.00	0.754	38.522	14.647	53.169	0.005632899		
04.00	0.754	38.522	14.647	53.169	0.005632899		
05.00	0.754	38.522	14.647	53.169	0.005632899		
06.00	0.754	38.522	14.647	53.169	0.005632899		
07.00	0.754	38.522	14.647	53.169	0.005632899		
08.00	0.336	18.774	4.022	22.796	0.000168612		
09.00	0.336	18.774	4.022	22.796	0.000168612	1.2	22.79
10.00	0.336	18.774	4.022	22.796	0.000168612		
11.00	0.336	18.774	4.022	22.796	0.000168612		
12.00	0.336	18.774	4.022	22.796	0.000168612		
13.00	0.336	18.774	4.022	22.796	0.000168612		
14.00	0.336	18.774	4.022	22.796	0.000168612		
15.00	1.012	55.900	23.451	79.351	0.115975275		
16.00	1.012	55.900	23.451	79.351	0.115975275		
17.00	1.012	55.900	23.451	79.351	0.115975275		
18.00	1.012	55.900	23.451	79.351	0.115975275		

TR 4							
Waktu	Pembebanan	$\theta_o$	$\Delta\theta_h$	$\theta_h$	$V$	$L$	Sisa Umur (tahun)
19.00	1.012	55.900	23.451	79.351	0.115975275		
20.00	1.012	55.900	23.451	79.351	0.115975275		
21.00	1.012	55.900	23.451	79.351	0.115975275		
22.00	1.012	55.900	23.451	79.351	0.115975275		
23.00	1.012	55.900	23.451	79.351	0.115975275		
24.00	1.012	55.900	23.451	79.351	0.115975275		

TR-5							
Waktu	Pembebanan	$\theta_o$	$\Delta\theta_h$	$\theta_h$	$V$	$L$	Sisa Umur (tahun)
01.00	0.051	13.256	0.200	13.455	5.7314E-05		
02.00	0.051	13.256	0.200	13.455	5.7314E-05		
03.00	0.051	13.256	0.200	13.455	5.7314E-05		
04.00	0.051	13.256	0.200	13.455	5.7314E-05		
05.00	0.051	13.256	0.200	13.455	5.7314E-05		
06.00	0.051	13.256	0.200	13.455	5.7314E-05		
07.00	0.051	13.256	0.200	13.455	5.7314E-05		
08.00	0.129	13.978	0.864	14.843	6.72773E-05		
09.00	0.129	13.978	0.864	14.843	6.72773E-05		
10.00	0.144	14.195	1.036	15.232	7.03681E-05		
11.00	0.144	14.195	1.036	15.232	7.03681E-05		
12.00	0.144	14.195	1.036	15.232	7.03681E-05		
13.00	0.144	14.195	1.036	15.232	7.03681E-05	0.0016	24.99
14.00	0.188	14.937	1.584	16.521	8.16708E-05		
15.00	0.188	14.937	1.584	16.521	8.16708E-05		
16.00	0.188	14.937	1.584	16.521	8.16708E-05		
17.00	0.188	14.937	1.584	16.521	8.16708E-05		
18.00	0.188	14.937	1.584	16.521	8.16708E-05		
19.00	0.188	14.937	1.584	16.521	8.16708E-05		
20.00	0.092	13.556	0.502	14.058	6.1442E-05		
21.00	0.092	13.556	0.502	14.058	6.1442E-05		
22.00	0.092	13.556	0.502	14.058	6.1442E-05		
23.00	0.071	13.381	0.334	13.715	5.90594E-05		
24.00	0.051	13.256	0.200	13.455	5.7314E-05		

TR 6							
Waktu	Pembebanan	$\theta_o$	$\Delta\theta_h$	$\theta_h$	$V$	$L$	Sisa Umur (tahun)
01.00	0.169	14.589	1.333	15.922	7.62099E-05		
02.00	0.084	13.489	0.440	13.929	6.05338E-05		
03.00	0.062	13.321	0.272	13.594	5.82353E-05		
04.00	0.062	13.321	0.272	13.594	5.82353E-05		
05.00	0.062	13.321	0.272	13.594	5.82353E-05	0.0017	24.99
06.00	0.062	13.321	0.272	13.594	5.82353E-05		
07.00	0.062	13.321	0.272	13.594	5.82353E-05		
08.00	0.062	13.321	0.272	13.594	5.82353E-05		
09.00	0.062	13.321	0.272	13.594	5.82353E-05		

TR 6							
Waktu	Pembebanan	$\theta_o$	$\Delta\theta_h$	$\theta_h$	$V$	$L$	Sisa Umur (tahun)
10.00	0.062	13.321	0.272	13.594	5.82353E-05		
11.00	0.062	13.321	0.272	13.594	5.82353E-05		
12.00	0.062	13.321	0.272	13.594	5.82353E-05		
13.00	0.087	13.517	0.466	13.983	6.09146E-05		
14.00	0.244	16.147	2.401	18.548	0.000103218		
15.00	0.244	16.147	2.401	18.548	0.000103218		
16.00	0.256	16.457	2.601	19.058	0.000109483		
17.00	0.259	16.537	2.652	19.189	0.000111148		
18.00	0.256	16.457	2.601	19.058	0.000109483		
19.00	0.228	15.779	2.159	17.939	9.62027E-05		
20.00	0.172	14.643	1.373	16.016	7.7042E-05		
21.00	0.169	14.589	1.333	15.922	7.62099E-05		
22.00	0.084	13.489	0.440	13.929	6.05338E-05		
23.00	0.062	13.321	0.272	13.594	5.82353E-05		
24.00	0.062	13.321	0.272	13.594	5.82353E-05		

