



**PREDIKSI ENERGI LISTRIK DENGAN METODE  
JARINGAN SYARAF TIRUAN *BACKPROPAGATION*  
MENGUNAKAN MATLAB UNTUK KOTA  
SEMARANG TAHUN 2019 – 2024**

**Skripsi**

**diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar  
Sarjana Pendidikan Program Studi Pendidikan Teknik Elektro**

**Oleh**

**Desi Kurniawati**

**NIM.5301414078**

**PENDIDIKAN TEKNIK ELEKTRO  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG  
2018**

## PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama : Desi Kurniawati  
NIM : 5301414078  
Program Studi : S-1 Pendidikan Teknik Elektro  
Judul : Prediksi Energi Listrik Dengan Metode Jaringan Syaraf  
Tiruan *Backpropagation* Menggunakan MATLAB Untuk  
Kota Semarang Tahun 2019-2024

Skripsi ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang panitia ujian skripsi Program Studi S-1 Pendidikan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Semarang, 30 Oktober 2018

Pembimbing



Drs. Asdiyarto, M.Pd.

NIP.195706051986011001

## LEMBAR PENGESAHAN

Skripsi dengan judul *Prediksi Energi Listrik Dengan Metode Jaringan Syaraf Tiruan Backpropagation Menggunakan MATLAB Untuk Kota Semarang Tahun 2019-2024* telah dipertahankan di depan sidang Panitia Ujian Skripsi Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang pada tanggal 26 bulan November tahun 2018.

Oleh

Nama : Desi Kurniawati  
NIM : 5301414078  
Program Studi : Pendidikan Teknik Elektro

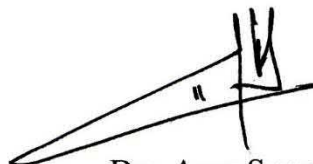
Panitia:

Ketua



Dr.-Ing. Dhidik Prastiyanto, S.T, M.T  
NIP. 197805312005011002

Sekretaris




Drs. Agus Suryanto, M.T  
NIP. 196708181992031004

Penguji I,



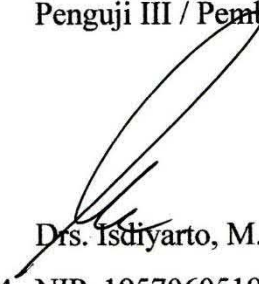
Dr. H. Noor Hudallah, M.T.  
NIP. 196410161989011001

Penguji II,



Drs. Agus Suryanto, M.T.  
NIP. 196708181992031004

Penguji III / Pembimbing,



Drs. Isdiyarto, M.Pd.

NIP. 195706051986011001

Mengetahui:

Dekan Fakultas Teknik UNNES



D. Nur Qudus, M.T.

NIP. 96911301994031001

## PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa :

1. Skripsi ini, adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (sarjana, magister, dan / atau doktor), baik di Universitas Negeri Semarang (UNNES) maupun di perguruan tinggi lain.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan, dan penelitoan saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan dari Pembimbing dan masukan Tim Penguji.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi ini.

Semarang, 9 Januari 2019

Yang membuat pernyataan,



Desi Kurniawati

NIM. 5301414078

## MOTTO DAN PERSEMBAHAN

### MOTTO

1. *Hard work makes dream work.*
2. Jadilah Pribadi yang mandiri, sehingga Tuhan memberikan amanah – amanah terbaik kepadamu karena amanah hanya bisa dipikul oleh orang – orang kuat.
3. Nikmati setiap detik dalam kehidupan, agar selalu ingat betapa kerasnya suatu perjuangan.
4. Tidak ada salahnya berhati – hati melangkah agar tak ada penyesalan di masa depan.

### PERSEMBAHAN

Karya ini saya persembahkan kepada :

1. Orang tua, kakek, nenek, adik dan keluargaku tercinta
2. Jurusan Teknik Elektro Universitas Negeri Semarang
3. Teman – teman seperjuangan PTE 2014
4. Sahabat senasib seperjuangan
5. Almamater Universitas Negeri Semarang
6. Semua pihak yang senantiasa memberikan doa, dukungan dan semangat

## RINGKASAN

Kurniawati, Desi. 2018. Prediksi Energi Listrik Dengan Metode Jaringan Syaraf Tiruan *Backpropagation* Menggunakan Matlab Untuk Kota Semarang Tahun 2019 – 2024. Skripsi, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang. Drs. Isdiyarto, M.Pd.

