



**STUDI PERAMALAN BEBAN PUNCAK DITINJAU DARI JARINGAN  
PENYULANG SUTM 20 kV PADA PT. PLN (PERSERO) RAYON  
PASURUAN KOTA MENGGUNAKAN METODE *BACKPROPAGATION*  
*NEURAL NETWORK***

**SKRIPSI**

Oleh  
**Mohamad Bagus Setiawan**  
**NIM 151910201029**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2019**



**STUDI PERAMALAN BEBAN PUNCAK DITINJAU DARI JARINGAN  
PENYULANG SUTM 20 kV PADA PT. PLN (PERSERO) RAYON  
PASURUAN KOTA MENGGUNAKAN METODE *BACKPROPAGATION*  
*NEURAL NETWORK***

**SKRIPSI**

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan studi di Jurusan Teknik Elektro (S1) dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh  
**Mohamad Bagus Setiawan**  
NIM 151910201029

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2019**

## PERSEMBAHAN

Kupanjatkan puja dan puji syukur kehadirat Allah SWT, yang telah melimpahkan karunia dan kasih sayang-Nya kepadaku dan sholawat serta salam kepada Rasulullah SAW yang senantiasa memberikan syafaatnya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Studi Peramalan Beban Puncak Ditinjau dari Jaringan Penyulang SUTM 20 kV Pada PT. PLN (Persero) Rayon Pasuruan Kota Menggunakan Metode *Backpropagation Neural Network*”. Skripsi ini merupakan langkah awal untuk menuju kesuksesan yang lebih baik, karenanya dengan segala kerendahan hati kupersembahkan karya ini kepada :

1. Allah SWT yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang.
2. Nabi Besar Muhammad SAW, yang menjadi suri tauladan bagi seluruh umat.
3. Ibunda Lilik dan Ayahanda Wagiman sebagai orang tua yang telah mendidik dan tiada henti-hentinya mengirimkan doa serta memberikan dukungan baik moril maupun materiil.
4. Kakaku Mohamad Bayu Setiawan, S.Si. yang selalu memberikan semangat dan motivasi kepadaku.
5. Semua Dosen Jurusan Teknik Elektro Universitas Jember yang telah memberikan ilmu dan membimbing kami selama dibangku perkuliahan.
6. Dosen Pembimbing Utama Bapak Suprihadi Prasetyono, ST., MT dan Dosen Pembimbing Anggota Bapak Prof. Dr. Ir. Bambang Sujanarko, M. M yang bersedia meluangkan waktu dan pikirannya dalam membimbing dan memberikan motivasi
7. Keluarga besar DISTORSI 2015 terimakasih telah memberikan arti kekeluargaan yang luar biasa
8. Martin Sanjaya, S. T., dan Seluruh teman dekatku khususnya Anak Beskem (Reno House) yang sudi berbagi kisah baik suka maupun duka, saling menguatkan dan juga mengingatkan.
9. Almamater Fakultas Teknik Universitas Jember dan Seluruh pihak yang tidak tertulis dalam lembar persembahan ini, kusampaikan terimakasih banyak.

### MOTTO

“Barang siapa yang memudahkan kesulitan seorang mukmin dari berbagai kesulitan dunia, Allah akan memudahkan kesulitan-kesulitannya di akhirat. Dan siapa yang memudahkan orang yang sedang dalam kesulitan niscaya Allah mudahkan baginya di dunia dan akhirat”

(HR. Muslim)

“Karena sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan, sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan”

(Qs. Ash-Syarah ayat 5-6)

“Tidak ada balasan kebaikan, kecuali kebaikan (pula). Maka nikmat Tuhan kamu yang manakah yang kamu dustakan?”

(Qs. Ar-Rahman ayat 60-61)

**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Mohamad Bagus Setiawan

NIM : 151910201029

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Studi Peramalan Beban Puncak Ditinjau dari Jaringan Penyulang SUTM 20 kV Pada PT. PLN (Persero) Rayon Pasuruan Kota Menggunakan Metode *Backpropagation Neural Network*” adalah benar-benar karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun, dan bukannya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

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

Jember, 13 Agustus 2019

Yang menyatakan,

Mohamad Bagus Setiawan

NIM 151910201029

**SKRIPSI**

**STUDI PERAMALAN BEBAN PUNCAK DITINJAU DARI JARINGAN  
PENYULANG 20 kV PADA PT. PLN (PERSERO) RAYON PASURUAN  
KOTA MENGGUNAKAN METODE *BACKPROPAGATION NEURAL  
NETWORK***

Oleh

**Mohamad Bagus Setiawan**

**NIM 151910201029**

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Suprihadi Prasetyono, ST., MT

NIP : 197004041996011001

Dosen Pembimbing Anggota : Prof. Dr. Ir. Bambang Sujanarko, M.M.

NIP : 196312011994021002

**PENGESAHAN**

Skripsi berjudul “Studi Peramalan Beban Puncak Ditinjau dari Jaringan Penyulang SUTM 20 kV Pada PT. PLN (Persero) Rayon Pasuruan Kota Menggunakan Metode *Backpropagation Neural Network*” karya Mohamad Bagus Setiawan telah diuji dan disahkan pada :

Hari : Kamis

Tanggal : 24 Oktober 2019

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji

Ketua,

Anggota I,

Suprihadi Prasetyono, ST., MT  
NIP 197004041996011001

Prof. Dr. Ir. Bambang Sujanarko, M.M.  
NIP 196312011994021002

Anggota II,

Anggota III,

Ir. Widyono Hadi, MT.  
NIP 196104141989021001

Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T.  
NIP 197104022003121001

Mengesahkan,  
Dekan Fakultas Teknik

Dr. Ir. Entin Hidayah M.U.M  
NIP 196612151995032001

## RINGKASAN

**Studi Peramalan Beban Puncak Ditinjau dari Jaringan Penyulang SUTM 20 kV Pada PT. PLN (Persero) Rayon Pasuruan Kota Menggunakan Metode *Backpropagation Neural Network***; Mohamad Bagus Setiawan, 151910201029, 2019; 85 halaman; Progam Studi Strata 1 (S1) Teknik, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

Pesatnya perkembangan teknologi pada era saat ini terus mengalami peningkatan yang tinggi, sehingga kebutuhan akan ketersediaan energi listrik kian meningkat dari sektor rumah tangga, industri sampai tempat layanan umum. Besar konsumsi listrik pada suatu rentang waktu tidak dapat dihitung secara pasti yang dapat mengakibatkan penambahan beban pada jaringan listrik. Apabila tidak adanya antisipasi seperti prediksi atau suatu peramalan beban untuk mengetahui jumlah daya listrik yang didistribusikan ke konsumen akan mengakibatkan pemadaman listrik secara bergilir. Hal tersebut justru akan membuat konsumen menjadi khawatir dan sangat tidak nyaman dalam menggunakan energi listrik. Maka dari itu dibutuhkan suatu metode peramalan beban listrik untuk memprediksi jumlah beban yang dibutuhkan dalam beberapa waktu kedepan.

Prediksi atau peramalan beban listrik ini menggunakan metode *backpropagation neural network* dengan *software* Matlab untuk simulasinya. Data yang digunakan dalam penelitian merupakan data asli beban puncak yang ada dan diperoleh dari PT. PLN (Persero) Rayon Pasuruan Kota selama 7 tahun yang dimulai dari tahun 2011 hingga tahun 2017 dan terbagi menjadi 2 data, yaitu data *input* dan data target. Data tersebut disusun menjadi 36 data *input* yang diambil dari tahun 2011 hingga tahun 2014 dan 12 data target yang diambil dari tahun 2015. Untuk tahun 2016 hingga tahun 2017 merupakan data uji yang nantinya digunakan untuk mencari nilai MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*). Peramalan beban listrik menggunakan 13 pola yang berbeda, dimana pergantian pada setiap pola merupakan pergeseran dari data *input* dan target yang bertujuan untuk meminimalisir jumlah nilai *error* dari suatu metode peramalan.

Hasil yang diperoleh dari peramalan beban listrik yaitu MAPE (Mean Absolute Percentage Error) yang merupakan akurasi peramalan terhadap target dan merupakan data uji pada bulan Januari 2016 sampai dengan bulan Desember 2017 dengan menggunakan metode backpropagation neural network dengan optimasi levenberg marquardt didapatkan nilai MAPE (Mean Absolute Percentage Error) sebesar 4,686%. Nilai MAPE tersebut sudah memiliki tingkat akurasi yang tinggi, dimana C. D. Lewis pada tahun 1982 pada bukunya yang berjudul *Industrial and Business Forecasting Methods: A Radical Guide to Exponential Smoothing and Curve Fitting*, mengatakan bahwa nilai MAPE yang kurang dari 10% sudah dapat dikategorikan memiliki tingkat akurasi peramalan yang tinggi. Menurut RUPTL 2016-2025 untuk pembebanan di Kota besar untuk kabel penghantar menggunakan kriteria 80% dari kapasitas maksimum kabel penyulang yang terpasang. Hasil data rekap peramalan beban mulai tahun 2018 sampai dengan tahun 2020, Dari hasil perbandingan didapatkan bahwa beban puncak tertinggi atau beban prakiraan yang mengalami *overload* terjadi di tahun 2019 pada bulan Juli yaitu sebesar 1718 A melebihi arus yang diperbolehkan pada Sirkuit 1, Sirkuit 2, dan Sirkuit 3 yaitu sebesar 1632 A dengan selisih sebesar 86,13 A. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pada tahun 2019 SUTM Pasuruan Kota mencapai batas maksimal penyaluran energi listrik untuk Sirkuit 1, Sirkuit 2, dan Sirkuit 3. Sedangkan untuk Sirkuit 4, 5, dan 6 masih mampu menyalurkan energi listrik hingga batas maksimal penyaluran energi listrik yang ditentukan hingga 3 sampai 5 tahun kedepan.

## SUMMARY

**A Study of Peak Load Forecasting Reviewed from 20 kV SUTM Feeder Networks on PT. PLN (Persero) in Pasuruan City Area Using Backpropagation Neural Network;** Mohamad Bagus Setiawan, 151910201029, 2019; 85 pages; Study Program of Bachelor Degree (S1) of Engineering, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember.

Rapid technology development in this era continues to experience high enhancement so that the need for the availability of electrical energy is more increasing from the household, industry until the public service sectors. The amount of electricity consumption in a period can be calculated certainly that can cause load addition on electrical networks. If there is no anticipation such as a prediction or a load forecasting to know the amount of electric power distributed to the consumer, it will cause power outage in rotation. It precisely will make the consumer worried and very uncomfortable in using electrical energy. Therefore, a method of electrical load forecasting is needed to predict the amount of load needed in some period ahead.

This electric power load prediction or forecasting uses a backpropagation neural network with Matlab software for the simulation. Data used in the research is original data of peak load that is on and obtained from PT. PLN (Persero) in Pasuruan City Area for 7 years starting from 2011 to 2017 and is divided into 2 data that are input data and target data. Those data are arranged into 36 input data retrieved from 2011 to 2014 and 12 target data retrieved from 2015. From 2016 to 2017 is the test data that is later used to find out MAPE (Mean Absolute Percentage Error) value. Electrical load forecasting uses 13 different patterns where the change in every pattern is the shift from input data and target data that aims to minimize the amount of error value from a forecasting method.

The result obtained from electrical load forecasting is MAPE (Mean Absolute Percentage Error) which is the accuracy of forecasting on the target and

test data in January of 2016 until December of 2017 by using a backpropagation neural network method with Levenberg-Marquardt optimization that MAPE (Mean Absolute Percentage Error) value obtained is 4.686%. The MAPE value already has a high accuracy level, where C. D. Lewis in 1982 within his book titled *Industrial and Business Forecasting Methods: A Radical Guide to Exponential Smoothing and Curve Fitting* stated that MAPE value that is less than 10% can be already categorized as a high accuracy level of forecasting. According to 2016-2025 RUPTL for the loading in big cities, for conductor cable uses 80% criteria of the maximum capacity of feeder cable installed. Data result of load forecasting recap starts from 2018 to 2020. From the comparison result, obtained that the highest peak load or predicted load experiencing overload occurred in 2019 in July that is 1718 A exceeding the current allowed in Circuit 1, Circuit 2 and Circuit 3 that is 1632 A with the difference of 86.13 A. Thus, it can be concluded that in 2019, SUTM of Pasuruan City reaches the maximum limit of electrical energy distribution for Circuit 1, Circuit 2, and Circuit 3. While for Circuit 4, 5, and 6 are still able to distribute electrical energy up to the maximum limit of electrical energy distribution which is determined up to 3 to 5 years ahead.

## PRAKATA

*Bismillahirrahmanirrahim*

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat, hidayah, serta karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Studi Peramalan Beban Puncak Ditinjau dari Jaringan Penyulang SUTM 20 kV Pada PT. PLN (Persero) Rayon Pasuruan Kota Menggunakan Metode *Backpropagation Neural Network*”**. Skripsi ini disusun guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Studi Strata (S1) pada Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak akan bisa selesai tanpa bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis sampaikan terimakasih kepada :

1. Allah SWT yang telah melimpahkan rezeki, rahmat, karunia serta kasih sayang-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi ini.
2. Nabi besar Muhammad SAW, yang telah menjadi suri tauladan bagi seluruh umat.
3. Ibu Dr. Ir. Entin Hidayah, M.U.M., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember.
4. Bapak Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Jember
5. Bapak Suprihadi Prasetyono, ST., MT., selaku Dosen Pembimbing Utama dan Bapak Prof. Dr. Ir. Bambang Sujanarko, M.M. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang bersedia meluangkan waktu dan pikirannya dalam membimbing dan memberikan motivasi.
6. Bapak Ir. Widyono Hadi, M.T., selaku Penguji 1 dan Bapak Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T., selaku Penguji 2 yang telah memberikan saran dan arahan kepada penulis.
7. Ibunda Lilik dan Ayahanda Wagiman sebagai orang tua yang telah mendidik dan tiada henti-hentinya mengirimkan doa serta memberikan dukungan baik moril maupun materiil.

8. Kakaku Mohamad Bayu Setiawan, S.Si. yang selalu memberikan semangat dan motivasi kepadaku.
9. Bu Toyibah dan Bapak Putra selaku HRD dan Pembimbing di PLN Rayon Pasuruan Kota yang telah mengizinkan kepada penulis dalam pengambilan data dan arahannya.
10. Keluarga besar DISTORSI 2015 terimakasih telah memberikan arti kekeluargaan yang luar biasa
11. Martin Sanjaya, S. T., dan Seluruh teman dekatku khususnya Anak Beskem (Reno House) yang sudi berbagi kisah baik suka maupun duka, saling menguatkan dan juga mengingatkan.
12. Keluarga UKMO Ester yang telah memberiku pengalaman yang luar biasa dalam berproses.
13. Keluarga KKN Muneng Kidul 279 dikala senang dan susah Iqbal, Gavin, Rudi, Luluk, Rosa, Firda, dan Mbak Poppy.
14. Semua pihak yang terlibat dalam membantu penyelesaian penelitian ini.

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

Jember, 13 Agustus 2019

Penulis

**DAFTAR ISI**

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN .....</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN MOTTO .....</b>	<b>iii</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN.....</b>	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PEMBIMBING .....</b>	<b>v</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN.....</b>	<b>vi</b>
<b>HALAMAN RINGKASAN .....</b>	<b>vii</b>
<b>HALAMAN SUMMARY.....</b>	<b>ix</b>
<b>HALAMAN PRAKATA.....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xvi</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xviii</b>
<b>BAB 1. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan.....	4
1.5 Manfaat.....	5
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>6</b>
2.1 Laju Pertumbuhan Penduduk Wilayah Pasuruan .....	6
2.2 Kondisi Perekonomian Wilayah Pasuruan .....	7
2.3 Pendapatan Perkapita Wilayah Pasuruan .....	8
2.4 Pertumbuhan Industri Wilayah Pasuruan .....	9
2.5 Jenis Peramalan Beban .....	9
2.6 Kabel Penyulang.....	10
2.7 Sistem Distribusi .....	14
2.8 Sistem Pendistribusian Tenaga Listrik .....	16
2.8.1 Sistem Pendistribusian Langsung .....	16

2.8.2 Sistem Pendistribusian Tidak Langsung.....	16
2.9 Rugi-rugi Saluran .....	17
2.10 Rugi-rugi Konduktor, Selubung ( <i>Sheath</i> ), dan Perisai ( <i>Armour</i> ).....	17
2.11 Kemampuan Hantar Arus (KHA).....	19
2.12 Klasifikasi dan Karakteristik Beban Tenaga Listrik .....	19
2.12.1. Klasifikasi Beban .....	19
2.12.2 Karakteristik Beban .....	20
2.13 <i>Neural Network</i> (NN).....	21
2.13.1 Arsitektur <i>Neural Network</i> (ANN) .....	23
2.13.2 Fungsi Transfer .....	24
2.13.3 Aplikasi <i>Neural Network</i> .....	25
2.14 <i>Backpropagation Neural Network</i> .....	26
2.14.1 Arsitektur <i>Backpropagation</i> .....	26
2.14.2 Algoritma Pelatihan <i>Backpropagation</i> ( <i>Training Process</i> ).....	28
2.14.3 Algoritma Pengujian <i>Backpropagation</i> ( <i>Testing Process</i> ) .....	29
<b>BAB 3. METODE PENELITIAN.....</b>	<b>30</b>
3.1 Prosedur Penelitian.....	30
3.2 Diagram Alir Penelitian.....	32
3.3 Diagram Alir Peramalan Beban .....	33
3.4 Peramalan Beban Menggunakan <i>Software Matlab</i> .....	35
3.5 Arsitektur <i>Training</i> dan <i>Testing Backpropagation Neural Network</i> .....	36
3.5.1 <i>Preprocessing</i> .....	36
3.5.2 Model Jaringan Syaraf Tiruan .....	36
3.5.3 <i>Training</i> dan <i>Testing</i> .....	37
3.6 Diagram Alir Perhitungan .....	38
3.7 Perhitungan Arus dan Daya.....	39
<b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>40</b>
4.1 Jaringan Penyulang Terpasang PLN Pasuruan Kota .....	40
4.2 Data Beban Wilayah Pasuruan .....	42
4.3 Data Pertumbuhan Penduduk .....	44
4.4 Data Pelatihan <i>Neural Network</i> .....	45