TR 7							
Waktu	Pembebanan	$\theta_o$	$\Delta\theta_h$	$\theta_h$	$V$	$L$	Sisa Umur (tahun)
01.00	0.813	42.140	16.499	58.639	0.01060		
02.00	0.729	37.010	13.869	50.879	0.00432		
03.00	0.729	37.010	13.869	50.879	0.00432		
04.00	0.729	37.010	13.869	50.879	0.00432		
05.00	0.729	37.010	13.869	50.879	0.00432		
06.00	0.729	37.010	13.869	50.879	0.00432		
07.00	0.729	37.010	13.869	50.879	0.00432		
08.00	0.383	20.359	4.947	25.306	0.00023		
09.00	0.335	18.728	3.995	22.723	0.00017		
10.00	0.335	18.728	3.995	22.723	0.00017		
11.00	0.335	18.728	3.995	22.723	0.00017		
12.00	0.335	18.728	3.995	22.723	0.00017	1.6056	21.46
13.00	0.335	18.728	3.995	22.723	0.00017		
14.00	0.335	18.728	3.995	22.723	0.00017		
15.00	0.335	18.728	3.995	22.723	0.00017		
16.00	0.335	18.728	3.995	22.723	0.00017		
17.00	1.053	58.964	24.986	83.949	0.19726		
18.00	1.053	58.964	24.986	83.949	0.19726		
19.00	1.053	58.964	24.986	83.949	0.19726		
20.00	1.053	58.964	24.986	83.949	0.19726		
21.00	1.053	58.964	24.986	83.949	0.19726		
22.00	1.053	58.964	24.986	83.949	0.19726		
23.00	1.053	58.964	24.986	83.949	0.19726		
24.00	1.053	58.964	24.986	83.949	0.19726		

TR 8							
Waktu	Pembebanan	$\theta_o$	$\Delta\theta_h$	$\theta_h$	$V$	$L$	Sisa Umur (tahun)
01.00	0.169	14.589	1.333	15.922	7.62099E-05		
02.00	0.084	13.489	0.440	13.929	6.05338E-05		
03.00	0.062	13.321	0.272	13.594	5.82353E-05		
04.00	0.062	13.321	0.272	13.594	5.82353E-05		
05.00	0.062	13.321	0.272	13.594	5.82353E-05		
06.00	0.062	13.321	0.272	13.594	5.82353E-05		
07.00	0.062	13.321	0.272	13.594	5.82353E-05		
08.00	0.062	13.321	0.272	13.594	5.82353E-05		
09.00	0.062	13.321	0.272	13.594	5.82353E-05		
10.00	0.062	13.321	0.272	13.594	5.82353E-05		
11.00	0.062	13.321	0.272	13.594	5.82353E-05		
12.00	0.062	13.321	0.272	13.594	5.82353E-05		
13.00	0.087	13.517	0.466	13.983	6.09146E-05	0.0017	24.99
14.00	0.244	16.147	2.401	18.548	0.000103218		
15.00	0.244	16.147	2.401	18.548	0.000103218		
16.00	0.256	16.457	2.601	19.058	0.000109483		
17.00	0.259	16.537	2.652	19.189	0.000111148		
18.00	0.256	16.457	2.601	19.058	0.000109483		
19.00	0.228	15.779	2.159	17.939	9.62027E-05		
20.00	0.172	14.643	1.373	16.016	7.7042E-05		
21.00	0.169	14.589	1.333	15.922	7.62099E-05		
22.00	0.084	13.489	0.440	13.929	6.05338E-05		
23.00	0.062	13.321	0.272	13.594	5.82353E-05		
24.00	0.062	13.321	0.272	13.594	5.82353E-05		

TR 9							
Waktu	Pembebanan	$\theta_o$	$\Delta\theta_h$	$\theta_h$	$V$	$L$	Sisa Umur (tahun)
01.00	0.146	14.218	1.054	15.273	7.07011E-05		
02.00	0.146	14.218	1.054	15.273	7.07011E-05		
03.00	0.146	14.218	1.054	15.273	7.07011E-05		
04.00	0.146	14.218	1.054	15.273	7.07011E-05		
05.00	0.146	14.218	1.054	15.273	7.07011E-05		
06.00	0.146	14.218	1.054	15.273	7.07011E-05		
07.00	0.146	14.218	1.054	15.273	7.07011E-05		
08.00	0.364	19.701	4.566	24.267	0.000199847		
09.00	0.364	19.701	4.566	24.267	0.000199847		
10.00	0.408	21.283	5.474	26.757	0.000266463		
11.00	0.408	21.283	5.474	26.757	0.000266463	0.0085	4.99
12.00	0.408	21.283	5.474	26.757	0.000266463		
13.00	0.408	21.283	5.474	26.757	0.000266463		
14.00	0.532	26.535	8.366	34.901	0.000682697		
15.00	0.568	28.281	9.302	37.583	0.000930683		
16.00	0.568	28.281	9.302	37.583	0.000930683		
17.00	0.597	29.741	10.077	39.818	0.001204809		
18.00	0.597	29.741	10.077	39.818	0.001204809		
19.00	0.604	30.115	10.274	40.389	0.001286928		
20.00	0.204	15.256	1.806	17.062	8.69351E-05		
21.00	0.204	15.256	1.806	17.062	8.69351E-05		

TR 9							
Waktu	Pembebanan	$\theta_o$	$\Delta\theta_h$	$\theta_h$	$V$	$L$	Sisa Umur (tahun)
22.00	0.146	14.218	1.054	15.273	7.07011E-05		
23.00	0.146	14.218	1.054	15.273	7.07011E-05		
24.00	0.146	14.218	1.054	15.273	7.07011E-05		