Meningkatnya aktivitas manusia menuntut produsen listrik untuk menyediakan suplai listrik yang mencukupi permintaan konsumen. Jika persediaan listrik kurang maka akan dilakukan pemadaman untuk menghemat suplai listrik. Seperti di Kota Semarang, pemadaman bergilir masih yang sering terjadi terutama di jam kerja untuk mengantisipasi kekurangan suplai listrik di malam hari. Prediksi perlu dilakukan menggunakan metode yang tepat agar kebutuhan listrik disiasati dengan baik. Metode yang sesuai untuk memprediksi karakteristik listrik yaitu Jaringan Syaraf Tiruan *Backpropagation*. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui model metode JST *Backpropagation* yang sesuai untuk memprediksi kebutuhan listrik Kota Semarang.

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimen, dengan data diambil dari PT PLN (Persero) APJ Semarang yaitu penjualan tenaga listrik bulanan dari 2012 – 2016 dalam satuan MWh (*Mega Watt hours*). Tahapan analisis dimulai dari penyusunan data dalam pola matriks, data dilatih dan diuji menggunakan pemodelan parameter fungsi pelatihan. *Output model* yang memenuhi kriteria akan dipilih untuk prediksi dan hasilnya dibandingkan dengan RUKN Kota Semarang tahun 2019 – 2024. Analisis data menggunakan *software* Matlab.

Hasil analisis menunjukkan model terbaik dari JST *Backpropagation* adalah TRAINGDX20 yang tersusun dari fungsi pelatihan TRAINGDX dan lapisan tersembunyi 20 neuron. Model ini memenuhi kriteria  $MSE = 0,00014499$  dan  $R = 0,93862$ . Nilai kesalahan pada tahap pelatihan mencapai 5,7% dan tahap pengujian mencapai 3,45% serta nilai kesalahan terhadap RUKN mencapai 0,03%.

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah model Traingdx neuron 20 sesuai untuk memprediksi kebutuhan listrik Kota Semarang. Hasil prediksi model Traingdx neuron 20 untuk Kota Semarang yakni 2019 - 5426386 MWh, 2020 - 5521471 MWh, 2021 - 5641935 MWh, 2022 - 5740998 MWh, 2023 - 5857238 MWh, dan 2024 - 6018739 MWh. Terjadi peningkatan konsumsi energi listrik sebesar 0,28%, cukup besar untuk wilayah perkotaan. Namun peningkatan tersebut sepadan dengan peningkatan perekonomian dan populasi penduduk yang saling beriringan.

**Kata kunci : Prediksi, Energi Listrik, Model, JST *Backpropagation***

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, hidayah dan inayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. skripsi ini disusun sebagai salah satu persyaratan meraih gelar Sarjana Pendidikan pada Program Studi Pendidikan Teknik Elektro S1 Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang. Tak lupa sholawat serta salam senantiasa disampaikan kepada junjungan Nabi Muhammad SAW, semoga semua mendapatkan safa'at di yaumul akhir, Aamiin.

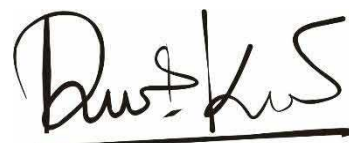
Penulisan skripsi ini tidak lepas dari bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Prof. D. Fathur Rokhman, M.Hum, selaku Rektor Universitas Negeri Semarang yang telah memberikan kesempatan kepada peneliti untuk menempuh studi di Universitas Negeri Semarang.
2. Drs. Nur Qudus M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
3. Dr.-Ing Dhidik Prastiyanto, S.T/, M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro dan Kepala Program Studi Pendidikan Teknik Elektro S1 Fakultas Teknik Univertitas Negeri Semarang.
4. Drs. Isdiyarto, M.Pd selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, bimbingan serta saran yang sangat membantu dalam proses penyusunan skripsi.

5. Dr. H. Noor Hudallah, M.T. selaku dosen penguji I dan Drs. Agus Suryanto, M.T. selaku dosen penguji II yang telah memberikan kritik, saran, bimbingan dan arahan dalam menyempurnakan skripsi ini.
6. Pimpinan PT PLN (Persero) APJ Semarang yang telah memberikan ijin kepada peneliti untuk melaksanakan penelitian.
7. Ibu Yuni selaku kepala SDM dan Mbak Hesti selaku karyawan bagian Pelayanan Pemasaran yang telah membantu dan memberi kemudahan selama pengambilan data penelitian.
8. Orang tua, keluarga, sahabat dan teman yang telah memberikan doa, dukungan, dan semangat kepada peneliti selama proses penyusunan skripsi
9. Semua pihak yang telah memberikan bantuan dalam penyusunan proposal skripsi.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penulisan proposal skripsi ini, namun penulis berharap proposal skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan.