4.5 Hasil dan Analisa Peramalan Beban Menggunakan Metode BNN .....	46
4.6 Hasil dan Analisa Pengujian Peramalan Beban pada Neural Network .....	50
4.7 Hasil dan Peramalan Beban BNN Berdasarkan Skenario .....	56
4.7.1 Skenario Optimis .....	56
4.7.2 Skenario Pesimis.....	57
4.7.3 Skenario Standar .....	57
4.8 Perbandingan Peramalan Beban Puncak Backpropagation Neural Network dengan Metode Lain .....	58
4.9 Analisis Kapasitas Kabel Penyulang PT. PLN (Persero) Rayon Pasuruan Kota.....	60
4.10 Hasil dan Pengujian Data Peramalan Beban pada Backpropagation Neural Network pada Graphical User Interface (GUI).....	63
<b>BAB 5. PENUTUP.....</b>	<b>65</b>
5.1 Kesimpulan.....	65
5.2 Saran .....	66
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>67</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>69</b>

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Grafik Laju Pertumbuhan Penduduk.....6

Gambar 2.2 Pertumbuhan Ekonomi Wilayah Pasuruan .....7

Gambar 2.3 PDRB Perkapita Wilayah Pasuruan .....8

Gambar 2.4 Konstruksi Kabel Penyulang AAAC.....11

Gambar 2.5 Sistem Distribusi Tenaga Listrik.....15

Gambar 2.6 Bentuk Dasar *Neuron* .....21

Gambar 2.7 Arsitektur *Single Layer Network* .....23

Gambar 2.8 *Multi Layer Network* .....24

Gambar 2.9 Arsitektur *Backpropagation*.....27

Gambar 2.10 Grafik Fungsi *Sigmoid Biner* .....27

Gambar 2.11 Grafik Fungsi *Sigmoid Bipolar* .....28

Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian .....32

Gambar 3.2 Diagram Alir Peramalan Beban .....34

Gambar 3.3 Diagram Alir Perhitungan .....38

Gambar 4.1 *Single Line* ULP Pasuruan Kota.....40

Gambar 4.2 Grafik Perubahan Beban Puncak Pasuruan Kota .....43

Gambar 4.3 Grafik Performance Hasil Pelatihan.....47

Gambar 4.4 *Regression* Hasil Pelatihan.....48

Gambar 4.5 *Neural Network Training* .....49

Gambar 4.6 Nilai *Error* Terbaik Yang Tersimpan.....49

Gambar 4.7 Grafik Perbandingan Data Peramalan BNN dan Aktual PLN .....52

Gambar 4.8 Perbandingan Beban Puncak Listrik Pasuruan Kota.....54

Gambar 4.9 Perbandingan Peramalan Beban Aktual 2011-2017,  
BNN 2018-2024, dan Prediksi PLN (RUPTL 2016-2025).....55

Gambar 4.10 Skenario Optimis Peramalan Beban Puncak BNN .....56

Gambar 4.11 Skenario Pesimis Peramalan Beban Puncak BNN.....57

Gambar 4.12 Skenario Standar Peramalan Beban Puncak BNN .....57

Gambar 4.13 Grafik *Performance* dengan *Recurrent Neural Network* .....58

Gambar 4.14 Nilai *error* terbaik tersimpan *Recurrent Neural Network*.....59

Gambar 4.15 Perbandingan Peramalan Beban Puncak BNN dan RNN .....	59
Gambar 4.16 Tampilan GUI Data untuk Pengujian Tahun 2016-2017 .....	63
Gambar 4.17 Tampilan GUI Grafik Untuk Pengujian Tahun 2016-2017 .....	64
Gambar 4.18 Tampilan GUI Data Peramalan Beban Tahun 2018 – 2020.....	65
Gambar 4.19 Tampilan GUI Grafik Peramalan Beban Tahun 2018 – 2020.....	65



**DAFTAR TABEL**

Tabel 2.1 Konstruksi Kabel Penyulang SUTM Bahan AAAC .....	12
Tabel 2.2 Konstruksi Kabel Penyulang SUTM Bahan AAAC-S .....	13
Tabel 2.3 Karakteristik Jaringan Distribusi Tenaga Listrik .....	15
Tabel 4.1 Saluran Tegangan Menengah Terpasang Pasuruan Kota.....	41
Tabel 4.2 Data Beban Puncak Pasuruan Kota.....	42
Tabel 4.3 Data Pertumbuhan Penduduk Pasuruan Kota .....	44
Tabel 4.4 Hasil <i>Error</i> dari Pelatihan <i>Backpropagation Neural Network</i> .....	47
Tabel 4.5 Pebandingan Prakiraan Beban Puncak dan Jumlah Penduduk Terhadap Hasil Peramalan BNN .....	51
Tabel 4.6 Prakiraan Beban Puncak Pasuruan Kota.....	53
Tabel 4.7 Perbandingan Beban Aktual, Beban BNN dan Beban RUPTL .....	55
Tabel 4.8 Hasil Perhitungan KHA SUTM Pasuruan Kota.....	60
Tabel 4.9 Prediksi Kapasitas Hantar Arus Kabel Penyulang Beroperasi.....	62

## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Sejalan dengan perkembangan zaman dan kemajuan teknologi, kebutuhan akan ketersediaan energi listrik kian meningkat. Energi listrik digunakan oleh beberapa sektor, antara lain sektor rumah tangga, industri, komersial, dan tempat layanan umum. Meningkatnya aktivitas kehidupan manusia akan mengakibatkan tingginya permintaan energi listrik. Besar konsumsi listrik pada suatu rentang waktu tidak dapat dihitung secara pasti. Ketidakpastian itu apabila tidak diperkirakan akan menjadi masalah karena akan mengakibatkan penambahan beban pada jaringan listrik. Maka dari itu, dibutuhkan suatu prediksi atau peramalan beban untuk mengetahui jumlah daya listrik yang didistribusikan ke konsumen. Hal ini dilakukan untuk mengindari terjadinya pemadaman secara bergilir agar konsumen tidak merasa dirugikan. Peningkatan kebutuhan listrik tersebut harus diimbangi dengan penyediaan energi listrik oleh pihak penyedia energi listrik, dalam hal ini adalah PT. PLN (Persero), agar tercapai stabilitas sistem tenaga listrik serta mampu memenuhi besarnya kebutuhan konsumen akan energi listrik (Marlia, 2016).

Peramalan (*forecasting*) merupakan proses untuk memperkirakan kejadian yang akan datang. Di bidang tenaga listrik, khususnya perusahaan energi listrik di Indonesia peramalan biasanya berupa peramalan beban (*load forecasting*) untuk mengetahui jumlah beban puncak (MW) dan peramalan kebutuhan energi listrik (*demand forecasting*) (MWh). Hal ini digunakan dalam perencanaan industri listrik dan pengoperasian sistem energi listrik. Perkiraan yang akurat mengakibatkan penghematan substansial dalam biaya operasi dan pemeliharaan, peningkatan kehandalan pasokan listrik dan sistem pengiriman, dan keputusan yang benar untuk pembangunan masa depan (Minaye dan Matewose, 2013).

Peramalan jangka panjang berawal dari hitungan tahun sampai puluhan tahun. Menurut Suhartono (2009) perkiraan besarnya penggunaan daya listrik digunakan untuk mengoptimalkan penggunaan daya listrik di masyarakat, sehingga tidak akan terjadi pemborosan ataupun pemadaman listrik dapat menyebabkan *overload* yang akan berdampak pada terjadinya pemadaman yang merugikan pihak

konsumen. Sebaliknya, jika besarnya pembangkitan energi listrik lebih tinggi daripada kebutuhan konsumen, maka dapat mengakibatkan terjadinya pemborosan energi listrik sehingga pihak penyedia tenaga listrik dapat mengalami kerugian. Untuk mencegah hal tersebut terjadi, dapat menggunakan metode peramalan beban puncak agar dapat diketahui tingkat kesesuaian antara pembangkitan dan kebutuhan konsumen. Serta agar tercapai penyesuaian antara pembangkitan dan permintaan daya, maka pihak penyedia listrik harus mengetahui beban atau permintaan daya listrik untuk beberapa waktu ke depan dengan melakukan perkiraan beban puncak (Defit, 2013).

Metoda peramalan untuk kebutuhan tenaga listrik saat sekarang ini telah berkembang dengan pesat. Neural Network merupakan salah satu sistem cerdas yang dapat digunakan dalam peramalan tersebut. Jaringan saraf tiruan dapat dipakai untuk meramalkan apa yang terjadi di masa depan berdasarkan pola yang terbentuk di masa lampau. Hal ini dapat dilakukan karena kemampuan jaringan saraf tiruan untuk mengingat dan membuat generalisasi dari apa yang sudah ada sebelumnya (Yahya, 2012).

Dari uraian yang telah dijelaskan, penelitian ini akan dilaksanakan dengan menggunakan *Backpropagation Neural Network*. Dimana penelitian peramalan serupa pernah dilakukan oleh I Made Dwi Udayana Putra dengan judul *Implementasi Backpropagation Neural Network Dalam Prakiraan Cuaca Di Daerah Bali Selatan*. Penelitian yang lain yaitu dilakukan oleh Martin Sanjaya yaitu dengan judul *Analysis Capacity Of Submarine Cable Toward Load Growth Of Bali Island Using Backpropagation Neural Network*.

Gardu induk adalah bagian dari suatu sistem tenaga yang dipusatkan pada suatu tempat berisi saluran transmisi dan distribusi. Gardu induk berfungsi untuk mengatur aliran daya listrik dari saluran transmisi yang satu ke saluran transmisi yang lain, mendistribusikan ke konsumen, sebagai tempat untuk menurunkan tegangan transmisi menjadi tegangan distribusi. Dalam penyaluran tenaga listrik Gardu induk memiliki komponen penting berupa penyulang yang berfungsi sebagai sarana untuk menyalurkan energi listrik dari Gardu induk hingga konsumen dan dapat dilakukan lewat udara maupun bawah tanah. Dalam operasi penyaluran

tenaga listrik penyulang-penyulang yang dipakai harus memiliki keandalan sistem yang baik agar terhindar dari gangguan baik gangguan teknis dan non teknis akibat beban berlebih maupun gangguan-gangguan lainnya. Dalam kondisi ini suatu penyulang diharapkan dapat beroperasi secara maksimal agar tidak terjadi kerugian-kerugian kepada konsumen. Disini upaya pemeliharaan dituntut sebaik mungkin dilakukan secara rutin dan periodik.

Berdasarkan sistem penyaluran tenaga listrik pada jaringan distribusi dapat dibedakan menjadi 3 jenis saluran yaitu SUTM (Saluran Udara Tegangan Menengah), SKUTM (Saluran Kabel Udara Tengah Menengah), dan SKTM (Saluran Kabel Bawah Tanah Tengah Menengah). SUTM sangat mendominasi dalam penyaluran tenaga listrik di Indonesia khususnya di Pasuruan Kota, karena jenis SUTM ini dapat ditarik sampai puluhan bahkan ratusan kilometer termasuk percabangannya. SUTM memakai penghantar telanjang yang ditopang oleh tiang dalam proses penyaluran tenaga listrik menuju konsumen dan perusahaan industri. Pada Penyulang Rayon Pasuruan Kota bahan SUTM yang dipakai didominasi oleh AAAC (*All Aluminium Alloy Conductor*) dan AAACS. Kabel dengan bahan ini menggunakan 3 fasa dan dibagi dalam beberapa diameter yaitu A3C 3X70 MM, A3C 3X55, A3C 3X50 MM, dan 3X25 MM. Data tersebut dilihat dari saluran tegangan menengah terpasang menurut panjang sirkit dan jumlah tiang yang memiliki nilai terpanjang dan terbanyak.

Berdasarkan RUPTL PLN pada tahun 2016- 2025 diketahui bahwa kebutuhan energi listrik di Pasuruan Kota khususnya pada *Pasuruan Industrial Estate Rembang (PIER)* naik secara signifikan dari tahun ke tahun. Pertumbuhan beban ini akan berdampak langsung terhadap kapasitas hantar arus listrik yang disalurkan oleh kabel Penyulang. Apabila beban yang ada melampaui batas dari kapasitas hantar arus dari kabel bawah laut maka akan terjadi *over load* (Kelebihan beban) yang akan menyebabkan berbagai macam kerugian-kerugian. Dapat dilihat di tahun 2018 mengalami pembangunan dibidang infrastruktur seperti pembangunan tol Pasuruan-Probolinggo yang akan segera beroperasi pada tahun ini. Sebelumnya pabrik-pabrik besar sudah beroperasi seperti PT. Amerta Indah Otsuka (Pocari Sweat) dan PT. Tirta Fresindo Jaya Pasuruan (Mayora).

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan dibahas pada penelitian kali ini ialah seperti di bawah ini:

1. Bagaimana membangun jaringan dengan metode *Backpropagation Neural Network* untuk peramalan beban pada sistem penyulang PT. PLN (Persero) Rayon Pasuruan Kota?
2. Bagaimana tingkat akurasi hasil peramalan beban menggunakan metode *Backpropagation Neural Network* jika dibandingkan dengan hasil data pada sistem penyulang PT. PLN (Persero) Rayon Pasuruan Kota?
3. Kapan kabel penyulang transmisi PT. PLN (Persero) Rayon Pasuruan Kota yang ada mencapai batas maksimal penyaluran energi listrik?

## 1.3 Batasan Masalah

Adapun beberapa batasan masalah yang digunakan pada penelitian ini yaitu sebagai:

1. Tidak membahas masalah gangguan dari dalam dan luar.
2. Pasokan energi listrik dari Rayon Pasuruan Kota dianggap tetap atau tidak ada penambahan.
3. Data beban sesungguhnya yang digunakan sebagai acuan peramalan dibatasi selama 7 tahun yaitu dari tahun 2011 hingga 2017.
4. Jaringan yang digunakan sebagai peramalan merupakan jaringan terpasang SUTM 20 kV dan tidak membahas tentang SKTM.
5. Simulasi peramalan beban yang digunakan menggunakan *software Matlab*.

#### 1.4 Tujuan

Tujuan yang akan dicapai dalam melaksanakan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mendapatkan perancangan sistem peramalan jangka panjang beban pada sistem penyulang PT. PLN (Persero) Rayon Pasuruan Kota
2. Mengetahui tingkat akurasi hasil peramalan beban menggunakan metode *Backpropagation Neural Network*
3. Mengetahui sampai kapan kabel penyulang yang ada di PT. PLN (Persero) Rayon Pasuruan Kota dapat mentransmisikan daya dan arus maksimal.

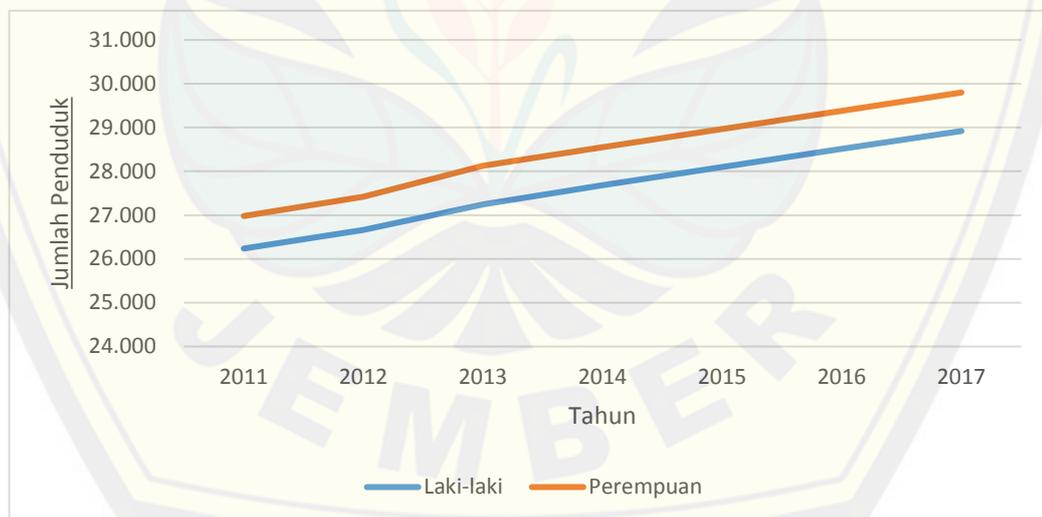
#### 1.5 Manfaat

Manfaat penelitian yang dilakukan ini ialah agar peramalan beban jangka panjang menggunakan metode *Backpropagation Neural Network* dalam penerapannya dapat menjadi salah satu metode untuk PT. PLN (Persero) Rayon Pasuruan Kota untuk mengetahui hasil analisis kapasitas Penyulang terhadap pertumbuhan beban, sehingga diperoleh perkiraan sampai kapan Kabel Penyulang dapat beroperasi dengan maksimal. Dan diharapkan dapat membantu pihak pemerintah dalam merencanakan pembangunan jalur transmisi baru maupun pembangkit listrik baru.

## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Laju Pertumbuhan Penduduk Wilayah Pasuruan

Pasuruan merupakan salah satu kota yang banyak memiliki area pabrik dan industri yang terkenal dan berkembang pesat didalamnya. Hal ini akan berdampak terhadap pertumbuhan kota yang pesat dan derasnya arus modernisasi yang membuat konsumtif masyarakat terhadap pemakaian energi listrik semakin mengalami kenaikan dalam kurun waktu tertentu. Selain itu laju pertumbuhan penduduk yang mendiami wilayah Pasuruan kian hari kian meningkat di setiap tahunnya. Dari tahun 2011 sampai dengan 2017 tercatat jumlah penduduk yang mendiami Wilayah Pasuruan sebanyak 392.574 jiwa, laki-laki berjumlah 193.346 jiwa (49,25%) dan perempuan berjumlah 199.228 jiwa (50,75%), dengan *sex ratio* 97,04%. Mayoritas penduduk wilayah Pasuruan berjenis kelamin perempuan. Berikut akan disajikan grafik laju pertumbuhan penduduk dari tahun 2011 sampai dengan tahun 2017



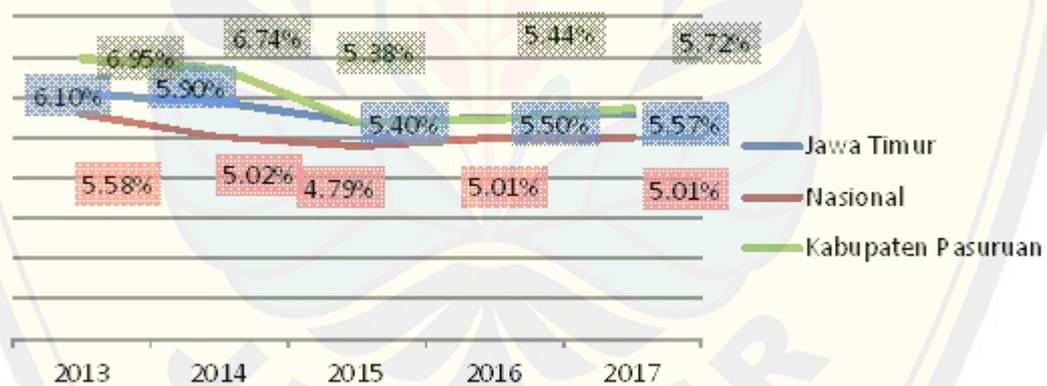
Gambar 2.1 Grafik Laju Perubahan Penduduk Wilayah Pasuruan dari Tahun 2011-2017

Dari gambar 2.1 diatas dapat dilihat dan diamati bahwa laju perubahan penduduk diwilayah Pasuruan cenderung mengalami kenaikan disetiap tahunnya, dimana pertumbuhan penduduk yang naik secara signifikan akan berdampak pada konsumtif masyarakat akan penggunaan energi listrik semakin besar yang

berakibat penambahan beban pada jaringan listrik. Apabila tidak adanya suatu prediksi atau peramalan beban jangka panjang, akan berdampak kerugian-kerugian seperti pemadaman secara bergilir yang dapat menghambat proses keberlangsungan perekonomian wilayah.

## 2.2 Kondisi Perekonomian Wilayah Pasuruan

Pertumbuhan ekonomi dihitung berdasarkan peningkatan volume PDRB (Produk Domestik Regional Bruto) atas dasar harga konstan antara tahun yang bersangkutan dengan tahun sebelumnya. Perekonomian di wilayah Pasuruan tahun 2017 tumbuh sebesar 5,72%. Kondisi tersebut menunjukkan kenaikan dibandingkan tahun 2016 yang tumbuh sebesar 5,44%. Pertumbuhan ekonomi tahun 2017 dipengaruhi oleh tiga lapangan usaha terbesar yaitu Penyediaan Akomodasi dan Makan Minum yang tumbuh sebesar 9,38%, kemudian lapangan usaha Informatika dan Komunikasi tumbuh sebesar 8,55% dan Perdagangan Besar dan Eceran; Reparasi Mobil dan Sepeda Motor tumbuh sebesar 7,21%.

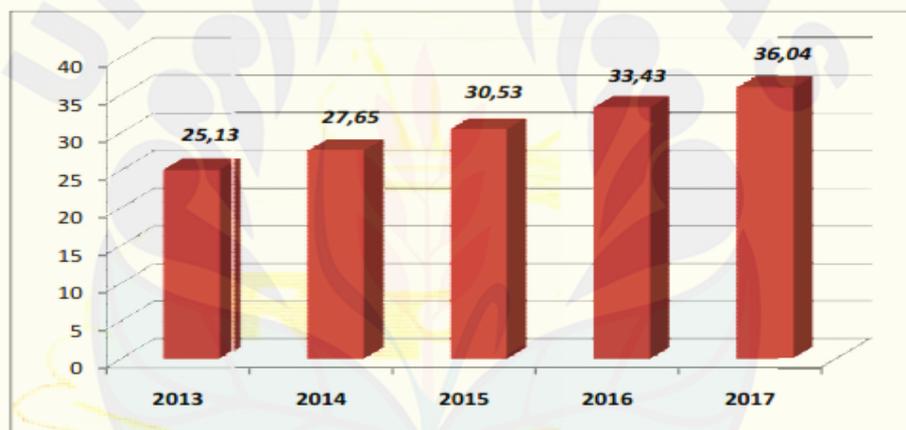


Gambar 2.2 Pertumbuhan Ekonomi Wilayah Pasuruan dibanding Jawa Timur dan Nasional

Dari gambar 2.2 diatas memberikan gambaran struktur perekonomian wilayah Pasuruan. Volume PDRB wilayah Pasuruan tahun 2017 mencapai Rp.124.979 Triliyun. Kontribusi terbesar pada lapangan usaha Industri Pengolahan sebesar 56,33%, kemudian Konstruksi 13,25%, Perdagangan Besar dan Eceran, Reparasi Mobil, dan Sepeda Motor 9,69%, Pertanian, Kehutanan, dan Perikanan 7,39%, serta Penyediaan Akomodasi dan Makan Minum 3,58%.

### 2.3 Pendapatan Perkapita Wilayah Pasuruan

Ketersediaan data pendapatan perkapita untuk daerah di Indonesia dapat dikatakan tidak tersedia, oleh karena itu pengukuran kesejahteraan masyarakat suatu wilayah umumnya didekati dengan dua pendekatan (*proxy*) pendapatan yaitu Produk Domestik Regional Bruto (PRDB) perkapita dan Pengeluaran Konsumsi Perkapita. Walaupun kedua nilai tersebut tidak menggambarkan pendapatan riil penduduk akan tetapi secara empiris terbukti dapat memberikan gambaran pendapatan penduduk untuk dapat menjadi indikator kesejahteraan masyarakat suatu wilayah. Tingkat pendapatan suatu wilayah selain dari kemampuan ekonomi wilayah tersebut juga tergantung jumlah penduduk yang ada di wilayah tersebut. Berikut akan disajikan pendapatan perkapita wilayah Pasuruan.



Gambar 2.3 PDRB Perkapita Wilayah Pasuruan

Dari gambar 2.3 diatas selama kurun waktu tahun 2013 sampai dengan tahun 2017, nilai PDRB perkapita wilayah Pasuruan terus meningkat. Pada tahun 2013, nilainya mencapai 25,13 juta rupiah dan meningkat ditahun berikutnya menjadi 27,65 juta rupiah. Nilai tersebut terus meningkat di tiga tahun berikutnya, hingga tahun 2017 PDRB perkapitanya mencapai 36,04 juta rupiah. Peningkatan tersebut tidak serta merta menunjukkan peningkatan kemakmuran masyarakat wilayah Pasuruan. Akan tetapi, paling tidak informasi ini mengindikasi adanya pendapatan di masyarakat.

## 2.4 Pertumbuhan Industri Wilayah Pasuruan

Industri di wilayah Pasuruan juga merupakan salah satu variabel yang digunakan dalam *input* data pelatihan, karena pertumbuhan industri juga berbanding lurus dengan semakin tingginya kebutuhan beban listrik yang dibutuhkan. Jenis industri ini meliputi industri makanan, minuman, tembakau, tekstil, barang kulit, alas kaki, barang kayu dan hasil hutan lainnya, kertas dan barang cetakan, pupuk, kimia, barang dari karet, semen dan barang galian nonlogam, logam dasar, besi, baja, alat angkutan, mesin dan peralatannya, dan barang lainnya. Pada bulan Januari tahun 2011 jumlah industri di wilayah Pasuruan sebanyak 37583 unit, dan pada bulan Desember 2017 jumlah pertumbuhan ekonomi di wilayah Pasuruan menyentuh angka sebanyak 44348 unit.

## 2.5 Jenis Peramalan Beban

Berdasarkan waktunya, peramalan beban listrik terbagi menjadi 3 jenis, yaitu peramalan beban jangka pendek, peramalan beban jangka menengah, dan peramalan beban jangka panjang. Menurut Dijiteng Marsudi (2006), pembagian kelompok peramalan/perkiraan beban terdiri atas:

### a. Peramalan Beban Jangka Panjang

Peramalan beban jangka panjang ialah suatu kegiatan yang dilakukan untuk memperkirakan besar keluaran suatu beban puncak dalam jangka waktu diatas satu tahun. Peramalan memiliki peran penting dalam konteks pembangkitan, transmisi dan perencanaan jaringan distribusi di sistem tenaga. Tujuan utama dari perencanaan sistem tenaga adalah untuk menentukan ekspansi ekonomi dari peralatan dan fasilitas untuk memenuhi kebutuhan listrik masa depan pelanggan dengan tingkat yang dapat diterima keandalan dan kualitas daya. (Minaye dan Matewose, 2013).

Dalam perencanaan peramalan beban jangka panjang membutuhkan data-data yang diambil tiap triwulan ataupun tiap tahun. Signifikansi adalah untuk membantu menentukan instalasi baru unit pembangkit (termasuk kapasitas ukuran, jenis, lokasi dan waktu) dan perencanaan jaringan, peningkatan kapasitas dan konversi.

Beberapa metode yang dapat digunakan untuk meramalkan beban jangka panjang terdapat beberapa macam, antara lain regresi linear, jaringan syaraf tiruan (*neural network*), *fuzzy*, *moving average*, koefisien korelasi, koefisien beban, *exponential smoting* dan lain-lain.

#### b. Peramalan Beban Jangka Menengah

Peramalan beban jangka menengah merupakan suatu peramalan beban yang memperkirakan besar suatu beban puncak dalam jangka waktu dari satu bulan sampai dengan satu tahun.

#### c. Peramalan Beban Jangka Pendek

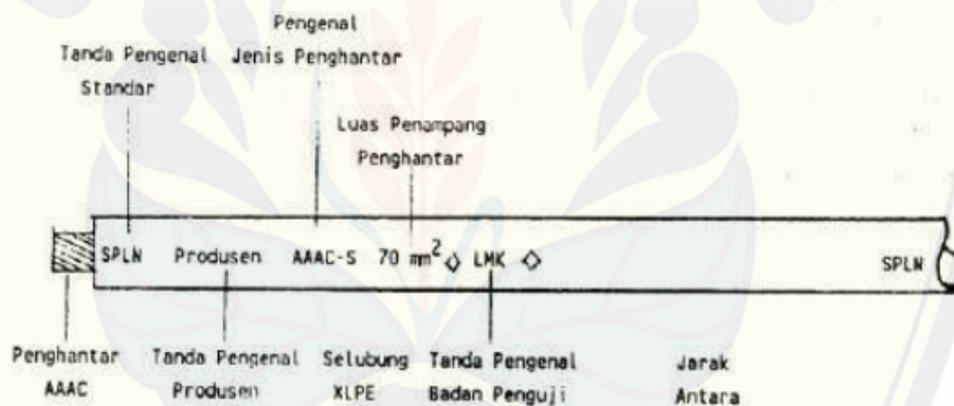
Peramalan beban jangka pendek merupakan suatu peramalan beban yang memperkirakan besar suatu beban puncak dalam jangka waktu beberapa jam, hari, sampai satu minggu.

### 2.6 Kabel Penyulang (*Feeder Cable*)

Kabel Penyulang adalah jaringan yang langsung keluar dari gardu induk yang pada umumnya terdiri atas jaringan fasa dengan fasa tiga, empat kawat dan cabang serta sub cabang dapat berupa jaringan fasa tunggal atau fasa tiga. Fungsinya sebagai sarana untuk menyalurkan energi listrik dari Gardu induk hingga konsumen dan dapat dilakukan lewat udara maupun bawah tanah. Kabel penyulang yang dilewatkan udara yaitu jenis SUTM (Saluran Udara Tinggi Menengah) dan kabel penyulang yang dilewatkan bawah tanah yaitu jenis SKTM (Saluran Kabel Bawah Tanah Tinggi Menengah). Pada dasarnya untuk penyaluran energi listrik yang dipakai didominasi oleh kabel penyulang jenis SUTM, karena pada jenis ini mampu ditarik ratusan hingga ribuan kilo dengan penyangga berupa tiang dalam pendistribusiannya. Pada kabel jenis SKTM juga dipakai untuk penyaluran energi listrik, karena pada jenis ini jumlahnya terbatas dan konstruksi dalam pengerjaannya juga terbilang rumit. Berdasarkan jenis penghantar dan bahan yang dipakai pada SUTM sebagian besar digunakan kabel tanpa isolasi seperti kawat AAAC (*All Aluminium Alloy Conductor*) dan AAAC-S. Pada SKTM sebagian besar yang digunakan ialah kabel tanam berisolasi XLPE (*Crosslink Polythelene*).

Pada penelitian ini kabel yang dipakai adalah jenis SUTM dengan bahan AAAC (*All Aluminium Alloy Conductor*) dan AAAC-S, karena pada jenis ini memiliki sirkuit yang paling panjang dan mendominasi dalam penyaluran energi listrik Penyulang Rayon Pasuruan Kota. Disini akan diteliti pengaruh beban puncak terhadap KHA (Kuat Hantart Arus) maksimum kabel penyulang SUTM dengan bahan AAAC dan AAAC-S serta sampai kapan kabel penyulang transmisi yang ada mencapai batas maksimal dalam penyaluran energi listrik. Berdasarkan penjelasan diatas maka akan dibahas karakteristik kabel penyulang menurut jenis penghantar dan bahan yang dipakai dalam penyaluran energi listrik menuju ke konsumen. Jenis yang dipakai adalah SUTM dengan bahan AAAC dan AAACS, untuk karakteristik masing-masing adalah sebagai berikut

**a. Kabel Penyulang AAAC (*All Aluminium Alloy Conductor*)**



Gambar 2.4 Konstruksi Kabel Penyulang AAAC (Edo, 2016)

Kabel ini terbuat dari campuran logam aluminium, magnesium, dan silikon. Mempunyai keterhantaran listrik tinggi yang berisi magnesium silicide, untuk memberi sifat yang lebih baik. Kabel ini dibuat dari paduan aluminium 6201. AAAC mempunyai suatu anti karat dan kekuatan yang baik, sehingga daya hantarnya lebih baik. Fungsi AAAC digunakan sebagai kabel konduktor telanjang di sirkuit udara yang memerlukan ketahanan mekanik lebih besar dari AAC dan ketahanan korosi yang lebih baik daripada ACSR. Biasanya sistem jaringan tengah menengah sampai dengan 20 kV.

Pada gambar 2.4 diatas merupakan gambar dari konstruksi kabel penyulang AAAC (*All Aluminium Alloy Conductor*). Kabel penyulang ini memiliki diameter berbeda-beda yang dipakai berdasarkan saluran tegangan menengah terpasang (JTM) pada PT. PLN (Persero) Distribusi Area Pasuruan. Berdasarkan Penyulang yang ada di kawasan PT. PLN (Persero) Rayon Pasuruan Kota terdapat 6 penyulang yang beroperasi yaitu Penyulang Imam Bonjol, Penyulang Krampyangan, Penyulang Ngopak, Penyulang Sidogiri, Penyulang Sunan Ampel, dan Penyulang Temenggungan. Pada 6 penyulang tersebut menggunakan 4 macam diameter kabel AAAC atau A3C yang berbeda-beda yaitu A3C 3X70 MM, A3C 3X55 MM, A3C 3X50 MM, dan A3C 3X25 MM. Lebih jelasnya akan dijabarkan pada tabel 2.1 dibawah ini.

Tabel 2.1 Konstruksi Kabel Penyulang SUTM Bahan AAAC

No	Dari Segi	Keterangan
1	KHA Penghantar	Kecepatan angin 0,6 m/detik, Suhu keliling akibat sinar matahari 35 <sup>0</sup> C, Suhu penghantar maksimum 80 <sup>0</sup> C.
2	Bahan Penghantar	Terbuat dari aluminium-magnesium-silicon campuran logam, Keterhantaran listrik tinggi berisi magnesium silicide, Biasanya dibuat dari paduan aluminium 6201.
3	Spesifikasi/Diameter	SPLN 41-8, Dipilin bulat, berkawat banyak (tidak dipadatkan) untuk luas penampang 35 mm <sup>2</sup> s/d 240—2.
4	Selubung	Terbuat dari bahan polietilen ikat silang (XLPE) berwarna hitam, Kandungan karbon hitam >0.5% dan <2.5%.

5	Fungsi	Sebagai kabel konduktor telanjang di sirkuit udara yang memerlukan ketahanan mekanik lebih besar dari AAC dan ketahanan korosi yang lebih baik daripada ACSR.
---	--------	---

#### b. Kabel penyulang AAAC-S

Kabel AAAC-S terdiri dari 2 bagian yaitu selubung/isolatornya yang terbuat dari bahan polietilen silang (XLPE) dan kawat yang terbuat dari aluminium-magnesium-silicon dan beberapa campuran logam lainnya. Campuran logam ini memiliki keterhantaran listrik yang tinggi karena berisi magnesium silicide yang berperan memberikan sifat yang lebih baik. Kabel jenis ini biasa digunakan pada tegangan menengah. Perbedaan AAAC dan AAAC-S yaitu pada isolatornya, untuk AAAC-S menggunakan selubung yang terbuat dari bahan polietilen ikat silang (XLPE). Selubung ikat silang ini bertujuan untuk mengurangi jumlah gangguan pada sistem, seperti gangguan sentuhan dengan pohon. Lebih jelasnya akan dijabarkan pada tabel 2.2 dibawah ini.

Tabel 2.2 Konstruksi Kabel Penyulang SUTM Bahan AAAC-S

No	Dari Segi	Keterangan
1	KHA Penghantar	Suhu penghantar maksimum 90 <sup>0</sup> C dengan beban terus menerus Berlaku pada suhu sekitar maksimum 30 <sup>0</sup> C dan 40 <sup>0</sup> C.
2	Bahan Penghantar	Penghantar terdiri dari Aluminium, Silicon, Magnesium, Fe, Tembaga, Mn, Cr, Zn, dan B.
3	Spesifikasi/Diameter	SPLN 40-1 Dipilinin disesuaikan menurut arah pilinan, langkah pilinan dan perbandingan pilinan sesuai prosesnya, Untuk luas penampang 1.50 mm sampai 4.50 mm.