TR 10							
Waktu	Pembebanan	$\theta_o$	$\Delta\theta_h$	$\theta_h$	$V$	$L$	Sisa Umur (tahun)
01.00	0.379	20.238	4.877	25.115	0.000220414		
02.00	0.379	20.238	4.877	25.115	0.000220414		
03.00	0.379	20.238	4.877	25.115	0.000220414		
04.00	0.379	20.238	4.877	25.115	0.000220414		
05.00	0.379	20.238	4.877	25.115	0.000220414		
06.00	0.170	14.612	1.350	15.962	7.65584E-05		
07.00	0.170	14.612	1.350	15.962	7.65584E-05		
08.00	0.170	14.612	1.350	15.962	7.65584E-05		
09.00	0.170	14.612	1.350	15.962	7.65584E-05		
10.00	0.170	14.612	1.350	15.962	7.65584E-05		
11.00	0.170	14.612	1.350	15.962	7.65584E-05		
12.00	0.170	14.612	1.350	15.962	7.65584E-05		
13.00	0.170	14.612	1.350	15.962	7.65584E-05	0.01	24.98
14.00	0.170	14.612	1.350	15.962	7.65584E-05		
15.00	0.170	14.612	1.350	15.962	7.65584E-05		
16.00	0.212	15.436	1.929	17.365	9.00301E-05		
17.00	0.212	15.436	1.929	17.365	9.00301E-05		
18.00	0.592	29.473	9.935	39.409	0.001149132		
19.00	0.622	31.042	10.763	41.805	0.0015156		
20.00	0.630	31.443	10.974	42.417	0.001626614		
21.00	0.592	29.473	9.935	39.409	0.001149132		
22.00	0.622	31.042	10.763	41.805	0.0015156		
23.00	0.554	27.596	8.936	36.532	0.000824205		
24.00	0.379	20.238	4.877	25.115	0.000220414		

TR 11							
Waktu	Pembebanan	$\theta_o$	$\Delta\theta_h$	$\theta_h$	$V$	$L$	Sisa Umur (tahun)
01.00	0.401	21.028	5.330	26.358	0.000254452		
02.00	0.410	21.383	5.531	26.914	0.000271334		
03.00	0.420	21.745	5.735	27.480	0.000289653		
04.00	0.429	22.113	5.942	28.055	0.000309545		
05.00	0.439	22.488	6.151	28.639	0.000331159		
06.00	0.154	14.343	1.150	15.493	7.25224E-05		
07.00	0.154	14.343	1.150	15.493	7.25224E-05	0.0109	25.98
08.00	0.154	14.343	1.150	15.493	7.25224E-05		
09.00	0.154	14.343	1.150	15.493	7.25224E-05		
10.00	0.154	14.343	1.150	15.493	7.25224E-05		
11.00	0.154	14.343	1.150	15.493	7.25224E-05		
12.00	0.154	14.343	1.150	15.493	7.25224E-05		

TR 11							
Waktu	Pembebanan	$\theta_o$	$\Delta\theta_h$	$\theta_h$	$V$	$L$	Sisa Umur (tahun)
13.00	0.154	14.343	1.150	15.493	7.25224E-05		
14.00	0.154	14.343	1.150	15.493	7.25224E-05		
15.00	0.154	14.343	1.150	15.493	7.25224E-05		
16.00	0.215	15.496	1.969	17.465	9.10832E-05		
17.00	0.215	15.496	1.969	17.465	9.10832E-05		
18.00	0.604	30.100	10.267	40.367	0.001283627		
19.00	0.612	30.501	10.478	40.979	0.001377684		
20.00	0.620	30.905	10.691	41.596	0.001479553		
21.00	0.627	31.314	10.906	42.219	0.001589935		
22.00	0.635	31.725	11.122	42.847	0.001709603		
23.00	0.561	27.948	9.124	37.072	0.000877336		
24.00	0.392	20.680	5.131	25.812	0.000238885		

TR 12							
Waktu	Pembebanan	$\theta_o$	$\Delta\theta_h$	$\theta_h$	$V$	$L$	Sisa Umur (tahun)
01.00	0.417	21.623	5.666	27.289	0.000283354		
02.00	0.426	22.003	5.880	27.884	0.000303491		
03.00	0.436	22.391	6.097	28.488	0.000325439		
04.00	0.446	22.785	6.317	29.102	0.000349376		
05.00	0.125	13.930	0.825	14.754	6.65918E-05		
06.00	0.137	14.089	0.953	15.041	6.8837E-05		
07.00	0.148	14.262	1.087	15.349	7.13277E-05		
08.00	0.160	14.448	1.229	15.677	7.40819E-05		
09.00	0.172	14.648	1.376	16.025	7.712E-05		
10.00	0.184	14.862	1.530	16.392	8.0465E-05		
11.00	0.196	15.089	1.690	16.779	8.4143E-05		
12.00	0.207	15.329	1.856	17.185	8.81829E-05	0.0131	24.98
13.00	0.219	15.582	2.028	17.610	9.26175E-05		
14.00	0.231	15.848	2.205	18.053	9.74833E-05		
15.00	0.243	16.127	2.388	18.515	0.000102821		
16.00	0.224	15.681	2.094	17.775	9.44005E-05		
17.00	0.255	16.418	2.576	18.994	0.000108677		
18.00	0.623	31.085	10.785	41.870	0.001527142		
19.00	0.623	31.085	10.785	41.870	0.001527142		
20.00	0.655	32.799	11.684	44.483	0.002065291		
21.00	0.663	33.238	11.913	45.151	0.002230774		
22.00	0.655	32.799	11.684	44.483	0.002065291		
23.00	0.583	29.031	9.701	38.732	0.001062722		
24.00	0.407	21.250	5.455	26.705	0.000264863		