Semarang, 9 Januari 2019



Penulis



## DAFTAR ISI

HALAMAN COVER.....	i
PESETUJUAN PEMBIMBING.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN.....	v
RINGKASAN.....	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Identifikasi Masalah.....	4
1.3. Pembatasan Masalah.....	5
1.4. Rumusan Masalah.....	5
1.5. Tujuan Penelitian.....	6
1.6. Manfaat Penelitian.....	6
1.7. Penegasan Istilah.....	6
BAB II LANDASAN TEORI	
2.1. Kajian Pustaka.....	9

2.2. Landasan Teori.....	17
2.2.1. Prediksi.....	17
2.2.1.1. Jenis – jenis Metode Prediksi.....	17
2.2.2. Energi Listrik.....	20
1.1.2.1. Arus Bolak – Balik (AC).....	21
1.1.2.2. Sistem Tenaga Listrik.....	36
2.3. Jaringan Syaraf Tiruan (Neural Network) .....	46
2.3.1. Algoritma <i>Backpropagation</i> .....	49
2.4. MATLAB R2016B .....	54
2.5. Karakteristik Kota Semarang.....	56
2.6. Kerangka Berpikir.....	59
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>	
3.1. Model Penelitian.....	60
3.2. Waktu dan Tempat Pelaksanaan.....	60
3.3. Desain Penelitian.....	61
3.4. Alat dan Bahan Penelitian.....	63
3.5. Teknik Pengumpulan Data.....	63
3.6. Teknik Analisis Data.....	64
3.6.1. Tahap Analisis Data.....	64
<b>BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1. Hasil Penelitian.....	85
4.1.1. Pemodelan.....	85
4.1.2. Implementasi Prediksi.....	98

4.2. Pembahasan .....	102
4.2.1. Analisis Model Jaringan Terbaik.....	102
4.2.2. Kebutuhan Energi Listrik .....	124
BAB V SIMPULAN DAN SARAN	
5.1. Simpulan .....	130
5.2. Saran.....	131
DAFTAR PUSTAKA.....	132
LAMPIRAN.....	136

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Data Pemakaian Energi Listrik Wilayah Semarang.....	64
Tabel 3.2. Pola Data .....	66
Tabel 3.3. Susunan pola data pelatihan yang telah dinormalisasi.....	67
Tabel 3.4. Susunan pola data pengujian yang telah dinormalisasi.....	68
Tabel 3.5. Hasil pelatihan dan pengujian .....	83
Tabel 3.6. Nilai Kesalahan pelatihan dan pengujian.....	84
Tabel 3.7. Perbandingan fungsi pelatihan dengan RUKN Kota Semarang .....	72
Tabel 4.1. Data Ternormalisasi .....	86
Tabel 4.2. Susunan pola data pelatihan yang telah dinormalisasi.....	87
Tabel 4.3. Susunan pola data pengujian yang telah dinormalisasi.....	88
Tabel 4.4. Parameter Hasil Pelatihan .....	95
Tabel 4.5. Nilai Kesalahan Tahap Pelatihan .....	97
Tabel 4.6. Nilai Kesalahan Tahap Pengujian .....	97
Tabel 4.7. Parameter Pelatihan Model Jaringan Terbaik.....	98
Tabel 4.8. Pola Data untuk Prediksi.....	99
Tabel 4.9. Prediksi Kebutuhan Listrik Menggunakan TRAINGDX10.....	100
Tabel 4.10. Prediksi Kebutuhan Listrik Menggunakan TRAINGDX15.....	101
Tabel 4.11. Prediksi Kebutuhan Listrik Menggunakan TRAINGDX20.....	101
Tabel 4.12. Prediksi Kebutuhan Listrik Menggunakan TRAINGDX24.....	102
Tabel 4.13. Hasil Prediksi Energi Listrik Model Jaringan Terbaik .....	102

Tabel 4.14. Contoh Nilai Bobot dan Bias.....	104
Tabel 4.15. Perbandingan Hasil Prediksi dengan RUKN Kota Semarang.....	125