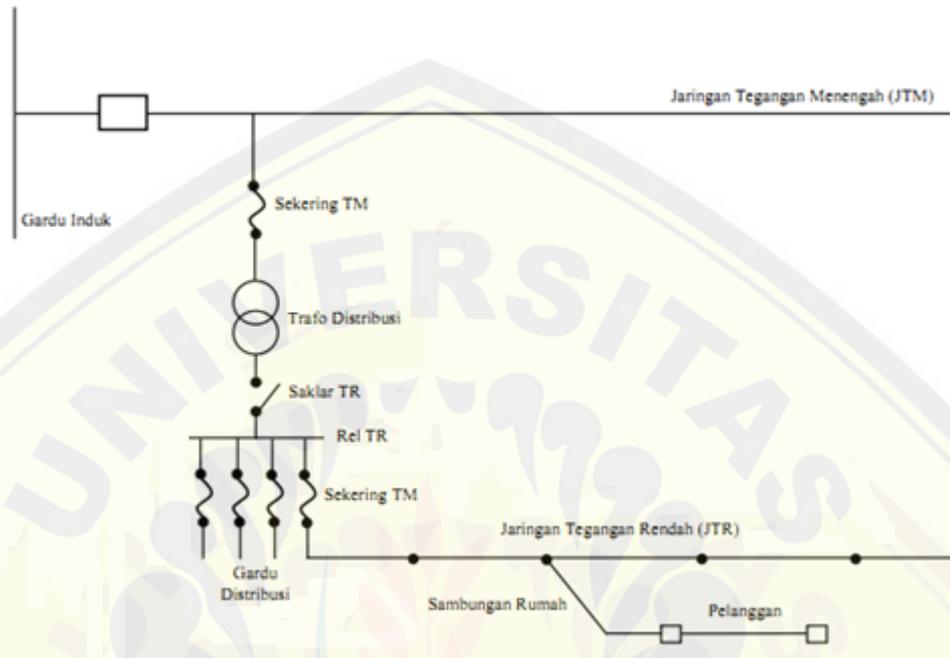
4	Selubung	Terbuat dari bahan polietilen ikat silang (XLPE) berwarna hitam, Kandungan karbon hitam >0.5% dan <2.5%.
5	Fungsi	Kabel yang berbahan dasar alumunium pada umumnya di gunakan sebagai kabel penangkal petir, jaringan listrik dan lain sebagainya pengganti kabel tembaga, di samping harganya terjangkau juga dapat mengurangi resiko dari pencurian.

### 2.7 Sistem Distribusi

Sistem distribusi merupakan bagian dari sistem yang berfungsi untuk menyalurkan dan mendistribusikan tenaga listrik dari pusat suplai daya besar (*Bulk Power Source*) atau disebut gardu induk ke pusat – pusat beban atau konsumen. Dimana pada distribusi, tegangan yang tinggi akan diturunkan menjadi tegangan menengah sebesar 20 KV yang disebut juga dengan distribusi primer. Selanjutnya tegangan yang disalurkan ke kawasan pabrik atau kawasan industri diturunkan menjadi 380 V dan 220 V untuk kawasan perumahan penduduk. Dalam pendistribusian tenaga listrik, harus diperhatikan hal-hal sebagai berikut :

1. Regulasi tegangan terminal konsumen pada jaringan tegangan menengah harus pada batas-batas yang diijinkan sebesar  $\pm 5\%$  dari tegangan kerja untuk sistem radial diatas tanah dan sistem simpulan.
2. Kontinuitas pelayanan dan pengamanan yaitu tidak sering terjadi pemadaman listrik karena gangguan, dan jika terjadi gangguan dapat dengan cepat diatasi. Hal tersebut dapat dicapai dengan pengamanan dengan peralatan pengaman, pentanahan dan sebagainya.
3. Efisiensi sistem distribusi listrik yaitu menekan serendah mungkin rugi – rugi teknis dengan pemilihan peralatan dan pengoperasiannya yang baik dan juga menekan rugi – rugi non teknis dengan mencegah pencurian dan kesalahan pengukuran.

4. Fleksibilitas terhadap penambahan beban. Untuk penyaluran tegangan listrik dari sumber daya listrik baik berupa pusat pembangkitan maupun gardu induk sampai ke pusat – pusat beban digunakan jaringan tegangan menengah.



Gambar 2.5 Sistem Distribusi Tenaga Listrik (Kharis, 2017)

Pada gambar 2.5 merupakan gambar sistem distribusi energi listrik yang menggambarkan pendistribusian listrik dari gardu induk hingga sampai ke konsumen. Sistem distribusi juga memiliki beberapa karakteristik dalam penyaluran tenaga listrik. Hal ini dapat diamati pada tabel berikut :

Tabel 2.3 Karakteristik Jaringan Distribusi Tenaga Listrik (Daman, 2010)

No	Dari Segi	Distribusi
1	Letak Lokasi Jaringan	Dalam Kota
2	Tegangan Sistem	< 30 kV
3	Bentuk Jaringan	Radial, loop, paralel interkoneksi
4	Sistem Penyaluran	SUTM dan SKTM
5	Konstruksi Jaringan	Lebih rumit dan beragam
6	Analisa Jaringan	Lebih kompleks
7	Komponen Rangkaian Yang Diperhitungkan	Komponen R dan L
8	Penyangga Jaringan	Tiang jaringan
9	Tinggi Penyangga Jaringan	Kurang dari 20 m
10	Kawat Penghantar	BCC, SAC, AAC, dan AAAC/S
11	Kawat Tarikan	Dengan kawat tarikan

12	Isolator Jaringan	Jenis pasak (pin), Jenis post (batang), Jenis gantung, Jenis cincin
13	Besarnya Andongan	0 – 1 m
14	Fungsinya	Menyalurkan daya ke konsumen
15	Bahan Penyangga	Baja, besi, kayu
16	Jarak Antar Tiang	40 – 100 m

## 2.8 Sistem Pendistribusian Tenaga Listrik

Sistem pendistribusian tenaga listrik ialah penyaluran energi listrik dari pembangkit ke konsumen. Pada sistem pendistribusian listrik dibagi menjadi dua macam, yaitu sistem pendistribusian langsung dan sistem pendistribusian tidak langsung (Daman, 2010).

### 2.8.1 Sistem Pendistribusian Langsung

Sistem pendistribusian langsung ialah suatu sistem untuk menyalurkan tenaga listrik yang dilakukan tanpa perantara dari pusat pembangkit tenaga listrik, dan tidak melalui jaringan transmisi terlebih dahulu. Sistem pendistribusian jenis ini digunakan jika pusat pembangkit tenaga listrik memiliki jarak yang tidak begitu jauh dari pusat-pusat beban listrik, dan biasanya terdapat pada daerah pelayanan beban ataupun di pinggiran kota.

### 2.8.2 Sistem Pendistribusian Tidak Langsung

Sistem pendistribusian tak langsung ialah suatu sistem untuk menyalurkan energi listrik yang dilakukan jika pusat pembangkit tenaga listrik memiliki jarak yang jauh dari pusat-pusat beban, sehingga untuk penyaluran tenaga listrik jenis ini membutuhkan sebuah jaringan transmisi sebagai jaringan perantara sebelum kemudian dihubungkan dengan jaringan distribusi yang langsung menyalurkan energi listrik kepada konsumen.

Hal-hal yang harus diamati dalam pendistribusian tenaga listrik ialah:

1. Faktor keterandalan sistem.
2. Faktor kualitas sistem.
3. Faktor keselamatan sistem dan publik.
4. Faktor pemeliharaan sistem.
5. Faktor perencanaan sistem.

## 2.9 Rugi-rugi Saluran

Rugi-rugi daya merupakan daya yang hilang (*losses*) dalam penyaluran daya listrik dari sumber daya listrik utama ke suatu beban seperti ke rumah-rumah, ke gedung-gedung, dan lain sebagainya. Dalam penyaluran daya listrik ke beban pasti terdapat rugi-rugi daya yang diakibatkan oleh faktor-faktor tertentu seperti jarak saluran listrik ke beban yang terlalu jauh, yang juga akan berakibat bertambah besarnya tahanan saluran kabel yang digunakan. Tahanan kabel, bahan dielektrik, tahanan pelindung kabel, dan arus pemuatan merupakan yang mempengaruhi rugi-rugi daya dalam saluran transmisi. Pada kabel penyulang rugi-rugi daya diakibatkan oleh arus beban dan non arus beban dan dirumuskan sebagai berikut :

$$P_{loss} = P_I + P_{nI} \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana :

$P_I$  = rugi arus beban (W)

$P_{nI}$  = rugi non arus beban (W)

$P_{loss}$  = rugi total (W)

## 2.10 Rugi-rugi Konduktor, Selubung (*Sheath*), dan Perisai (*Armour*)

### a. Tahanan Arus Searah Konduktor

Tahanan arus searah ( $R_{dc}$ ) pada konduktor dapat dirumuskan :

$$R_{dc} = \frac{\rho l}{A} \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana :

$R_{dc}$  = Tahanan searah ( $\Omega/m$ )

$\rho$  = resistivitas konduktor ( $\Omega/m$ )

$l$  = panjang konduktor (m)

$A$  = luas penampang (mm)

Satuan yang digunakan harus tetap atau satuannya tetap. Dalam prakteknya, beberapa satuan yang pakai berbeda dengan unit yang digunakan dalam perhitungan. Misalnya, dalam satuan internasional,  $l$  adalah meter,  $A$  adalah meter persegi, dan  $\rho$  adalah ohm per meter. Sedangkan dalam sistem tenaga di Amerika Serikat, satuan  $\rho$  adalah  $\Omega$ -cmil/ft dan  $A$  adalah mil melingkar (cmil). Resistivitas  $\rho$

adalah 10.66  $\Omega$ -cmil/ft, atau  $1.77 \times 10^{-8} \Omega$ -m, pada 20°C untuk konduktor jenis tembaga yang ditarik kencang dan 10.37  $\Omega$ -cmil/ft pada 20°C untuk tembaga yang ditarik standart. Sedangkan untuk konduktor jenis aluminium yang ditarik kencang mempunyai resistivitas  $\rho$  sebesar 17.00  $\Omega$ -cmil/ft atau  $2.83 \times 10^{-8} \Omega$ -m pada suhu 20°C. Tahanan arus searah pada konduktor dalam hal suhu dirumuskan sebagai berikut :

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{T_0 + t_2}{T_0 + t_1} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :

R1 = resistansi konduktor pada suhu t1

R2 = resistansi konduktor pada suhu t2

t1, t2 = suhu konduktor dalam derajat Celcius

T<sub>0</sub> = konstan bervariasi dengan jenis bahan konduktor

= 234.5 untuk konduktor jenis tembaga

= 241 untuk tembaga yang ditarik keras

= 228 untuk aluminium ditarik keras

**a. Rugi-rugi Selubung (*Sheath*) dan Perisai (*Armour*)**

Rugi selubung (*sheath losses*) merupakan kerugian yang diakibatkan oleh adanya arus akibat induksi pada selubung logam. Penelitian mengenai persamaan dasar untuk menghitung kerugian akibat sheath saat ini sedang dikembangkan oleh sejumlah penulis. Dalam beberapa kasus, efek yang dikenal dengan istilah *eddy currents* dimasukkan dalam persamaan yang sedang dikembangkan. Pada persamaan disajikan IEC yang dipublikasikan pada tahun 1982 dan paper oleh Noher-McGrath (1957), kerugian arus *eddy* dapat diabaikan kecuali untuk kasus kabel dengan segmental yang sangat besar. Semua persamaan untuk mencari selubung diasumsikan bahwa fase dalam keadaan seimbang (*ballance*). Persamaan ini juga memerlukan data tentang suhu pada selubung. Untuk perhitungan pertama suhu selubung harus diestimasi agar dapat di perkirakan setelah menghitung rating arus. Rugi-rugi panas pada perisai timbul karena adanya arus sirkulasi pada bagian perisai yang diakibatkan oleh induksi dari aliran arus pada penghantar. Persamaan lebih jelasnya akan dijelaskan dibawah ini.

$$\lambda_1 = \lambda_1' + \lambda_1'' \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana :

$\lambda_1$  = daya hilang dalam selubung

$\lambda_1'$  = kerugian akibat sirkulasi arus

$\lambda_1''$  = rugi-rugi histerisis

## 2.11 Kemampuan Hantar Arus (KHA)

Kemampuan hantar arus merupakan kemampuan suatu penghantar listrik dalam menghantarkan arus listrik. Selain itu kapasitas hantar arus juga merupakan nilai arus maksimum yang dapat dihantarkan atau ditransmisikan oleh suatu penghantar, konduktor, gawai atau paratus, pada kondisi yang ditentukan berdasarkan aspek-aspek lingkungan, teknis material serta pada konstruksi penghantar tersebut yaitu :

- a. Resistansi panas isolasi
- b. Resistansi selubung (*sheath*)
- c. Resistansi perisai (*armour*)
- d. Resistansi panas selubung (*sheath*)
- e. Resistansi panas luar kabel
- f. *Rating* suhu
- g. Tahanan panas *sheath-armour*
- h. Kerugian dielektrik

Nilai arus yang melewati suatu penghantar tidak boleh melebihi batas dari kapasitasnya, hal ini mengakibatkan banyak kerusakan dan gangguan pada penghantar tersebut. Sehingga dapat berdampak pada kontinuitas dalam penyaluran energi listrik yang dapat merugikan konsumen. Oleh karena itu perkiraan dan pemeliharaan sangat dibutuhkan dalam prosesnya.

## 2.12 Klasifikasi dan Karakteristik Beban Tenaga Listrik

### 2.12.1 Klasifikasi Beban

Berdasarkan jenis konsumen energi listrik, secara garis besar, ragam beban dapat diklasifikasikan ke dalam :

1. Beban rumah tangga, pada umumnya beban rumah tangga berupa lampu untuk penerangan, alat rumah tangga, seperti kipas angin, pemanas air, lemari es, penyejuk udara, mixer, oven, motor pompa air, dan sebagainya. Beban rumah tangga biasanya memuncak pada malam hari.
2. Beban komersial, pada umumnya terdiri atas penerangan untuk reklame, kipas angin, penyejuk udara, dan alat – alat listrik lainnya yang diperlukan untuk restoran. Beban hotel juga diklasifikasikan sebagai beban komersial (bisnis) begitu juga perkantoran. Beban ini secara drastis naik di siang hari untuk beban perkantoran dan pertokoan dan menurun di waktu sore.
3. Beban industri dibedakan dalam skala kecil dan skala besar. Untuk skala kecil banyak beroperasi di siang hari sedangkan industri besar sekarang ini banyak yang beroperasi sampai 24 jam. Dimana faktor beban untuk skala besar dapat diambil 70 – 80% dan untuk skala kecil faktor beban berkisar 60 – 65%.

#### 2.12.2 Karakteristik Beban

Karakteristik beban diperlukan agar sistem tegangan dan pengaruh thermis dari pembebanan dapat dianalisis dengan baik. Analisis tersebut termasuk dalam menentukan keadaan awal yang akan di proyeksikan dalam perencanaan selanjutnya. Karakteristik yang harus diperhatikan dalam melakukan peramalan yaitu pembagian peramalan beban yang didasarkan pada suatu periode penggunaan beban tersebut pada suatu sistem. Berikut penjelasan pembagian peramalan beban menurut periode penggunaan.

##### 1. Karakteristik Beban Harian

Karakteristik beban harian ini adalah dasar perhitungan tentang kebutuhan pembebanan. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi karakteristik beban harian ini seperti cuaca pada suatu daerah, maupun kondisi daerah beban tersebut.

##### 2. Karakteristik Beban Bulanan

Karakteristik beban bulanan merupakan data yang berupa beban dengan pengambilan datanya didasarkan pada beban puncak harian selama satu bulan penuh.

### 3. Karakteristik Beban Tahunan

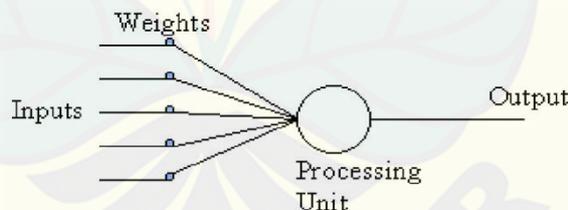
Karakteristik beban tahunan mempunyai konsep yang menyerupai karakteristik beban bulanan, yaitu pada karakteristik beban tahunan diperoleh dari beban puncak dari beban bulanan selama satu tahun penuh.

#### 2.13 *Neural Network* (NN)

*Neural Network* atau biasa disebut dengan Jaringan Syaraf Tiruan (JST) adalah suatu sistem pemrosesan informasi yang mempunyai karakteristik menyerupai jaringan syaraf biologi. Ide dasarnya adalah mengadopsi cara kerja otak manusia yang memiliki ciri-ciri *pararel processing*, *processing element* dalam jumlah besar dan *fault tolerance* (Setiabudi, 2015).

Secara sederhana NN adalah sebuah alat pemodelan data statistik non-linear yang dapat digunakan untuk memodelkan hubungan antara *input* dan *output* untuk menemukan pola-pola pada data. Pada dasarnya, penambahan pengetahuan yang dilakukan oleh *neural network* dapat dilakukan dengan cara pembelajaran pada sistem jaringan untuk dapat mengenali suatu objek ataupun sesuatu. Neuron adalah bagian dari pemrosesan suatu *Neural Network* (Noviana, 2008).

Dibawah ini merupakan bentuk dasar dari suatu *neuron*.



Gambar 2.6 Bentuk Dasar *Neuron* (Noviana, 2008)

Keterangan untuk gambar 2.6 diatas yaitu sebagai berikut :

1. *Input* ialah suatu masukan yang digunakan saat mengenali suatu pola atau objek ataupun saat melakukan pelatihan.
2. *Weight* ialah beban yang keadaannya selalu berubah setiap kali diberikan *input* sebagai proses pelatihan.
3. *Processing Unit* ialah suatu tempat untuk mengenali suatu aktivitas atau objek yang mengalami perubahan dengan menggunakan pembebanan yang ditentukan.