TR 13							
Waktu	Pembebanan	$\theta_o$	$\Delta\theta_h$	$\theta_h$	$V$	$L$	Sisa Umur (tahun)
01.00	0.569	28.350	9.338	37.688	0.000941983		
02.00	0.638	31.865	11.195	43.060	0.001752039		
03.00	0.638	31.865	11.195	43.060	0.001752039		
04.00	0.638	31.865	11.195	43.060	0.001752039		
05.00	0.638	31.865	11.195	43.060	0.001752039		
06.00	0.228	15.774	2.156	17.929	9.61011E-05		
07.00	0.228	15.774	2.156	17.929	9.61011E-05		
08.00	0.228	15.774	2.156	17.929	9.61011E-05		
09.00	0.228	15.774	2.156	17.929	9.61011E-05		
10.00	0.228	15.774	2.156	17.929	9.61011E-05		
11.00	0.228	15.774	2.156	17.929	9.61011E-05		
12.00	0.228	15.774	2.156	17.929	9.61011E-05	0.210	22.79
13.00	0.228	15.774	2.156	17.929	9.61011E-05		
14.00	0.228	15.774	2.156	17.929	9.61011E-05		
15.00	0.228	15.774	2.156	17.929	9.61011E-05		
16.00	0.319	18.222	3.693	21.915	0.000152301		
17.00	0.319	18.222	3.693	21.915	0.000152301		
18.00	0.831	43.337	17.109	60.446	0.013057913		
19.00	0.888	47.106	19.022	66.129	0.025174477		
20.00	0.888	47.106	19.022	66.129	0.025174477		
21.00	0.934	50.243	20.607	70.850	0.043434729		
22.00	0.934	50.243	20.607	70.850	0.043434729		
23.00	0.945	51.043	21.011	72.054	0.049917773		
24.00	0.569	28.350	9.338	37.688	0.000941983		

TR 14							
Waktu	Pembebanan	$\theta_o$	$\Delta\theta_h$	$\theta_h$	$V$	$L$	Sisa Umur (tahun)
01.00	0.502	25.173	7.630	32.803	0.000535739		
02.00	0.562	27.990	9.147	37.136	0.000883845		
03.00	0.562	27.990	9.147	37.136	0.000883845		
04.00	0.562	27.990	9.147	37.136	0.000883845		
05.00	0.562	27.990	9.147	37.136	0.000883845		
06.00	0.201	15.191	1.761	16.952	8.58433E-05		
07.00	0.201	15.191	1.761	16.952	8.58433E-05		
08.00	0.201	15.191	1.761	16.952	8.58433E-05		
09.00	0.201	15.191	1.761	16.952	8.58433E-05		
10.00	0.201	15.191	1.761	16.952	8.58433E-05		
11.00	0.201	15.191	1.761	16.952	8.58433E-05	0.056	22.94
12.00	0.201	15.191	1.761	16.952	8.58433E-05		
13.00	0.201	15.191	1.761	16.952	8.58433E-05		
14.00	0.201	15.191	1.761	16.952	8.58433E-05		
15.00	0.158	14.406	1.197	15.604	7.34593E-05		
16.00	0.310	17.958	3.533	21.492	0.000145025		
17.00	0.463	23.474	6.699	30.173	0.000395368		
18.00	0.615	30.669	10.566	41.235	0.001419069		
19.00	0.823	42.802	16.837	59.639	0.011894487		
20.00	0.833	43.449	17.166	60.616	0.013315927		
21.00	0.783	40.267	15.542	55.809	0.007641859		

TR 14							
Waktu	Pembebanan	$\theta_o$	$\Delta\theta_h$	$\theta_h$	$V$	$L$	Sisa Umur (tahun)
22.00	0.823	42.802	16.837	59.639	0.011894487		
23.00	0.733	37.224	13.979	51.203	0.004488478		
24.00	0.502	25.173	7.630	32.803	0.000535739		

TR 15							
Waktu	Pembebanan	$\theta_o$	$\Delta\theta_h$	$\theta_h$	$V$	$L$	Sisa Umur (tahun)
01.00	0.498	25.005	7.538	32.544	0.000519926		
02.00	0.498	25.005	7.538	32.544	0.000519926		
03.00	0.498	25.005	7.538	32.544	0.000519926		
04.00	0.498	25.005	7.538	32.544	0.000519926		
05.00	0.498	25.005	7.538	32.544	0.000519926		
06.00	0.498	25.005	7.538	32.544	0.000519926		
07.00	0.203	15.231	1.789	17.020	8.65189E-05		
08.00	0.203	15.231	1.789	17.020	8.65189E-05		
09.00	0.203	15.231	1.789	17.020	8.65189E-05		
10.00	0.203	15.231	1.789	17.020	8.65189E-05		
11.00	0.203	15.231	1.789	17.020	8.65189E-05		
12.00	0.203	15.231	1.789	17.020	8.65189E-05	0.066	23.93
13.00	0.203	15.231	1.789	17.020	8.65189E-05		
14.00	0.203	15.231	1.789	17.020	8.65189E-05		
15.00	0.203	15.231	1.789	17.020	8.65189E-05		
16.00	0.284	17.194	3.065	20.258	0.00012577		
17.00	0.284	17.194	3.065	20.258	0.00012577		
18.00	0.831	43.322	17.102	60.424	0.01302382		
19.00	0.841	43.980	17.437	61.417	0.014607115		
20.00	0.790	40.745	15.787	56.531	0.008307098		
21.00	0.790	40.745	15.787	56.531	0.008307098		
22.00	0.831	43.322	17.102	60.424	0.01302382		
23.00	0.740	37.651	14.199	51.850	0.00483679		
24.00	0.498	25.005	7.538	32.544	0.000519926		