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Tegangan arus bolak – balik .....	22
Gambar 2.2. Arus bolak – balik .....	22
Gambar 2.3. (a) Rangkaian beban resistif. (b) Bentuk gelombang resistif (c) Vektor beban resistif.....	24
Gambar 2.4. (a) Rangkaian beban induktif. (b) Bentuk gelombang induktif. (c) Vektor beban indukti.....	26
Gambar 2.5. (a) Rangkaian beban kapasitif. (b) Bentuk gelombang kapasitif (c) Vektor beban kapasitif.....	28
Gambar 2.6. (a) Rangkaian Seri RLC. (b) Vektor arus dan tegangan.....	31
Gambar 2.7. Diagram fasor impedansi.....	32
Gambar 2.8. (a) Rangkaian RLC paralel. (b) Vektor rangkaian RLC paralel.....	34
Gambar 2.9. Skema sistem tenaga listrik .....	37
Gambar 2.10. Bentuk gelombang dan diagram fasor tegangan tiga fasa .....	38
Gambar 2.11. Hubung bintang dan hubung delta .....	38
Gambar 2.12. Rangkaian Sumber Hubung Bintang dan Beban Hubung Bintang.....	41
Gambar 2.13. Rangkaian Sumber Hubung Delta dan Beban Hubung Bintang.....	41
Gambar 2.14. Rangkaian Sumber Hubung Bintang dan Beban Hubung Delta .....	42
Gambar 2.15. Rangkaian Sumber Hubung Delta dan Beban Hubung Delta....	42
Gambar 2.16. Hubungan Bintang dan Delta yang Seimbang.....	43
Gambar 2.17. Arus dan tegangan sefasa.....	44

Gambar 2.18. Arus tertinggal oleh tegangan.....	45
Gambar 2.19. Arus mendahului tegangan.....	46
Gambar 2.20. Fungsi Aktivasi pada Jaringan Syaraf Sederhana.....	47
Gambar 2.21. Arsitektur Propagasi Umpan Balik .....	51
Gambar 2.22. <i>Toolbox Neural Network</i> .....	55
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	62
Gambar 3.2. Arsitektur Jaringan .....	69
Gambar 3.3. <i>Flowchart</i> Pengolahan Data. ....	75
Gambar 3.4. Membuat Data Input dan Data Target.....	77
Gambar 3.5. <i>nntool</i> .....	78
Gambar 3.6. <i>Toolbox Neural Network</i> .....	78
Gambar 3.7. <i>Import data</i> .....	79
Gambar 3.8. Membuat Jaringan / <i>Network</i> .....	79
Gambar 3.9. Susunan <i>Layer</i> .....	80
Gambar 3.10. <i>Data manager</i> .....	80
Gambar 3.11. <i>Training Info</i> .....	82
Gambar 3.12. <i>Training Parameters</i> .....	82
Gambar 3.13. <i>Simulate</i> .....	82
Gambar 4.1. Membuat Jaringan .....	89
Gambar 4.2. <i>Neural Network / Data Manager (nntool)</i> .....	91
Gambar 4.3. <i>Training Info</i> .....	92
Gambar 4.4. <i>Training Parameters</i> .....	92
Gambar 4.5. <i>Neural Network Training (nntraintool)</i> .....	93
Gambar 4.6. <i>Simulate Network</i> .....	94
Gambar 4.7. Grafik Prediksi Energi Listrik Model Jaringan Terbaik .....	103
Gambar 4.8. Model Jaringan TRAINGDX10.....	113
Gambar 4.9. Model Jaringan TRAINGDX15.....	116
Gambar 4.10. Model Jaringan TRAINGDX20.....	120

Gambar 4.11. Model Jaringan TRAINGDX24.....	122
Gambar 4.12. Grafik Perbandingan Hasil Prediksi dengan RUKN Kota Semarang .....	125



## **DAFTAR LAMPIRAN**

Lampiran 1 : Persamaan Matematis Model Jaringan Terbaik .....	136
Lampiran 2 : Hasil Analisis.....	169
Lampiran 3 : Surat Usulan Pembimbing.....	178
Lampiran 4 : Surat Keputusan Penetapan Dosen Pembimbing.....	179
Lampiran 5 : Surat Permohonan Izin Observasi.....	180
Lampiran 6 : Surat Izin Observasi dari PT PLN (Persero) APJ Semarang.....	181
Lampiran 7 : Surat Keterangan Telah Melakukan Penelitian di PT. PLN (Persero) APJ Semarang .....	182

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Listrik merupakan bentuk energi yang mengalir melalui jaringan kabel dan sudah menjadi bagian yang penting bagi kemajuan peradaban manusia di berbagai bidang, baik dalam bidang ekonomi, teknologi, sosial dan budaya. Meningkatnya aktifitas manusia akan mempengaruhi penggunaan listrik. Tingginya kebutuhan energi listrik mengharuskan produsen menyediakan suplai energi listrik yang mampu memenuhi permintaan konsumen. Ketersediaan energi listrik menjadi komponen yang sangat penting dalam keberhasilan aspek lain. Terpenuhinya kebutuhan energi listrik yang tepat sasaran pada suatu daerah dapat memacu perkembangan pembangunan daerah seperti sektor teknologi, industri, komersil dan lain – lain.