4. *Output* ialah suatu keluaran dari proses pelatihan atau pembelajaran terhadap suatu objek.

JST (Jaringan Syaraf Tiruan) dibentuk sebagai generalisasi model matematika dari jaringan syaraf biologi, dengan asumsi bahwa :

1. Pemrosesan informasi terjadi banyak elemen sederhana (*neuron*).
2. Sinyal dikirim diantara *neuron-neuron* melalui penghubung-penghubung.
3. Penghubung antar neuron memiliki bobot yang memperkuat atau memperlemah sinyal.
4. Untuk menentukan *output*, setiap *neuron* menggunakan fungsi aktivasi (biasanya bukan fungsi linier) yang dikenakan pada jumlahan *input* yang diterima. Besarnya *output* ini selanjutnya dibandingkan dengan suatu batas ambang.

Metode neural network merupakan salah satu metode yang terbaik dalam permalan beban. Dibandingkan dengan metode yang lain, neural network memiliki nilai eror peramalan yang lebih kecil. Seperti pada penelitian Peramalan Beban Puncak Listrik Jangka Pendek Menggunakan Metode Jaringan Syaraf tiruan (Triwulan, 2013). Pada penelitian tersebut membandingkan hasil peramalan beban menggunakan JST dan koefisien beban, hasilnya lebih baik menggunakan JST karena eror persen yang di dihasilkan JST rata-rata sebesar 0,12 % dengan akurasi 99,88%. Sedangkan eror persen yang dihasilkan oleh metode koefisien beban sebesar 1,85% dengan akurasi sebesar 98,15 %. Pada penelitian lain yaitu Peramalan Beban Jangka Panjang Sistem Kelistrikan Kota Palu Menggunakan Metode Logika Fuzzy (Massarang, 2015), penelitian tersebut membandingkan hasil peramalan fuzzy dengan RUPTL PLN tahun 2015-2024. Hasil peramalan tersebut memiliki selisih yang cukup besar yaitu sebesar 9,8820%.

JST ditentukan 3 hal :

1. Pola hubungan antar *neuron* (disebut arsitektur jaringan).
2. Metode untuk menentukan bobot penghubung (disebut metode *training/learning/algorithm*).
3. Fungsi aktivasi.

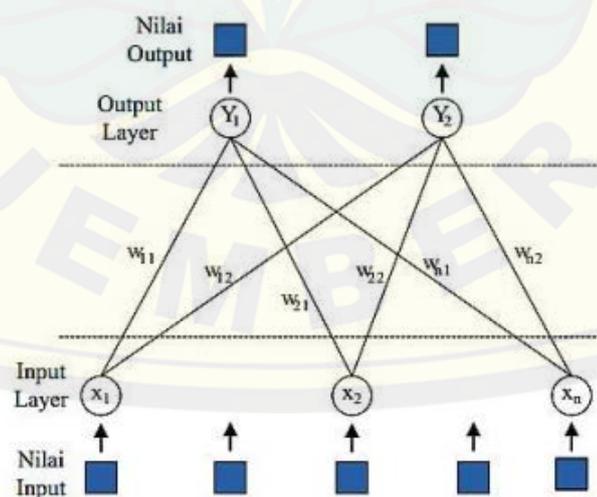
### 2.13.1 Arsitektur *Neural Network* (ANN)

Berikut ini beberapa arsitektur jaringan yang sering dipakai dalam *neural network* untuk menentukan konfigurasi antara lain :

#### 1. Jaringan Layer Tunggal (*Single Layer Network*)

Suatu jaringan yang tersusun atas 1 layer *input* dan juga 1 layer *output* disebut juga dengan jaringan layer tunggal. *Neuron* pada suatu layer *input* mempunyai hubungan dengan *neuron* yang berada pada layer *output*. Pada jaringan ini, penerimaan *input* akan langsung diolah oleh jaringan tanpa melalui perantara layer tersembunyi.

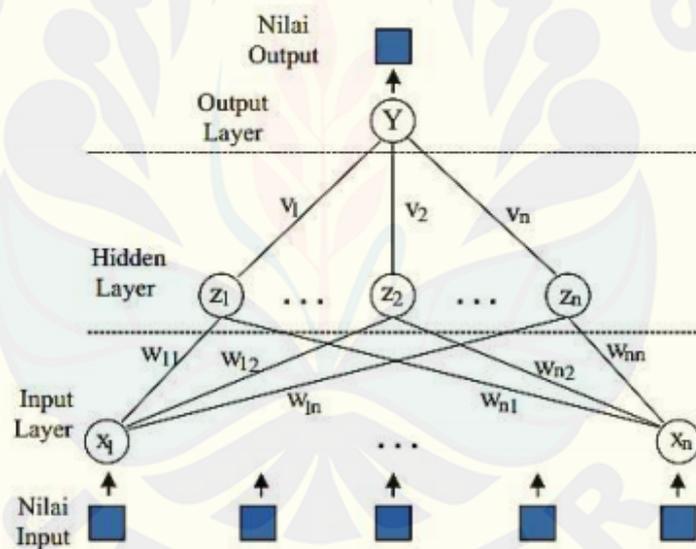
JST layer tunggal mempunyai kekurangan, yaitu keterbatasan jaringan dalam mengenal suatu pola. Kekurangan tersebut dapat ditangani dengan cara menambah satu atau beberapa *hidden layer* yang berada diantara *input layer* dan *output layer* (Pratama, 2016). Algoritma jaringan syaraf tiruan yang menggunakan metode jenis ini yaitu *perceptron* dan *adaline*. Pada Gambar 2.8 dapat diamati arsitektur *single layer network* yang memiliki  $n$  buah *input layer* ( $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ ) serta 2 buah *output layer* ( $Y_1, Y_2$ ) dengan bobot masing-masing yang menghubungkan antara *input layer* dengan *output layer* ( $W_{11}, W_{12}, W_{21}, W_{22}, W_{n1}, W_{n2}$ ).



Gambar 2.7 Arsitektur *Single Layer Network* (Siregar, 2013)

## 2. Jaringan Layer Jamak (*Multi Layer Network*)

Jaringan dengan lapisan jamak memiliki ciri khas tertentu yaitu memiliki 3 jenis *layer* yaitu *layer input*, *layer output*, dan *layer* tersembunyi. Jaringan dengan banyak lapisan ini dapat menyelesaikan permasalahan yang kompleks dibandingkan jaringan dengan lapisan tunggal. Namun, proses pelatihan sering membutuhkan waktu cenderung lama. Contoh algoritma *neural network* yang menggunakan metode ini yaitu *backpropagation*. Pada Gambar 2.9 diperlihatkan arsitektur *multi layer network* dengan  $n$  buah *input layer* ( $X_1, \dots, X_n$ ),  $n$  buah *hidden layer* ( $Z_1, Z_2, \dots, Z_n$ ) dan sebuah *output layer* ( $Y$ ) dengan bobot yang menghubungkan *input layer* dengan *hidden layer* ( $W_{11}, W_{12}, W_{1n}, W_{n1}, W_{n2}, W_{nn}$ ) dan bobot yang menghubungkan *hidden layer* dengan *output layer* ( $V_1, V_2, \dots, V_n$ ).



Gambar 2.8 *Multi Layer Network* (Siregar, 2013)

### 2.13.2 Fungsi Transfer

*Neural Network* memiliki karakter dimana *neural network* bergantung kepada bobot, serta fungsi masukan dan keluaran (fungsi transfer) yang memiliki ciri-ciri berbeda pada setiap unitnya. Fungsi transfer terbagi menjadi tiga jenis seperti berikut.

1. *Linier Units*, dimana aktifitas pada *output* ialah berbanding lurus dengan jumlah bobot data keluaran.

2. *Threshold Units*, keluaran diatur menjadi satu dari beberapa tingkatan yang bergantung dari jumlah masukan ialah lebih rendah atau lebih tinggi dari nilai ambangnya.
3. *Sigmoid Units*, keluaran akan berubah secara berkelanjuta akan tetapi tidak memiliki bentuk yang *linear*. Unit jenis ini memiliki kesamaan pemodelan yang lebih tinggi daripada sel syaraf yang sebenarnya daripada dengan *linear* dan juga *threshold unit*, tetapi ketiga fungsi transfer tersebut masih harus diperkirakan kembali dengan menggunakan perkiraan yang kasar.

Agar *neural network* dapat menegerjakan beberapa pekerjaan yang khusus, pemilihan beberapa unitnya harus menggunakan unit yang tepat agar dapat dihubungkan ntuk mengatur bobotnya. Hubungan tersebut akan menentukan apakah mungkin suatu *unit* mempengaruhi *unit* yang lain (Nasution, 2009).

#### 2.13.3 Aplikasi *Neural Network*

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

1. Pengenalan Pola (*Pattern Recognition*) = *Neural network* dapat dipakai untuk mengenali pola (misal huruf, angka, suara atau tanda tangan) yang sudah sedikit berubah. Hal ini mirip dengan otak manusia yang masih mampu mengenali orang yang sudah beberapa waktu tidak dijumpainya (mungkin wajah atau bentuk tubuhnya yang sudah sedikit berubah).
2. *Signal Processing* = *Neural network* (model *Adaline*) dapat dipakai untuk menekan *noise* dalam saluran telpon.
3. Peramalan = *Neural network* juga dapat dipakai untuk meramalkan apa yang akan terjadi di masa yang akan datang berdasarkan pola kejadian yang ada di masa yang lampau. Peramalan ini dapat dilakukan mengingat kemampuan *neural network* dapat membuat generalisasi dari apa yang sudah ada sebelumnya. *Neural network* juga dapat menyelesaikan masalah dalam bidang kontrol dan kedokteran. (Siregar, 2013).

### 2.14 Backpropagation Neural Network

*Backpropagation* merupakan algoritma pembelajaran yang terawasi dan biasanya digunakan oleh *perceptron* dengan banyak lapisan untuk mengubah bobot-bobot yang terhubung dengan *neuron-neuron* yang ada pada lapisan tersembunyinya. Algoritma *backpropagation* menggunakan *error output* untuk mengubah nilai bobot-bobotnya dalam arah mundur (*backward*). Untuk mendapatkan error ini, tahap perambatan maju (*forward propagation*) harus dikerjakan terlebih dahulu (Kusumadewi, 2004).

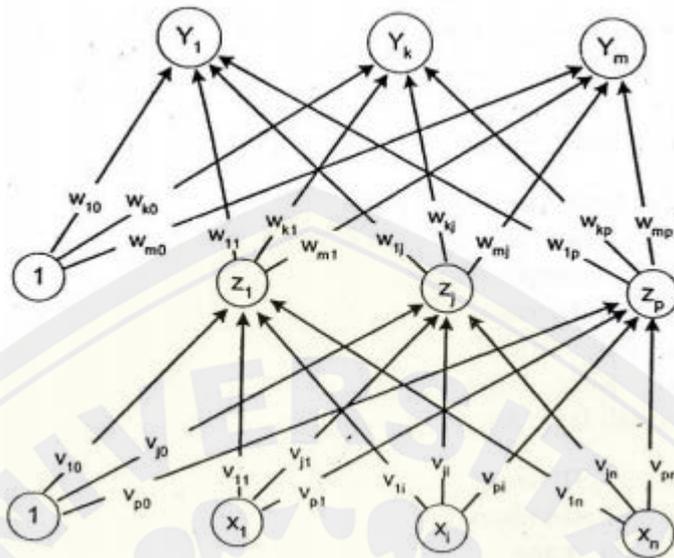
*Backpropagation* juga merupakan salah satu dari beberapa metode yang digunakan dalam *neural network* dan yang paling sering digunakan dalam berbagai bidang aplikasi, seperti pengenalan pola, peramalan dan optimisasi. Hal ini dikarenakan metode ini menggunakan pembelajaran yang terbimbing. Pola masukan dan target diberikan sebagai pasangan data. Bobot-bobot awal dilatih dengan melalui tahap maju untuk mendapatkan *error* keluaran yang selanjutnya *error* ini digunakan dengan tahap mundur untuk memperoleh nilai bobot yang sesuai agar dapat memperkecil nilai *error* sehingga target keluaran yang dikehendaki tercapai.

Tujuan dari model ini adalah untuk mendapatkan keseimbangan antara kemampuan jaringan mengenali pola yang digunakan selama proses pelatihan berlangsung serta kemampuan jaringan memberikan respon yang benar terhadap pola masukan yang berbeda dengan pola masukan selama pelatihan.

#### 2.14.1 Arsitektur Backpropagation

*Backpropagation* memiliki beberapa unit yang ada dalam satu atau lebih layar tersembunyi (*hidden layer*). Gambar 2.10 adalah arsitektur *backpropagation* dengan  $n$  buah masukan (ditambah sebuah bias), sebuah layar tersembunyi yang terdiri dari  $p$  unit (ditambah sebuah bias), serta  $m$  unit keluaran.

$V_{ji}$  merupakan bobot garis dari unit masukan  $x_i$  ke unit layar tersembunyi  $z_j$  ( $v_{j0}$  merupakan bobot garis yang menghubungkan bias di unit masukan ke unit layar tersembunyi  $z_j$ ).  $W_{kj}$  merupakan bobot dari unit layar tersembunyi  $z_j$  ke unit keluaran  $y_k$  ( $w_{k0}$  merupakan bobot dari bias di layar tersembunyi ke unit keluaran  $z_k$ ).



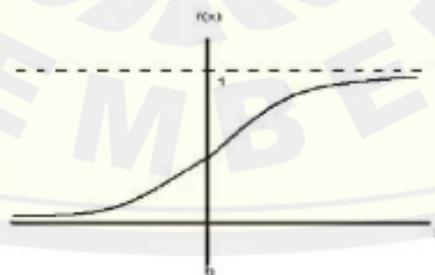
Gambar 2.9 Arsitektur *Backpropagation* (Ricky, 2016)

Pada gambar 2.9 diatas merupakan arsitektur backpropagation, dalam *backpropagation* fungsi aktivasi yang dipakai harus memenuhi beberapa syarat yaitu kontinu, terdiferensial dengan mudah, dan merupakan fungsi yang tidak turun. Salah satu fungsi yang memenuhi ketiga syarat tersebut sehingga sering dipakai adalah fungsi *sigmoid biner* yang memiliki range (0,1).

$$f(x) = \frac{1}{1+e^{-x}} \dots\dots\dots(2.5)$$

dengan turunan

$$f'(x) = f(x) (1 - f(x)) \dots\dots\dots(2.6)$$



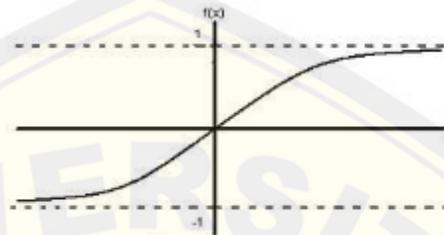
Gambar 2.10 Grafik Fungsi *Sigmoid Biner*

Fungsi lain yang sering dipakai adalah fungsi sigmoid bipolar yang bentuk fungsinya mirip dengan fungsi *sigmoid biner*, tapi dengan range (-1, 1).

$$f(x) = \frac{2}{1+e^{-x}} - 1 \dots\dots\dots(2.7)$$

dengan turunan

$$f'(x) = \frac{(1+f(x))(1-f(x))}{2} \dots\dots\dots(2.8)$$



Gambar 2.11 Grafik Fungsi *Sigmoid Bipolar*

Fungsi sigmoid memiliki nilai maksimum adalah 1, maka untuk pola yang targetnya lebih besar 1, pola masukan dan keluaran harus ditransformasikan sehingga semua polanya memiliki range yang sama seperti fungsi sigmoid yang dipakai. Alternatif lain adalah menggunakan fungsi aktivasi sigmoid hanya pada layar yang bukan layar keluaran. Pada layar keluaran fungsi aktivasi yang dipakai adalah fungsi identitas  $f(x) = x$ .

#### 2.14.2 Algoritma Pelatihan *Backpropagation (Training Process)*

Di dalam proses pelatihan *backpropagation* terdapat tiga tahap. Tahap pertama ialah tahap maju (*feed-forward*). Pada tahap ini seluruh proses awal inialisasi bobot-bobot *input* dilakukan. Pada tahap ini juga ditentukan angka pembelajaran ( $\alpha$ ), nilai toleransi *error* dan jumlah *epoch* (siklus setiap pola pelatihan) yang diperlukan selama proses komputasi berlangsung.

Setelah semua proses inialisasi dilakukan, maka langkah selanjutnya ialah proses maju. Setiap unit masukan  $x_i$  akan mengirimkan sinyal masukan ke lapisan tersembunyi. Setelah dihitung dengan menggunakan fungsi aktivasi maka keluarannya akan dikirimkan ke lapisan di atasnya, yaitu lapisan *output*. Setelah nilai keluaran ( $y_k$ ) diperoleh, maka dibandingkan dengan target keluaran sebenarnya ( $t_k$ ). Selisih  $y_k - t_k$  disebut dengan *error* ( $\delta_k$ ). Jika nilai *error* lebih kecil atau sama dengan dari nilai ambang maka proses iterasi dihentikan, tetapi jika

tidak maka nilai *error* tersebut digunakan untuk memodifikasi bobot-bobo untuk mengoreksi kesalahan yang terjadi.

Tahap kedua adalah tahap mundur atau *backpropagation*. Pada tahap ini, nilai error ( $\delta_k$ ) yang diperoleh pada di lapisan *output* digunakan untuk mengoreksi bobot-bobot yang ada pada lapisan tersembunyi yang berhubungan langsung dengan lapisan *output*. Setelah itu nilai *error* ( $\delta_j$ ) di setiap unit pada lapisan tersembunyi juga dihitung untuk mengoreksi bobot-bobot yang menghubungkan lapisan *input* dengan lapisan tersembunyi. Tahap ketiga adalah tahap pengoreksian bobot. Setelah seluruh bobot pada lapisan *input* dan lapisan tersembunyi dimodifikasi sesuai dengan besar faktor *error*, makaketiga fase ini diulang secara terus menerus sampai kondisi berhenti dipenuhi. Kondisi berhenti yang dimaksud adalah jika jumlah *epoch* yang ditetapkan tercapai atau jika nilai *error* jaringan telah sama dengan atau lebih kecil dari nilai toleransi *error* yang ditetapkan sebelumnya. Pada tahap pelatihan, jaringan diharapkan dapat melatih seluruh data pelatihan yang diberikan untuk mendapatkan bobot akhir jaringan yang akan digunakan pada tahap pengujian.