TR 16							
Waktu	Pembebanan	$\theta_o$	$\Delta\theta_h$	$\theta_h$	$V$	$L$	Sisa Umur (tahun)
01.00	0.535	26.702	8.456	35.158	0.00070323		
02.00	0.599	29.856	10.137	39.993	0.001229382		
03.00	0.599	29.856	10.137	39.993	0.001229382		
04.00	0.599	29.856	10.137	39.993	0.001229382		
05.00	0.599	29.856	10.137	39.993	0.001229382		
06.00	0.214	15.470	1.952	17.422	9.06296E-05		
07.00	0.107	13.715	0.644	14.359	6.36169E-05	0.111	23.88
08.00	0.107	13.715	0.644	14.359	6.36169E-05		
09.00	0.107	13.715	0.644	14.359	6.36169E-05		
10.00	0.107	13.715	0.644	14.359	6.36169E-05		
11.00	0.214	15.470	1.952	17.422	9.06296E-05		
12.00	0.214	15.470	1.952	17.422	9.06296E-05		



13.00	0.214	15.470	1.952	17.422	9.06296E-05
14.00	0.214	15.470	1.952	17.422	9.06296E-05
15.00	0.214	15.470	1.952	17.422	9.06296E-05
16.00	0.300	17.647	3.344	20.991	0.00013688
17.00	0.300	17.647	3.344	20.991	0.00013688
18.00	0.835	43.566	17.226	60.791	0.013588566
19.00	0.878	46.392	18.661	65.052	0.022230784
20.00	0.888	47.113	19.026	66.139	0.025205237
21.00	0.835	43.566	17.226	60.791	0.013588566
22.00	0.878	46.392	18.661	65.052	0.022230784
23.00	0.781	40.171	15.493	55.665	0.007515603
24.00	0.535	26.702	8.456	35.158	0.00070323

**TR 17**

<b>Waktu</b>	<b>Pembebanan</b>	$\theta_o$	$\Delta\theta_h$	$\theta_h$	$V$	$L$	<b>Sisa Umur (tahun)</b>
01.00	0.073	13.397	0.350	13.747	5.92794E-05		
02.00	0.073	13.397	0.350	13.747	5.92794E-05		
03.00	0.073	13.397	0.350	13.747	5.92794E-05		
04.00	0.073	13.397	0.350	13.747	5.92794E-05		
05.00	0.073	13.397	0.350	13.747	5.92794E-05		
06.00	0.073	13.397	0.350	13.747	5.92794E-05		
07.00	0.073	13.397	0.350	13.747	5.92794E-05		
08.00	0.183	14.844	1.517	16.361	8.01741E-05		
09.00	0.183	14.844	1.517	16.361	8.01741E-05		
10.00	0.223	15.669	2.086	17.754	9.41756E-05		
11.00	0.263	16.643	2.719	19.362	0.0001134		
12.00	0.304	17.761	3.414	21.175	0.000139813	0.0019	25.99
13.00	0.281	17.109	3.012	20.120	0.00012378		
14.00	0.270	16.812	2.826	19.637	0.000117059		
15.00	0.259	16.525	2.644	19.169	0.000110897		
16.00	0.248	16.249	2.467	18.716	0.000105245		
17.00	0.249	16.272	2.481	18.753	0.000105697		
18.00	0.238	16.006	2.309	18.315	0.000100475		
19.00	0.227	15.751	2.141	17.892	9.56832E-05		
20.00	0.102	13.664	0.600	14.264	6.29287E-05		
21.00	0.102	13.664	0.600	14.264	6.29287E-05		
22.00	0.073	13.397	0.350	13.747	5.92794E-05		
23.00	0.073	13.397	0.350	13.747	5.92794E-05		
24.00	0.073	13.397	0.350	13.747	5.92794E-05		

TR 18							
Waktu	Pembebanan	$\theta_o$	$\Delta\theta_h$	$\theta_h$	$V$	$L$	Sisa Umur (tahun)
01.00	0.282	17.149	3.037	20.186	0.000124717		
02.00	0.282	17.149	3.037	20.186	0.000124717		
03.00	0.282	17.149	3.037	20.186	0.000124717		
04.00	0.393	20.744	5.168	25.912	0.000241666		
05.00	0.393	20.744	5.168	25.912	0.000241666		
06.00	0.393	20.744	5.168	25.912	0.000241666		
07.00	0.682	34.307	12.469	46.776	0.0026917		
08.00	0.682	34.307	12.469	46.776	0.0026917		
09.00	0.682	34.307	12.469	46.776	0.0026917		
10.00	0.682	34.307	12.469	46.776	0.0026917		
11.00	0.862	45.351	18.133	63.484	0.018546773		
12.00	0.862	45.351	18.133	63.484	0.018546773	0.160	24.83
13.00	0.862	45.351	18.133	63.484	0.018546773		
14.00	0.862	45.351	18.133	63.484	0.018546773		
15.00	0.862	45.351	18.133	63.484	0.018546773		
16.00	0.862	45.351	18.133	63.484	0.018546773		
17.00	0.862	45.351	18.133	63.484	0.018546773		
18.00	0.862	45.351	18.133	63.484	0.018546773		
19.00	0.249	16.278	2.486	18.764	0.000105828		
20.00	0.249	16.278	2.486	18.764	0.000105828		
21.00	0.249	16.278	2.486	18.764	0.000105828		
22.00	0.249	16.278	2.486	18.764	0.000105828		
23.00	0.249	16.278	2.486	18.764	0.000105828		
24.00	0.249	16.278	2.486	18.764	0.000105828		

TR 19							
Waktu	Pembebanan	$\theta_o$	$\Delta\theta_h$	$\theta_h$	$V$	$L$	Sisa Umur (tahun)
01.00	0.633	31.627	11.070	42.697	0.00168011		
02.00	0.633	31.627	11.070	42.697	0.00168011		
03.00	0.258	16.518	2.639	19.157	0.000110742		
04.00	0.258	16.518	2.639	19.157	0.000110742		
05.00	0.258	16.518	2.639	19.157	0.000110742		
06.00	0.258	16.518	2.639	19.157	0.000110742		
07.00	0.258	16.518	2.639	19.157	0.000110742		
08.00	0.258	16.518	2.639	19.157	0.000110742		
09.00	0.418	21.669	5.692	27.361	0.000285699		
10.00	0.418	21.669	5.692	27.361	0.000285699		
11.00	0.418	21.669	5.692	27.361	0.000285699	0.857	22.17
12.00	0.418	21.669	5.692	27.361	0.000285699		
13.00	0.418	21.669	5.692	27.361	0.000285699		
14.00	0.418	21.669	5.692	27.361	0.000285699		
15.00	1.060	59.454	25.231	84.685	0.21477701		
16.00	1.072	60.443	25.725	86.168	0.254905633		
17.00	1.008	55.580	23.291	78.871	0.109708765		
18.00	1.060	59.454	25.231	84.685	0.21477701		
19.00	0.943	50.920	20.948	71.868	0.048855689		
20.00	0.646	32.321	11.434	43.754	0.001898493		
21.00	0.633	31.627	11.070	42.697	0.00168011		

TR 19							
Waktu	Pembebanan	$\theta_o$	$\Delta\theta_h$	$\theta_h$	$V$	$L$	Sisa Umur (tahun)
22.00	0.633	31.627	11.070	42.697	0.00168011		
23.00	0.258	16.518	2.639	19.157	0.000110742		
24.00	0.258	16.518	2.639	19.157	0.000110742		

TR 20							
Waktu	Pembebanan	$\theta_o$	$\Delta\theta_h$	$\theta_h$	$V$	$L$	Sisa Umur (tahun)
01.00	0.669	33.561	12.081	45.642	0.002361		
02.00	0.669	33.561	12.081	45.642	0.002361		
03.00	0.669	33.561	12.081	45.642	0.002361		
04.00	0.669	33.561	12.081	45.642	0.002361		
05.00	0.669	33.561	12.081	45.642	0.002361		
06.00	0.669	33.561	12.081	45.642	0.002361		
07.00	0.273	16.898	2.880	19.779	0.00011899		
08.00	0.273	16.898	2.880	19.779	0.00011899		
09.00	0.273	16.898	2.880	19.779	0.00011899		
10.00	0.273	16.898	2.880	19.779	0.00011899		
11.00	0.273	16.898	2.880	19.779	0.00011899		
12.00	0.273	16.898	2.880	19.779	0.00011899	2.10	22.80
13.00	0.273	16.898	2.880	19.779	0.00011899		
14.00	0.273	16.898	2.880	19.779	0.00011899		
15.00	0.273	16.898	2.880	19.779	0.00011899		
16.00	0.382	20.337	4.934	25.272	0.000224441		
17.00	0.382	20.337	4.934	25.272	0.000224441		
18.00	1.064	59.828	25.418	85.246	0.229152555		
19.00	1.119	64.071	27.535	91.606	0.47776659		
20.00	0.996	54.724	22.862	77.586	0.094576751		
21.00	1.064	59.828	25.418	85.246	0.229152555		
22.00	1.119	64.071	27.535	91.606	0.47776659		
23.00	1.133	65.153	28.075	93.228	0.576196859		
24.00	0.682	34.323	12.478	46.801	0.002699467		

TR 21							
Waktu	Pembebanan	$\theta_o$	$\Delta\theta_h$	$\theta_h$	$V$	$L$	Sisa Umur (tahun)
01.00	0.698	35.230	12.948	48.178	0.003164924		
02.00	0.698	35.230	12.948	48.178	0.003164924		
03.00	0.698	35.230	12.948	48.178	0.003164924		
04.00	0.698	35.230	12.948	48.178	0.003164924		
05.00	0.698	35.230	12.948	48.178	0.003164924		
06.00	0.367	19.804	4.626	24.430	0.000203648		
07.00	0.284	17.207	3.073	20.279	0.000126075		
08.00	0.284	17.207	3.073	20.279	0.000126075		
09.00	0.284	17.207	3.073	20.279	0.000126075		
10.00	0.284	17.207	3.073	20.279	0.000126075		
11.00	0.284	17.207	3.073	20.279	0.000126075		
12.00	0.284	17.207	3.073	20.279	0.000126075	3.52	21.330
13.00	0.284	17.207	3.073	20.279	0.000126075		
14.00	0.284	17.207	3.073	20.279	0.000126075		
15.00	0.284	17.207	3.073	20.279	0.000126075		
16.00	0.398	20.913	5.264	26.178	0.000249199		
17.00	0.753	38.454	14.612	53.067	0.005567069		
18.00	0.753	38.454	14.612	53.067	0.005567069		
19.00	1.165	67.766	29.375	97.141	0.905569239		
20.00	1.179	68.923	29.950	98.874	1.106205564		
21.00	1.108	63.230	27.116	90.346	0.413047999		
22.00	1.165	67.766	29.375	97.141	0.905569239		
23.00	1.037	57.771	24.389	82.160	0.160436423		
24.00	0.698	35.230	12.948	48.178	0.003164924		