#### 2.14.3 Algoritma Pengujian *Backpropagation* (*Testing Process*)

Setelah proses pelatihan, *backpropagation* dapat digunakan untuk proses pengujian jaringan. Pada proses pengujian, tahap yang dilakukan hanya sampai tahap maju, tidak ada tahap mundur apalagi tahap modifikasi bobot. Seluruh bobot *input* diambil dari nilai bobot terakhir yang diperoleh dari proses pelatihan. Pada tahap pengujian ini, jaringan diharapkan dapat mengenali pola berdasarkan data baru yang diberikan (generalisasi).

## BAB 3. METODE PENELITIAN

### 3.1 Prosedur Penelitian

Dalam pembuatan skripsi dan penelitian ini, langkah-langkah prosedur yang dilakukan adalah sebagai berikut :

#### 1. Studi Literatur

Studi literatur merupakan kajian penulis atau referensi-referensi yang ada baik berupa buku, judul jurnal, *paper* maupun karya-karya ilmiah yang berhubungan dengan penyelesaian laporan ini dijadikan acuan untuk menganalisa kabel penyulang serta merancang peralaman beban.

#### 2. Pengambilan Data

Dalam hal ini penulis akan melakukan perijinan kepada PT. PLN (Persero) Rayon Pasuruan Kota untuk pengambilan data. Adapun data-data yang diambil yaitu :

- a. Data beban puncak dari tahun 2011 hingga 2017
- b. Laju pertumbuhan penduduk dari tahun 2011 hingga 2017
- c. Data beban listrik tersebut merupakan data beban historis yang akan digunakan pada penelitian ini.
- d. Karakteristik dan spesifikasi kabel penyulang yang ada pada di PT. PLN (Persero) Rayon Pasuruan Kota.

#### 3. Pembuatan Sistem Peramalan *Neural Network* Berbasis *Backpropagation*.

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

#### 4. Training *Neural Network*

Apabila dalam melakukan perencanaan konfigurasi peramalan menggunakan *neural network* selesai, selanjutnya *training* dilakukan terhadap hasil dari metode *backpropagation neural network* maka akan muncul grafik dan data sebagian hasil peramalan yang dilakukan tadi. Tujuan yang ingin dicapai dari agar

pelatihan (*training*) tersebut yaitu untuk melakukan proses pembelajaran dengan backpropagation agar dapat menentukan nilai bobot baru. Data *input* dan data target dilatih agar mendapatkan suatu nilai bobot baru. Disini parameter yang harus diperhatikan dalam inisialiasi pada jaringan yaitu :

- a. Toleransi *error*
- b. Maksimum *error*
- c. Menentukan iterasi (*epoch*)
- d. Menentukan fungsi aktivasi
- e. Menentukan *hidden layer* dan *neuron*
- f. Menentukan fungsi pelatihan jaringan
- g. Menentukan *learning rate*

Jika semua tahapan pelatihan (*training*) telah dilakukan, maka tahapan selanjutnya yaitu melakukan pelatihan ulang pada parameter diatas hingga mendapatkan bobot terbaik dengan *error* kecil. Bobot terbaik tersebut akan digunakan untuk melakukan perbandingan perhitungan kapasitas kabel penyulang dan digunakan untuk melakukan pengujian (*testing*).

#### 5. Analisa Hasil Peramalan dan Perhitungan

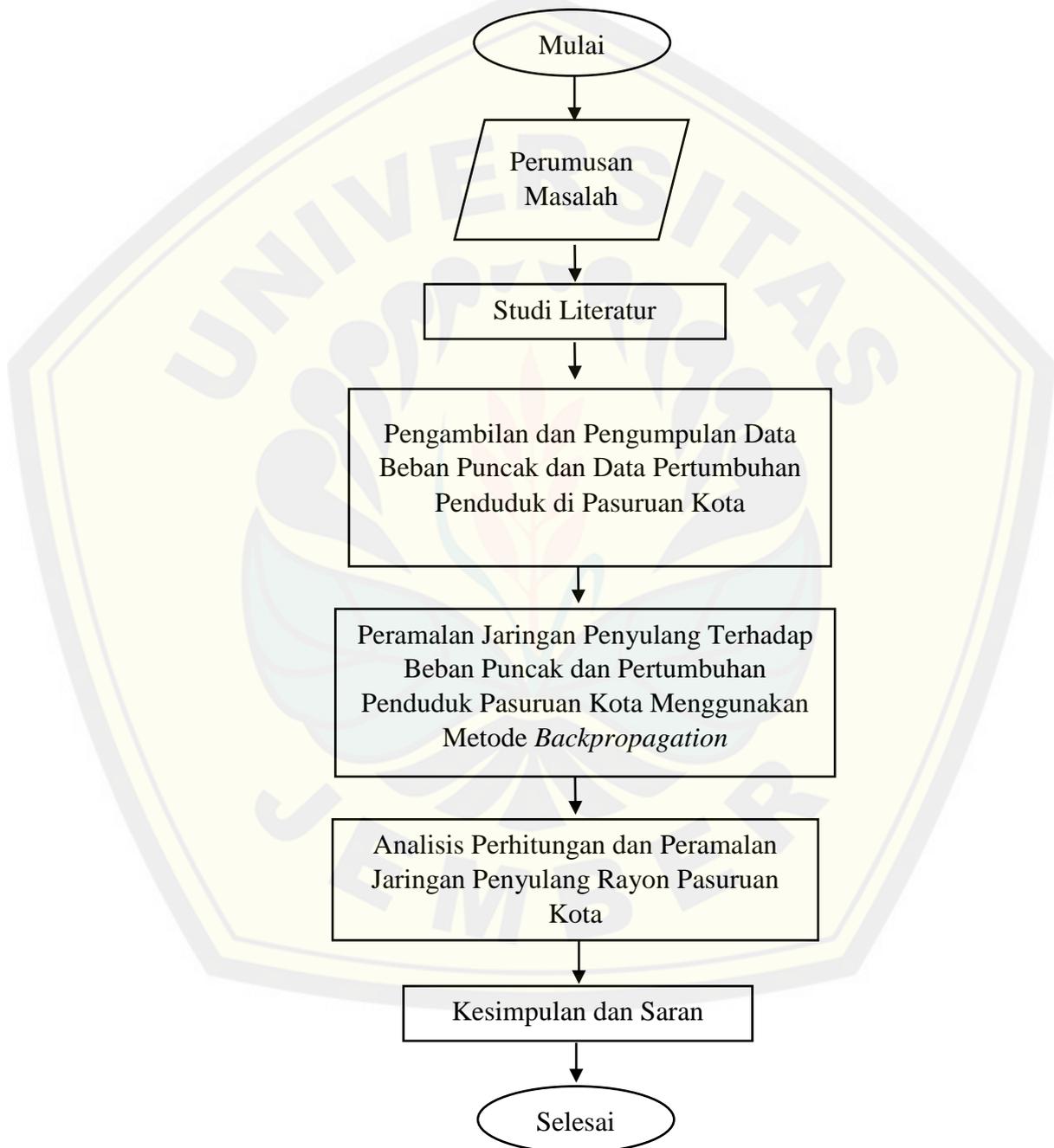
Data-data yang telah terkumpul akan diolah melalui perhitungan, peramalan, dan analisis sehingga dapat diperoleh hasil dari untuk parameter-parameter yang akan dibandingkan. Berdasarkan penelitian ini akan dilakukan peramalan tentang pertumbuhan dan penambahan beban puncak listrik di beberapa penyulang yang ada di PT. PLN (Persero) Rayon Pasuruan Kota. Hasil dari peramalan tersebut berupa data untuk RUPTL (Rencana Umum Penyediaan Tenaga Listrik) untuk 5 tahun kedepan. Kemudian akan dibandingkan dengan KHA (Kuat Hantar Arus) maksimal untuk spesifikasi kabel penyulang dan terakhir dilakukan analisis.

#### 6. Kesimpulan dan Saran

Pada tahap akhir ini yaitu membuat kesimpulan data dari pengujian (*testing*) dan analisis data yang telah diperoleh sebelumnya. Dan juga pemberian saran yang dimaksud untuk pertimbangan atas pengembangan selanjutnya. Pengambilan kesimpulan dan saran dilakukan setelah menganalisa data yang telah didapat.

### 3.2 Diagram Alir Penelitian

Pada penelitian ini akan tersaji dalam diagram alir yang nantinya akan dipisah menjadi 2 diagram alir lagi yaitu untuk peramalan beban dan perhitungan KHA. Diagram alir penelitian seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

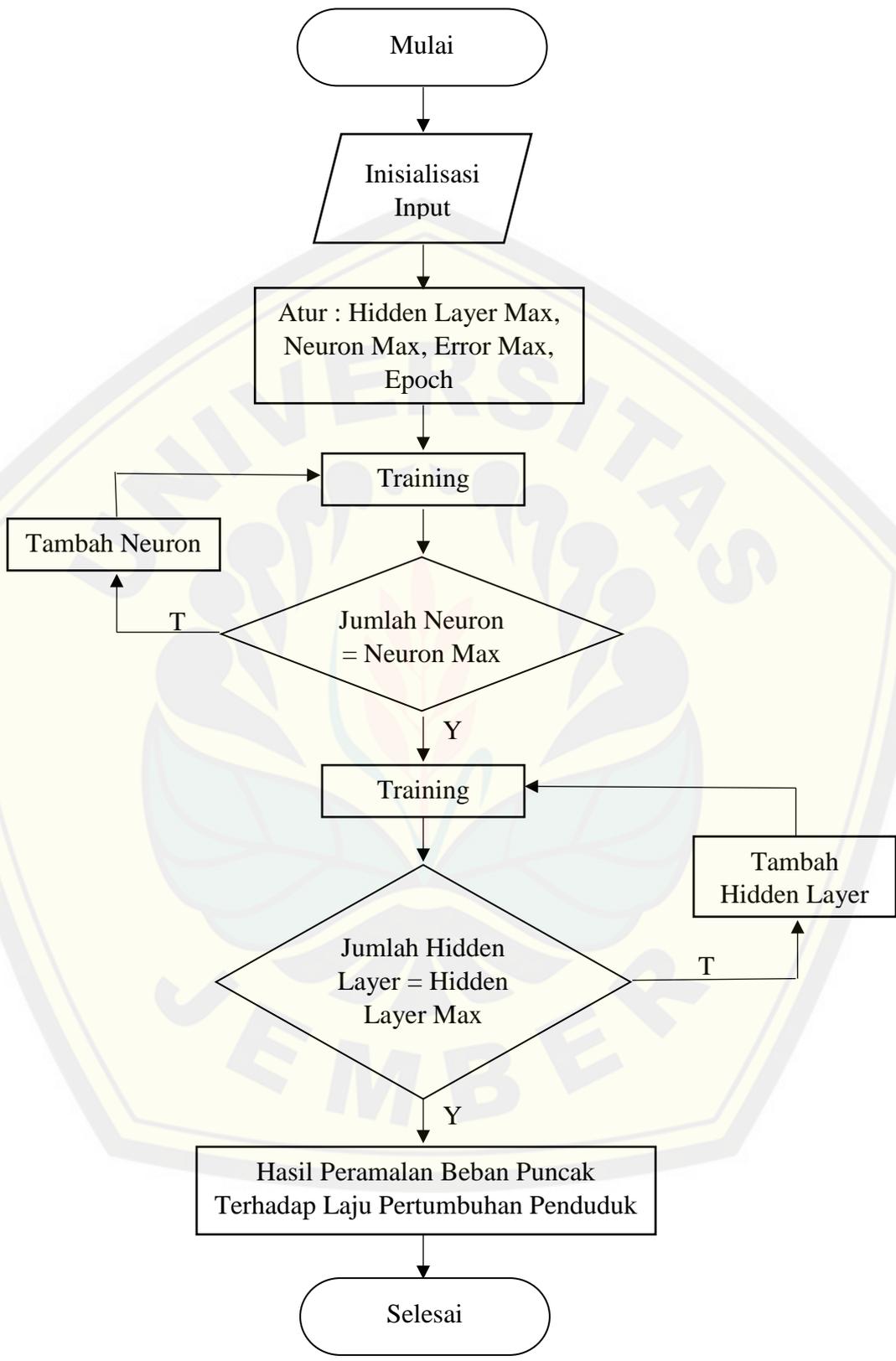
Diagram alir penelitian pada gambar 3.1 diatas dapat dijelaskan bahwa proses diagram alir penelitian dimulai dari perumusan masalah yaitu bagaimana perancangan dan tingkat akurasi metode *backpropagation neural network* dalam hal peramalan beban listrik diwilayah Pasuruan dengan menggunakan data beban historis yang didapatkan dari PT. PLN (Persero) Rayon Pasuruan Kota. Setelah itu mencari literatur terkait dengan permasalahan tersebut dan mempelajarinya. Adapun literatur yang digunakan merupakan literatur berupa jurnal penelitian yang sudah dilakukan oleh peneliti, buku panduan milik PLN, buku literatur tentang pentransmision energi listrik, konduktor, maupun kabel serta buku standar PLN (SPLN) yang dikeluarkan secara resmi oleh pihak PLN.

Langkah selanjutnya yaitu melakukan pengambilan dan pengumpulan data beban historis di wilayah Pasuruan pada PT. PLN (Persero) Rayon Pasuruan Kota. Data yang diambil ada dua macam yaitu data mengenai pembebanan listrik di Penyulang Rayon Pasuruan Kota yang berupa data beban puncak yang terjadi mulai dari tahun 2011 hingga 2017. Data yang kedua mengenai spesifikasi dan karakteristik saluran kabel penyulang (SUTM), data yang kedua ini diperoleh dari PT. PLN (Persero) Rayon Pasuruan Kota.

Setelah diperoleh data-data mengenai beban puncak yang dibutuhkan selanjutnya akan dipergunakan sebagai data peramalan beban puncak berbasis *backpropagation neural network* dengan menggunakan *software* Matlab. Data hasil peramalan dan perhitungan akan dianalisis untuk menentukan sampai kapan Kabel Penyulang Rayon Pasuruan Kota (SUTM) akan mencapai batas maksimal pentransmision energi listrik. Dan yang terakhir adalah melakukan pengambilan kesimpulan dan saran untuk memperbaiki penelitian selanjutnya.

### **3.3 Diagram Alir Peramalan Beban**

Untuk mengetahui jumlah kebutuhan energi listrik di wilayah Pasuruan dilakukan suatu metode peramalan beban menggunakan sistem cerdas (*artificial intelligence*). Sistem cerdas yang akan digunakan pada penelitian ini yaitu dengan menggunakan metode *backpropagation neural network*. Dibawah ini akan disajikan gambar diagram alir dari peramalan beban menggunakan *software* Matlab.



Gambar 3.2 Diagram Alir Peramalan Beban

Proses aliran diagram pada gambar 3.2 dimulai dari inialisasi *input* yaitu berupa data beban puncak listrik di Pasuruan dan memasukkannya dalam program yang telah dibuat. *Input* data berupa beban puncak dengan satuan Watt yang jumlahnya besar akan di normalisasikan sehingga mampu diproses oleh *software* Matlab. Selanjutnya yaitu memasukkan jumlah maksimal dengan tiga *hidden layer* dan memasukkan jumlah *neuron* maksimal tiap *layer* sejumlah 10 buah, serta memasukkan nilai *epoch*. Apabila parameter yang diperlukan sudah di masukkan, tahapan selanjutnya yaitu *training* atau pelatihan jaringan. Pada tahap ini data akan dilatih untuk bisa mengenali target data yang diinginkan dan meminimalisir nilai *error*.

Pada awalnya proses pelatihan in, jaringan akan berjalan dengan menggunakan satu *hidden layer* dan satu *neuron*. Kemudian jumlah neuron akan bertambah secara otomatis apabila proses *training* pertama sudah selesai dan jumlah *neuron* pada pelatihan kedua sejumlah 2 buah hingga jumlah *neuron* mencapai batas yang ditentukan atau batas maksimal yaitu 10 buah. Apabila jumlah *neuron* sudah mencapai 10 buah maka secara otomatis jumlah *hidden layer* bertambah satu pada pelatihan berikutnya. Begitu seterusnya hingga jumlah *hidden layer* mencapai batas yang ditentukan atau batas maksimal yaitu 3 buah. Apabila jumlah *hidden layer* pada jaringan sudah mencapai batas maksimal yaitu 3 buah dan jumlah nilai *neuron* juga mencapai batas maksimal yaitu 10 buah maka proses *training* menggunakan metode *backpropagation neural network* sudah selesai.

### 3.4 Peramalan Beban Menggunakan *Software* Matlab

Matlab atau *matemathics laboratory* atau *matrix laboratory* dalam dunia komputer didefinisikan sebagai bahasa pemrograman yang digunakan untuk mengerjakan serta menyelesaikan suatu operasi aljabar matiks atau operasi matematika. Matlab ialah sistem interaktif yang menggunakan data dasar matriks. Selain itu di dalam Matlab tersedia perangkat lunak (*software*) *simulink*. Manfaat penggunaan *simulink* tersebut yaitu dapat digunakan untuk analisis maupun permodelan suatu sistem. Pada penelitian ini menggunakan *simulink* yang ada pada *software* Matlab.

### 3.5 Arsitektur *Training* dan *Testing Backpropagation Neural Network*

Arsitektur yang digunakan pada *backpropagation* adalah *multilayer network*. Parameter yang digunakan *input* dan *output* berisi data beban tahunan. Fungsi transfer yang digunakan dalam *backpropagation* coba-coba dari fungsi transfer dan hasil terbaik dari *logsig* untuk *layer input* dan *purelin* untuk *layer output*. Berikut ini adalah penjelasan tahapan proses training *backpropagation nneural network*.

#### 3.5.1 *Preprocessing*

Data *input* dan target yang mengalami normalisasi yang disebut juga dengan penskalaan data. Untuk mentransformasikan data agar kestabilan taburan data dapat tercapai dibutuhkan normalisasi data *input* dan *target*. Normalisasi berguna untuk menyesuaikan nilai data dengan *range* fungsi aktivasi yang digunakan dalam jaringan, selain itu normalisasi dapat digunakan untuk meningkatkan keakurasian dari hasil *ouput* serta memfasilitasi proses *learning* dari jaringan syaraf (Siang, 2009). Syntax yang digunakan untuk menormalisasi data yaitu:

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

Fungsi *prestd* dapat menormalisasikan nilai *input* (P) dan target (T) sehingga keduanya memiliki *mean* sebesar 0 dan standart deviasi sebesar 1. Untuk fungsi *pn* dan *tn* itu sendiri yaitu mengubah skala *input* dan target menjadi skala minimum - 1 dan maksimum 1. Hal ini dapat memberikan kemudahan pada sistem *neural network* agar dapat bekerja dan mencapai *error* yang kecil.

#### 3.5.2 Model Jaringan Syaraf Tiruan

Model *neural network* yang diterapkan yaitu *multi layer perceptron* dengan 2 *hidden layer*. *Multi layer perceptron* merupakan jaringan yang memiliki banyak lapis (*layer*). Fungsi aktivasi yang digunakan yaitu *logsig* dan *purelin*. *Logsig* adalah fungsi aktivasi sigmoid biner dengan syntax  $Y = \text{logsig}(a)$ . Fungsi ini merupakan fungsi yang digunakan untuk jaringan syaraf yang membutuhkan nilai *output* yang terletak pada interval 0 sampai 1 (Ganatr dan Kosta 2010). Pada fungsi sigmoid biner digunakan untuk mengaktifkan *neuron* pada lapisan *input* untuk mengirimkan informasi melalui bobot-bobotnya ke *neuron* pada lapisan

tersembunyi. Sedangkan *purelin* merupakan fungsi aktivasi linear yang sering dipakai apabila kita menginginkan keluaran jaringan berupa sembarang bilangan riil (bukan hanya pada range 0-1 atau pada range -1 1) (Siang, 2009).

### 3.5.3 Training dan Testing

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

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

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

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

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

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

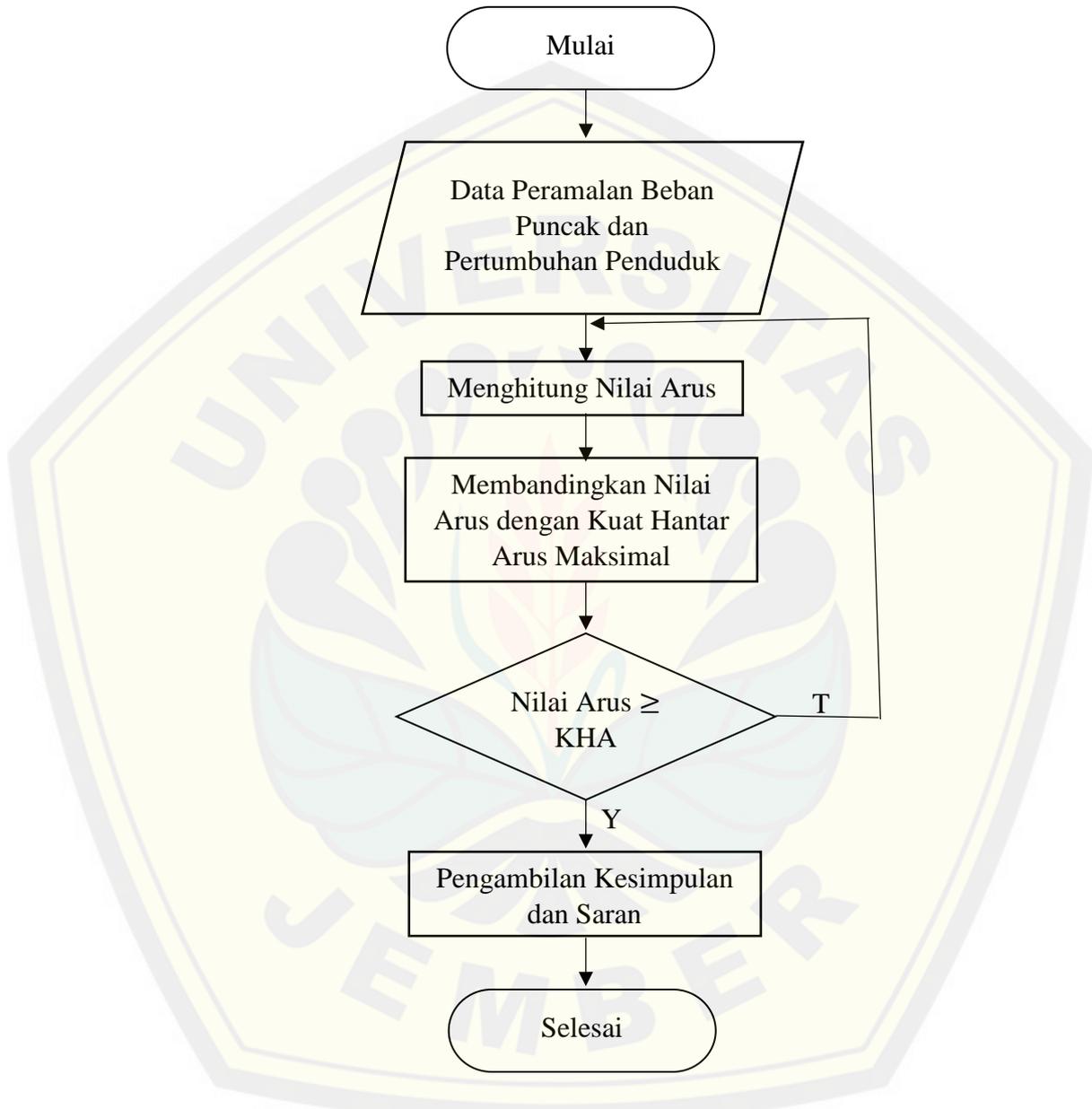
Fungsi *bn* pada perintah tersebut ialah menghasilkan hasil pengujian data normalisasi terhadap *neural network* yang sudah terbentuk. Setelah didapatkan hasil pengujian maka selanjutnya menggunakan perintah berikut untuk mengembalikan data hasil pengujian menjadi data asli atau bisa disebut dengan denormalisasi.

```
b = poststd(bn,meant,stdt)
```

Fungsi dari *b* adalah nilai dalam bentuk denormalisasi dari data pengujian sebelumnya, *bn* yaitu *output* jaringan syaraf pelatihan, *meant* yaitu nilai *mean* dari proses normalisasi, dan *stdt* yaitu nilai standar deviasi dari proses normalisasi.

### 3.6 Diagram Alir Perhitungan

Diagram alir untuk perhitungan nilai arus yang mengalir pada tiap konduktor adalah sebagai berikut :



Gambar 3.3 Diagram Alir Perhitungan

Proses dari diagram alir perhitungan diatas dimulai dari saat diperoleh nilai peramalan beban puncak untuk periode tahunan. Nilai beban puncak tersebut akan dibandingkan dengan nilai kuat hantar arus maksimal kabel penyulang. Apabila nilai arus yang didapatkan belum mencapai belum melebihi dari nilai kuat hantar

arus maksimum dari kabel maka akan diulangi proses perhitungannya. Jika nilai arus sudah mencapai atau melebihi kapasitas hantar arus maksimum kabel perhitungan sudah selesai.

### 3.7 Perhitungan Arus dan Daya

Rangkaian listrik 3 fasa merupakan rangkaian listrik yang memiliki tiga buah keluaran simetris dan memiliki perbedaan sudut untuk setiap fasanya sebesar  $120^\circ$ . Arus yang mengalir dari setiap beban dinyatakan sebagai:

$$I = \frac{V}{R} \dots \dots \dots (3.1)$$

Yang ada pada ketiga fasanya

$$I_r = I_m \sin(\omega t - \varphi) \dots \dots \dots (3.2)$$

$$I_s = I_m \sin(\omega t - \varphi - 2\pi/3) \dots \dots \dots (3.3)$$

$$I_t = I_m \sin(\omega t - \varphi + 2\pi/3) \dots \dots \dots (3.4)$$

Atau

$$I_r = \frac{V < 0^\circ}{V < \theta} = I_m < -\theta \dots \dots \dots (3.5)$$

$$I_s = \frac{V < -120^\circ}{V < \theta} = I_m < -120^\circ - \theta \dots \dots \dots (3.6)$$

$$I_t = \frac{V < -240^\circ}{V < \theta} = I_m < -240^\circ - \theta \dots \dots \dots (3.7)$$

Persamaan daya dapat ditulis

$$S = 3 VI = 3 I^2 Z \dots \dots \dots (3.8)$$

$$P = 3 VI \cos \varphi = 3 I^2 Z \cos \varphi \dots \dots \dots (3.9)$$

$$Q = 3 VI \sin \varphi = 3 I^2 Z \sin \varphi \dots \dots \dots (3.10)$$

Dengan :

S = Daya Kompleks (VA)

P = Daya Nyata (Watt)

Q = Daya Reaktif (VAR)

Untuk nilai arus total :

$$I_{tot} = \frac{P_{tot}}{V \cos \varphi} \dots \dots \dots (3.11)$$

## BAB 5 PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

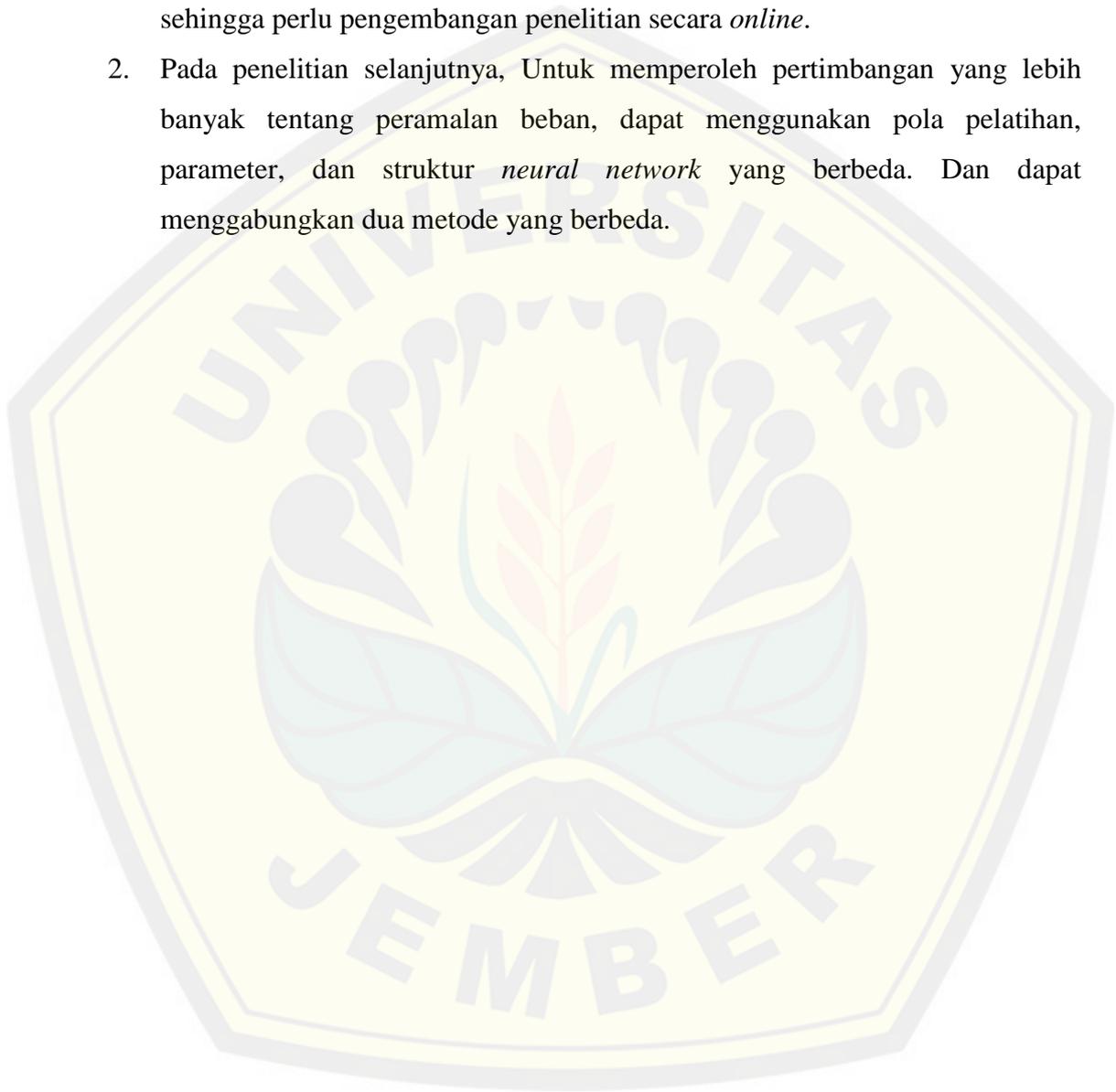
Berdasarkan hasil dan analisis data pada bab sebelumnya maka dalam penelitian ini dapat disimpulkan bahwa :

1. Hasil peramalan beban puncak dengan menggunakan metode backpropagation neural network dengan optimasi levenberg marquardt pada saat dilakukan pengujian data beban sejak bulan Januari 2016 sampai dengan bulan Desember 2017 memiliki nilai MAPE ( Mean Absolute Percentage Error) sebesar 4,201% dengan error terkecil yaitu 0,0697 % yang didapat pada bulan Maret 2016.
2. Konfigurasi pelatihan backpropagation neural network terkecil yang digunakan sebagai jaringan peramalan beban menggunakan fungsi pelatihan trainlm, fungsi aktivasi logsig untuk layer input dan purelin untuk layer output, berhenti saat hidden layer ke 1, neuron = 17 serta error sebesar  $1.6783E-31$ .
3. Grafik pengujian beban yang ditampilkan pada GUI (*Graphical User Interface*) menunjukkan nilai beban pada Wilayah Pasuruan Kota yang bersifat fluktuatif pada bulan-bulan tertentu sejak bulan Januari tahun 2016 sampai dengan bulan Desember tahun 2017, dimana nilai beban puncak tertinggi terjadi pada bulan November tahun 2017 yaitu sebesar 1408 Amp. Sedangkan nilai beban puncak terendah terjadi pada bulan September tahun 2017 yaitu sebesar 770 Amp.
4. Dari hasil perbandingan didapatkan bahwa beban prakiraan yang mengalami *overload* terjadi di tahun 2019 pada bulan Juli yaitu sebesar 1718 A melebihi arus yang diperbolehkan pada Sirkuit 1, Sirkuit 2, dan Sirkuit 3 yaitu sebesar 1632 A dengan selisih sebesar 86,13 A. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pada tahun 2019 SUTM Pasuruan Kota mencapai batas maksimal penyaluran energi listrik untuk Sirkuit 1, Sirkuit 2, dan Sirkuit 3. Sedangkan untuk Sirkuit 4, 5, dan 6 masih mampu menyalurkan energi listrik hingga batas maksimal penyaluran energi listrik yang ditentukan

## 5.2 Saran

Saran yang dianjurkan untuk pengembangan penelitian lebih lanjut dengan harapan mampu memperbaiki kekurangan adalah sebagai berikut:

1. Penelitian yang digunakan dalam penelitian ini masih dalam tahap *offline* sehingga perlu pengembangan penelitian secara *online*.
2. Pada penelitian selanjutnya, Untuk memperoleh pertimbangan yang lebih banyak tentang peramalan beban, dapat menggunakan pola pelatihan, parameter, dan struktur *neural network* yang berbeda. Dan dapat menggabungkan dua metode yang berbeda.



## DAFTAR PUSTAKA

- Defit, S. 2013. Perkiraan Beban Listrik Jangka Pendek dengan Metode *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System*. *SAINTIKOM*. 12(3): 165-176.
- Kharis, M. N. 2008. Sistem Tenaga Listrik. <https://eemnkharis27.wordpress.com/2013/08/02/sistem-tenaga-listrik/>. [Diakses pada 3 Oktober 2017].
- Kusumadewi, Sri. 2004. Membangun Jaringan Syaraf Tiruan Menggunakan MATLAB & EXCEL LINK. Yoyakarta: Graha Ilmu.
- Martin, S. 2018. *Analysis Capacity of Submarine Cable Toward Load Growth of Bali Island Using Backpropagation Neural Network*. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*. Vol. 96. No. 8
- Marlia, S. 2016. Peramalan Beban Puncak Harian pada PT. PLN (Persero) APB Jateng dan DIY Menggunakan ANFIS (*Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System*). *TRANSIENT*. 5(3): 255-261.
- Masarang, M., Yudaningtyas, E., dan Naba, A. 2015. Peramalan Beban Jangka Panjang Sistem Kelistrikan Kota Palu Menggunakan Metode Logika Fuzzy. *Jurnal EECCIS*. 9(1) : 13-18
- Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral. 2015. *Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional 2015-2023*. Jakarta : Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral. 2016. Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik: PT Perusahaan Listrik Negara (Persero) Tahun 2016 s.d 2025. No. 5899 K/20/MEM/2016. Jakarta : Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral. 2016. *Statistik Ketenagalistrikan 2015*. Edisi No.29. Jakarta : Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Minaye, Emiyamrew dan Matewose, Melaku. 2013. "Long Term Load Forecasting of Jimma Town for Sustainable Energy Supply". *International Journal of Science and Research (IJSR)*.
- Moore, G. F. 1997. *Electrical Cables : Handbook*. 3<sup>rd</sup>. Liverpool : Blackwell Science.
- Nasution, J. F. 2009. *Implementasi Jaringan Syaraf Tiruan untuk Prediksi Keputusan Medis pada Penyakit Demam Berdarah Dengue*. Skripsi. Medan: Program Studi Sarjana Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sumatera Utara.