TR 22							
Waktu	Pembebanan	$\theta_o$	$\Delta\theta_h$	$\theta_h$	$V$	$L$	Sisa Umur (tahun)
01.00	0.715	36.183	13.442	49.625	0.003740464		
02.00	0.801	41.385	16.114	57.499	0.009289619		
03.00	0.801	41.385	16.114	57.499	0.009289619		
04.00	0.801	41.385	16.114	57.499	0.009289619		
05.00	0.801	41.385	16.114	57.499	0.009289619		
06.00	0.286	17.255	3.103	20.358	0.000127223		
07.00	0.286	17.255	3.103	20.358	0.000127223		
08.00	0.286	17.255	3.103	20.358	0.000127223		
09.00	0.286	17.255	3.103	20.358	0.000127223		
10.00	0.286	17.255	3.103	20.358	0.000127223		
11.00	0.286	17.255	3.103	20.358	0.000127223	3.77	19.37
12.00	0.286	17.255	3.103	20.358	0.000127223		
13.00	0.286	17.255	3.103	20.358	0.000127223		
14.00	0.286	17.255	3.103	20.358	0.000127223		
15.00	0.286	17.255	3.103	20.358	0.000127223		
16.00	0.400	21.004	5.316	26.319	0.000253313		
17.00	0.758	38.732	14.755	53.487	0.005844189		
18.00	0.758	38.732	14.755	53.487	0.005844189		
19.00	1.172	68.343	29.662	98.005	1.000616052		
20.00	1.187	69.512	30.243	99.755	1.224753233		
21.00	1.115	63.761	27.381	91.142	0.452836936		

22.00	1.172	68.343	29.662	98.005	1.000616052
23.00	0.879	46.508	18.720	65.228	0.022687031
24.00	0.879	46.508	18.720	65.228	0.022687031

TR 23							Sisa Umur
Waktu	Pembebanan	$\theta_o$	$\Delta\theta_h$	$\theta_h$	$V$	$L$	(tahun)
01.00	0.785	40.411	15.616	56.027	0.007837235		
02.00	0.879	46.510	18.721	65.230	0.022693217		
03.00	0.879	46.510	18.721	65.230	0.022693217		
04.00	0.879	46.510	18.721	65.230	0.022693217		
05.00	0.879	46.510	18.721	65.230	0.022693217		
06.00	0.314	18.076	3.605	21.681	0.000148228		
07.00	0.314	18.076	3.605	21.681	0.000148228		
08.00	0.314	18.076	3.605	21.681	0.000148228		
09.00	0.314	18.076	3.605	21.681	0.000148228		
10.00	0.314	18.076	3.605	21.681	0.000148228		
11.00	0.335	18.731	3.997	22.728	0.000167289		
12.00	0.335	18.731	3.997	22.728	0.000167289	9.149	14.23
13.00	0.335	18.731	3.997	22.728	0.000167289		
14.00	0.335	18.731	3.997	22.728	0.000167289		
15.00	0.335	18.731	3.997	22.728	0.000167289		
16.00	0.335	18.731	3.997	22.728	0.000167289		
17.00	1.064	59.773	25.391	85.164	0.226985635		
18.00	1.064	59.773	25.391	85.164	0.226985635		
19.00	1.064	59.773	25.391	85.164	0.226985635		
20.00	1.064	59.773	25.391	85.164	0.226985635		
21.00	1.225	72.669	31.810	104.479	2.113865399		
22.00	1.287	78.017	34.460	112.477	5.325126762		
23.00	1.146	66.230	28.611	94.842	0.694278309		
24.00	0.785	40.411	15.616	56.027	0.007837235		

TR 24							
Waktu	Pembebanan	$\theta_o$	$\Delta\theta_h$	$\theta_h$	$V$	$L$	Sisa Umur (tahun)
01.00	0.810	41.954	16.404	58.358	0.010258315		
02.00	0.907	48.377	19.665	68.042	0.03140363		
03.00	0.907	48.377	19.665	68.042	0.03140363		
04.00	0.907	48.377	19.665	68.042	0.03140363		
05.00	0.383	20.376	4.957	25.333	0.000226047		
06.00	0.383	20.376	4.957	25.333	0.000226047		
07.00	0.383	20.376	4.957	25.333	0.000226047		
08.00	0.383	20.376	4.957	25.333	0.000226047		
09.00	0.383	20.376	4.957	25.333	0.000226047		
10.00	0.383	20.376	4.957	25.333	0.000226047		
11.00	0.383	20.376	4.957	25.333	0.000226047		
12.00	0.383	20.376	4.957	25.333	0.000226047	0.83	22.20
13.00	0.383	20.376	4.957	25.333	0.000226047		
14.00	0.383	20.376	4.957	25.333	0.000226047		
15.00	0.383	20.376	4.957	25.333	0.000226047		
16.00	0.857	45.014	17.962	62.976	0.017488992		
17.00	0.857	45.014	17.962	62.976	0.017488992		
18.00	0.857	45.014	17.962	62.976	0.017488992		
19.00	0.857	45.014	17.962	62.976	0.017488992		
20.00	1.044	58.268	24.637	82.905	0.174850146		
21.00	1.063	59.713	25.360	85.074	0.224624196		
22.00	1.028	57.052	24.029	81.081	0.141627899		
23.00	1.002	55.147	23.074	78.221	0.101774748		
24.00	0.810	41.954	16.404	58.358	0.010258315		

## LAMPIRAN 4

TR-3	ENERGI			PSD		
	R	S	T	R	S	T
D7	166.4247	313.4466	19.4687	1.664247	3.134466	0.194687
D8	383.9281603	2555.894	15.42457	7.678563	51.11788	0.308491

TR-4	ENERGI			PSD		
	R	S	T	R	S	T
D7	1976.351	1692.085	8640.787	19.76351	16.92085	86.40787
D8	54759.5968	48975.87	184528.8	1095.192	979.5174	3690.576

TR-5	ENERGI			PSD		
	R	S	T	R	S	T
D7	25.53188	25.17655	710.8453	0.255319	0.251765	7.108453
D8	11.78985917	11.84422	3232.342	0.235797	0.236884	64.64684

TR-6	ENERGI			PSD		
	R	S	T	R	S	T
D7	737.4013	46.37866	245.5327	7.374013	0.463787	2.455327
D8	1626.060055	95.92813	2246.585	32.5212	1.918563	44.9317

TR-7	ENERGI			PSD		
	R	S	T	R	S	T
D7	716.0004	3577.602	2606.641	7.160004	35.77602	26.06641
D8	40716.03147	14364.69	134926.7	814.3206	287.2939	2698.533

TR-8	ENERGI			PSD		
	R	S	T	R	S	T
D7	185.0175	657.9519	1243.157	1.850175	6.579519	12.43157
D8	4938.566314	7409.563	1118.169	98.77133	148.1913	22.36337

TR-9	ENERGI			PSD		
	R	S	T	R	S	T
D7	87.824	107.1458	143.7342	0.87824	1.071458	1.437342
D8	375.4755796	1361.095	854.1663	7.509512	27.2219	17.08333

TR-10	ENERGI			PSD		
	R	S	T	R	S	T
D7	290.6526	63.90136	112.0682	2.906526	0.639014	1.120682
D8	4370.422289	597.947	455.8394	87.40845	11.95894	9.11678

TR-11	ENERGI			PSD		
	R	S	T	R	S	T
D7	378.7927	616.0563	735.72	3.787927	6.160563	7.3572
D8	3570.477595	3837.27	14344.13	71.40955	76.74541	286.8826

TR-12	ENERGI			PSD		
	R	S	T	R	S	T
D7	420.6313	792.0538	1420.275	4.206313	7.920538	14.20275
D8	13397.83	11012.2	9681.139	267.9568	220.2439	193.6228

TR-13	ENERGI			PSD		
	R	S	T	R	S	T
D7	868.9054	1696.801	1250.871	8.689054	16.96801	12.50871
D8	52494.35274	32068.27	22174.82	1049.887	641.3653	443.4964

TR-14	ENERGI			PSD		
	R	S	T	R	S	T
D7	1553.516	2169.885	1825.313	15.53516	21.69885	18.25313
D8	24133.41458	41053.85	14049.51	482.6683	821.0771	280.9903



TR-15	ENERGI			PSD		
	R	S	T	R	S	T
D7	4750.513	1324.354	2817.838	47.50513	13.24354	28.17838
D8	50255.10152	34336.66	25187.24	1005.102	686.7331	503.7447

TR-16	ENERGI			PSD		
	R	S	T	R	S	T
D7	323.9162	266.5118	246.3293	3.239162	2.665118	2.463293
D8	4738.24359	3138.143	1430.379	94.76487	62.76286	28.60758

TR-17	ENERGI			PSD		
	R	S	T	R	S	T
D7	1748.896	912.7064	773.2746	17.48896	9.127064	7.732746
D8	1216.597913	2167.231	571.2952	24.33196	43.34462	11.4259

TR-18	ENERGI			PSD		
	R	S	T	R	S	T
D7	1776.065	3207.748	5452.367	17.76065	32.07748	54.52367
D8	43960.34716	56675.86	33779.59	879.2069	1133.517	675.5918

TR-19	ENERGI			PSD		
	R	S	T	R	S	T
D7	791.6024	1969.719	2107.324	7.916024	19.69719	21.07324
D8	88281.63101	34567.13	36596.47	1765.633	691.3426	731.9294

TR-20	ENERGI			PSD		
	R	S	T	R	S	T
D7	1881.566	2349.07	1134.809	18.81566	23.4907	11.34809
D8	133872.9907	13706.65	14873.12	2677.46	274.1331	297.4625

TR-21	ENERGI			PSD		
	R	S	T	R	S	T
D7	1658.989	1525.947	1423.139	16.58989	15.25947	14.23139
D8	53647.6836	30098.98	41593.5	1072.954	601.9797	831.8701

TR-22	ENERGI			PSD		
	R	S	T	R	S	T
D7	1032.612	3112.643	2196.22	10.32612	31.12643	21.9622
D8	164815.6715	42133.44	11881.37	3296.313	842.6688	237.6274

TR-23	ENERGI			PSD		
	R	S	T	R	S	T
D7	705.7256	873.5807	1212.501	7.057256	8.735807	12.12501
D8	12902.43533	33099.22	58303.58	258.0487	661.9843	1166.072

TR-24	ENERGI			PSD		
	R	S	T	R	S	T
D7	3483.423	4435.702	2097.533	34.83423	44.35702	20.97533
D8	30712.37997	123641	111511.3	614.2476	2472.821	2230.226

## BIOGRAFI PENULIS



**Novie Elok Setiawati**, atau biasa dipanggil dengan Elok. Lahir di Surabaya pada tanggal 22 November 1992. Anak kedua dari 2 bersaudara dari pasangan Ir. Sentot Rahardjono dan Lely Indrayati. Mengawali pendidikannya di SDN Manukan Kulon IV/541 Surabaya pada tahun 1999-2005, kemudian melanjutkan ke SMP Negeri 2 Surabaya hingga tahun 2008. Setelah lulus dari SMA Negeri 7 Surabaya pada tahun 2011, penulis melanjutkan pendidikan di D3 Teknik Elektro ITS Bidang Studi Komputer Kontrol hingga tahun 2014. S1 Lintas Jalur Jurusan Teknik Elektro ITS Bidang Studi Sistem Tenaga hingga tahun 2016. Setelah itu penulis melanjutkan pendidikan S2 Teknik Elektro ITS. Penulis dapat dihubungi di alamat email [novie.elok@gmail.com](mailto:novie.elok@gmail.com)