- Noviana, A. 2008. Analisa Pengaruh Parameter-Parameter *Neural Network* pada Kasus Pemodelan. Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Komputer Indonesia.
- PLN (Persero). 2010. *Kriteria Desain Engineering Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik*. No. 475.K/DIR/2010. Jakarta : PT PLN (Persero).
- Pratama, R. A. 2016. Peramalan Beban Listrik Jangka Panjang Provinsi D.I. Yogyakarta Menggunakan *Neural Network Backpropagation*. *Jurnal Teknik Elektro*. 5(3): 37-47.
- Setiabudi, D. 2015. Sistem Informasi Peramalan Beban Listrik Jangka Panjang di Kabupaten Jember Menggunakan *JST Backpropagation*. *SMARTICS Journal*. 1(1): 1-5.
- Siang, J. J. 2005. *Jaringan Syaraf Tiruan dan Pemrogramannya Menggunakan Matlab*. Yogyakarta: Andi.
- Siregar, T. R. 2013. *Implementasi Jaringan Syaraf Metode Bidirectional Associative Memory untuk Pengenalan Pola Wajah*. Skripsi. Medan: Program Studi S1 Ilmu Komputer Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi Universitas Sumatera Utara.
- Suhartono. 2009. Peramalan Konsumsi Listrik Jangka Pendek dengan ARIMA Musiman Ganda dan Elman-Recurrent Neural Network. 7(4): 185-192.
- Suswanto, D. 2010. *Sistem Distribusi Tenaga Listrik*. Padang: Universitas Negeri Padang.
- Triwulan, Y., N. Hariyanto, dan S. Anwari. 2013. Peramalan Beban Puncak Listrik Jangka Pendek Menggunakan Metode Jaringan Syaraf Tiruan. *Reka Elkomika*. 1(4): 339-350.
- Yahya, Sofian. 2012. “*Fuzzy Logic, Neural Network, Genetic Algorithm & Knowledge Based Expert System and Computatioal Intelligence*”. Kelompok Bidang Keahlian Pengendalian Daya & Mesin Listrik Departemen Teknik Elektro. Bandung: Politeknik Negeri Bandung.

## LAMPIRAN

**A. Listing Program Backpropagation Neural Network dengan Optimasi Levenberg Marquardt**

```

clear;
clc;
load JumlahPenduduk.mat;
load SATA1.mat;

% Preprocessing input dan target
P=DATA1(:,1:36)';
P2=JumlahPenduduk(:,1:36)';

[pn,meanp,stdp,tn,meant,stdt] = prestd(P2,T2);
[pn,meanp,stdp,tn,meant,stdt] = prestd(P,T);

% Define Parameters
hiddenlayer1max = 20;
hiddenlayer2max = 20;
error = 1;
errormax = 0;
modmse = 2e2;
epochs = 1000;

% Pelatihan hidden layer 1
for l1=1:hiddenlayer1max;
    if error > errormax ;
        net=newff(minmax(pn),[l1 12], {'logsig','purelin'});

        %parameter
        net.trainFcn = 'trainlm';
        net.trainParam.show = 50;
        net.trainParam.lr = 0.1;
        net.trainParam.epochs = epochs;
        net.trainParam.goal = errormax;
        net.trainParam.max_fail = 500;
        net.trainParam.min_grad = 1e-10;
        net.trainParam.mc = 0.5;
        net.performFcn = 'mse';

        %Menampilkan Jumlah Neuron
        disp([' Hiden Layer I, Jumlah Neuron          = '
            num2str(l1)]);

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

        %Simulasi Hasil
        Wr= sim(netWr,pn);

        %Hitung mse
        error=mse(Wr-tn);
    end
end

```

```

        %error(l1)=error; %cek
        %Ambil Network yg terbaik
    if modmse > error;
        layerWr=l1;
        modmse=error;
        hl=1;
        save trainingfix.mat;
    end
    else
        layer1=l1;
        break;
    end
end

% Pelatihan hidden layer 2
for l2=1:hiddenlayer2max;
    if error > errormax ;
        net=newff(minmax(pn),[l1 l2 l2],
        {'logsig','logsig','purelin'});

        %parameter
        net.trainFcn = 'trainlm';
        net.trainParam.show = 50;
        net.trainParam.lr = 0.1;
        net.trainParam.epochs = epochs;
        net.trainParam.goal = errormax;
        net.trainParam.max_fail = 500;
        net.trainParam.min_grad = 1e-10;
        net.trainParam.mc = 0.5;
        net.performFcn = 'mse';

        %Menampilkan Jumlah Neuron
        disp([' Hiden Layer II, Jumlah Neuron      = '
        num2str(l2)]);

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

        %Simulasi Hasil
        Wr= sim(netWr,pn);

        %Hitung mse
        error=mse(Wr-tn);
        %error(l2)=error; %cek
        %Ambil Network yg terbaik
    if modmse > error;
        layerWr=l2;
        modmse=error;
        hl=2;
        save trainingfix.mat;
    end
    else
        layer2=l2;
        break;
    end
end

```

```

end
%% Mengambil network yg terbaik
load trainingfix.mat;
an= sim(netWr,pn)
bs= [layerWr modmse]
a = poststd(an,meant,stdt);
H = [(1:size(P,2))' T' a' (T'-a')];
sprintf('%2d %9.2f %7.2f %5.2f\n',H');
disp('Network terbaik dengan error terkecil');
disp(['Hidden Layer ke ' num2str(hl), ', Neuron = '
num2str(layerWr), ', Error = ' num2str(modmse)]);

%% Plot
[m1,a1,r1] = postreg(a,T);
plot([1:size(P,2)]',T,'bo',[1:size(P,2)]',a', 'r*');
title('hasil pengujian dengan data pelatihan: Target (o),
Output(*)');
xlabel('data ke-'); ylabel('T/o');

%% Pengujian
qn = trastd(ujil,meanp,stdp);
bln = sim(netWr,qn);
b1 = poststd(bln,meant,stdt);

```

## B. Listing Program Graphical User Interface (GUI) Matlab

```

%GUIskripsi
function varargout = GUIskripsi(varargin)
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',   gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @GUIskripsi_OpeningFcn,
                  ...
                  'gui_OutputFcn',  @GUIskripsi_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',  [], ...
                  'gui_Callback',    []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State,
varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT

% --- Executes just before GUIskripsi is made visible.

```

```

function GUIskripsi_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles,
varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin   command line arguments to GUIskripsi (see
VARARGIN)

% Choose default command line output for GUIskripsi
handles.output = hObject;

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

% --- Outputs from this function are returned to the command
line.
function varargout = GUIskripsi_OutputFcn(hObject, eventdata,
handles)

% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;

% --- Executes on button press in pushbutton1.
function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
A={1102 1251 1193 1361 1287 1212 1091 1327 1144 1350 1426
1310};
B={1424 1398 1337 1232 1109 1107 1172 1149 823 1247 1488 1075};
Dataku1=[A' B'];
set(handles.uitable1, 'Data', Dataku1);

msgbox('Silahkan klik tombol Pengujian untuk melihat data
pengujian');

set(handles.pushbutton2, 'enable', 'on');
set(handles.uitable2, 'enable', 'on');

% --- Executes on button press in pushbutton2.
function pushbutton2_Callback(hObject, eventdata, handles)
K={1018.082106 1090.431986 1152.759262 747.871098 1181.434227
1204.450228 1067.020388 1516.897869 1224.720699 1006.934765
977.265677 1239.306917};
L={1094.915043 1313.833616 1195.195808 703.305405 1143.564227
1274.758498 1103.992795 1382.527979 1292.265157 1010.126699
1075.404700 1309.198363};
Dataku2=[K' L'];
set(handles.uitable2, 'Data', Dataku2);

msgbox('Silahkan klik tombol Error Persen untuk melihat error
persen data');

set(handles.pushbutton3, 'enable', 'on')
set(handles.uitable3, 'enable', 'on')

```

```
% --- Executes on button press in pushbutton3.
function pushbutton3_Callback(hObject, eventdata, handles)
E={1.949579631 18.80542628 21.29742291 2.853104152 9.827832593
7.208164428 -18.31703932 -1.557293827 -9.979475851 1.970065245
21.29829859 7.845197879};
F={18.76856432 49.30571133 10.31885313 0.071400462 4.896812275
-14.81426265 -13.08919306 -23.5868168 -88.63196547 -10.44151631
25.87486143 -26.56047204};
Dataku3=[E' F'];
set(handles.uitable3,'Data',Dataku3);

msgbox('Silahkan klik tombol MAPE untuk melihat MAPE dari
data');

set(handles.pushbutton4,'enable','on')
set(handles.edit4,'enable','on')

% --- Executes on button press in pushbutton4.
function pushbutton4_Callback(hObject, eventdata, handles)
mape={4.68674};
set(handles.edit4,'string',mape);

msgbox('Silahkan klik tombol Grafik untuk melihat perbandingan
beban sekunder dengan data pengujian beban BNN untuk tahun 2016
dan 2017');

set(handles.pushbutton5,'enable','on')

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit4_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

% Hint: edit controls usually have a white background on
Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executes on button press in pushbutton5.
function pushbutton5_Callback(hObject, eventdata, handles)
myData=load('DataPLOTGUIPerb', '-mat');
plot(myData.DataPLOTGUIPerb);
title('Grafik Pengujian Beban');
xlabel('Tahun 2016-2017, Bulan ke-');
ylabel('Beban (Amp)');
grid on

set(handles.text4,'enable','on')
```

```

% -----
% -----
function PeramalanBeban_Callback(hObject, eventdata, handles)
open('GUIskripsitab2')

% --- Executes on button press in pushbutton6.
function pushbutton6_Callback(hObject, eventdata, handles)
close

%GUIskripsitab2
function varargout = GUIskripsitab2(varargin)

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',   gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn',  @GUIskripsitab2_OpeningFcn,
                  ...
                  'gui_OutputFcn',   @GUIskripsitab2_OutputFcn,
                  ...
                  'gui_LayoutFcn',   [], ...
                  'gui_Callback',    []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT

% --- Executes just before GUIskripsitab2 is made visible.
function GUIskripsitab2_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles,
varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin   command line arguments to GUIskripsitab2 (see
VARARGIN)

% Choose default command line output for GUIskripsitab2
handles.output = hObject;

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = GUIskripsitab2_OutputFcn(hObject, eventdata,
handles)

```

```
% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;

% --- Executes on button press in pushbutton100.
function pushbutton100_Callback(hObject, eventdata, handles)
H={1385.23935 703.2360863 1386.503885 1274.780906 1160.861057
1206.934918 1499.207926 1316.734735 1310.518483 1437.811172
1538.487502 1411.232127};
I={905.4306146 1023.279947 1334.263481 1424.694346 1683.617291
1329.945059 1718.138985 1232.820855 1343.195042 1161.610431
1180.157453 1297.871975};
J={642.9863254 1009.335339 1099.73977 1403.022953 1385.856641
1112.323022 1515.648082 1396.963433 1423.975322 1692.720676
1278.180691 1722.908814};
K={954.4232175 1045.322225 976.40493 1290.228432 1269.949874
1189.887289 1715.313773 1537.620491 1454.3435 1726.518564
1347.280789 1026.010609};
L={1103.578664 1348.984479 1110.546565 1303.996446 1613.089453
1309.716779 1698.658889 1733.400295 1564.349915 1421.670569
1143.930635 1231.072948};
M={1010.868647 1812.854207 1289.22103 1700.147125 1388.354853
1688.526803 1797.150124 1226.083035 1554.883121 1274.947082
1266.945156 1214.338932};
Dataku4=[H' I' J' K' L' M'];
set(handles.uitable100, 'Data', Dataku4)

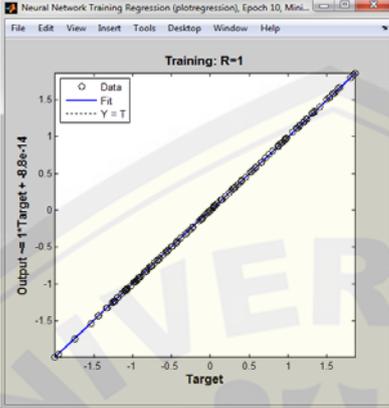
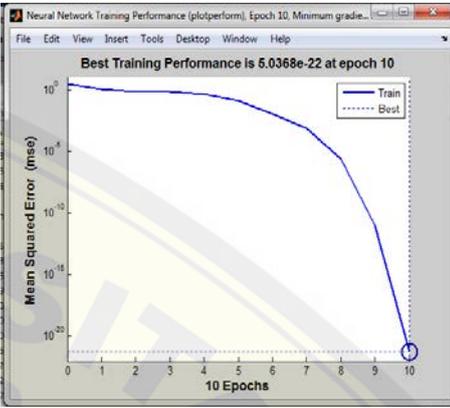
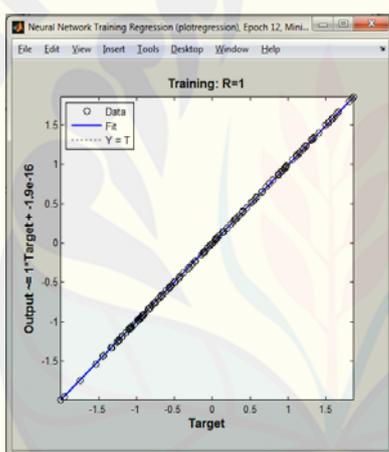
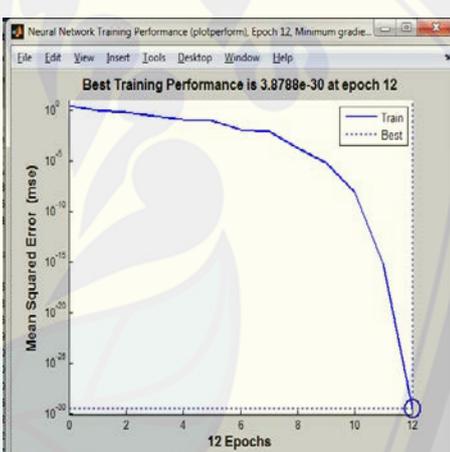
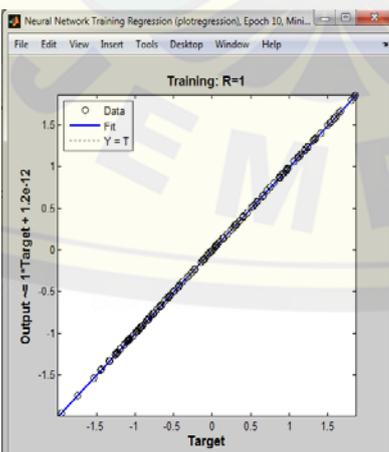
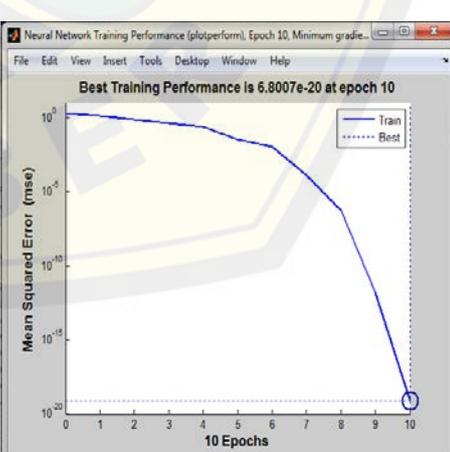
msgbox('Silahkan klik tombol grafik untuk melihat grafik peramalan
beban');

set(handles.pushbutton101, 'enable', 'on')

% --- Executes on button press in pushbutton101.
function pushbutton101_Callback(hObject, eventdata, handles)
myData1=load('DataPLOTGUI', '-mat');
plot(myData1.DataPLOTGUI);
title('Grafik Peramalan Beban');
xlabel('Tahun 2018-2023, Bulan ke-');
ylabel('Beban (Watt)');
grid on

% -----
function Pengujian_Callback(hObject, eventdata, handles)
open('GUIskripsi')
```

F. Gambar Hasil Percobaan *Training*

<i>Training</i>	<i>Regression</i>	<i>Performance</i>
1		
2		
3		

**C. Tabel Data Beban Puncak Penyulang PT. PLN (Persero) Rayon Pasuruan Kota**

No	Bulan	BEBAN (Amp)						
		2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
1	Januari	878	1081	1207	1127	985	1102	1424
2	Februari	810	1007	965	970	1327	1251	1398
3	Maret	878	885	1148	1294	1122	1193	1337
4	April	1194	1244	1005	1000	1152	1361	1232
5	Mei	1194	922	991	1280	1268	1287	1109
6	Juni	873	972	1435	1121	1111	1212	1107
7	Juli	849	1047	1150	1017	1071	1091	1172
8	Agustus	844	909	1051	1062	1258	1327	1149
9	September	1042	981	1017	984	1208	1144	823
10	Oktober	1008	997	1085	1007	1236	1350	1247
11	November	950	981	1205	1246	1103	1426	1488
12	Desember	986	1087	983	1183	1297	1310	1075

**D. Tabel Data Pertumbuhan Penduduk Pasuruan Kota**

No	Bulan	Jumlah Penduduk						
		2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
1	Januari	14480	13969	14521	13705	14731	14248	14420
2	Februari	14638	14236	14558	14910	14914	14610	14715
3	Maret	14730	14743	14719	15288	15213	15244	15288
4	April	14990	15253	15123	15630	15514	15827	15731
5	Mei	15504	15562	15595	15936	16185	15872	15834
6	Juni	15657	15903	15651	16354	16447	16296	16450
7	Juli	15989	15914	16434	16401	16532	16733	16745
8	Agustus	16295	16345	16590	16440	16536	16981	17234
9	September	16457	16707	17127	16690	16581	17141	17330
10	Oktober	16658	16879	17266	17298	17162	17371	17425
11	November	16791	17280	17282	17349	17421	17411	17621
12	Desember	16958	17400	17419	17328	17579	17677	17711
<b>Total</b>		<b>189.147</b>	<b>190.191</b>	<b>192.285</b>	<b>193.329</b>	<b>194.815</b>	<b>195.411</b>	<b>196.504</b>

E. Single Line ULP Pasuruan Kota