Berdasarkan pertimbangan untuk pemenuhan energi listrik, kebutuhan listrik pada tahun mendatang harus diprediksikan lebih dulu sebelum dibangun pusat – pusat pembangkit tenaga listrik. Mengingat bidang energi listrik adalah bidang yang memerlukan prediksi dengan jangka yang panjang, guna mempersiapkan infrastruktur pembangkit untuk suplai tenaga. Namun untuk prediksi jangka panjang cukup sulit dilakukan. Kendala yang dihadapi biasanya bersangkutan dengan faktor waktu dan faktor dana. Selain itu energi listrik memiliki banyak faktor yang kompleks, karakteristik – karakteristik nonlinier, dan mudah dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti faktor cuaca dan faktor ekonomi (Kuncoro dan Dalimi, 2005). Oleh karena itu, untuk mengantisipasi terjadinya

hal – hal diatas adalah melakukan prediksi yang dapat memprediksi besar konsumsi energi listrik.

Perencanaan prediksi membutuhkan metode prediksi yang sesuai dengan obyek yang akan diprediksi. Metode prediksi dapat menjadi alat bantu dalam menghitung sehingga dapat memudahkan proses memprediksi. Beberapa penelitian yang pernah dilakukan mengenai prediksi energi listrik memiliki beberapa penekanan terhadap cara prediksinya. Hal – hal tersebut antara lain : pertama pemodelan jaringan dimana setiap tempat dan waktu membutuhkan model jaringan yang berbeda. Kedua, pola data dibedakan menjadi pola deret waktu, dan pola matriks dimana datanya menggunakan beberapa variabel tambahan yang disusun secara matriks. Ketiga, prediksi jangka pendek biasanya lebih akurat daripada jangka panjang. Keempat nilai kesalahan pasti ada namun prediksi yang mencapai nilai kesalahan 0,0% tetap diusahakan, tapi jika nilai kesalahannya kurang dari 10% maka PLN masih menerima nilai kesalahan tersebut. Kelima, disarankan menggunakan teknologi komputer karena perhitungannya lebih akurat.

Perkembangan teknologi komputasi saat ini mengarah kepada teknologi kecerdasan buatan sehingga menghasilkan metode alternatif untuk prediksi energi listrik jangka panjang (Rachman, et al. 2012). Penggunaan teknologi komputasi selain lebih mudah, hasil perhitungan juga lebih akurat. Para ahli berusaha menciptakan sistem cerdas (*artificial intelligence*) yang dapat memprediksi kebutuhan energi listrik di masa depan. Salah satu sistem cerdas yang baik digunakan untuk prediksi adalah Jaringan Syaraf Tiruan (*Neural Network*).

Jaringan Syaraf Tiruan atau *Neural Network* adalah algoritma penyelesaian masalah komputasi yang prinsip kerjanya menirukan jaringan syaraf manusia. Salah satu jenis dari algoritma JST adalah *Backpropagation*. Metode ini dipilih karena mampu melakukan proses pembelajaran terhadap contoh pola yang diberikan, mampu menemukan hubungan antara karakteristik nonlinier energi dan data lain dengan baik. Karakteristik nonlinier tersebut seperti faktor ekonomi dan faktor lain. Selain itu, ketika *output* tidak sama dengan target yang diharapkan maka *output* akan disebarkan mundur (*backward*) pada *hidden layer* untuk diteruskan ke unit *input layer*, sehingga akan ada umpan balik untuk memvalidasi hasil keluaran JST (Setiabudi, 2015). JST juga memiliki keakuratan tinggi dengan syarat data yang dimasukan memenuhi syarat jumlah dan validitas tinggi (Fajar, 2012).

Prediksi dilakukan di wilayah Kota Semarang yang merupakan pusat ibukota Jawa Tengah. Konsumsi energi listrik di daerah Kota Semarang cukup fluktuatif, dimana biasanya terjadi kenaikan konsumsi energi listrik di bulan Mei dan Oktober serta penurunan di bulan Februari dan Agustus. Kenaikan dan penurunan ini membentuk suatu pola pada siklus tahunan. Meskipun adanya peningkatan konsumsi energi listrik seiring dengan pertumbuhan penduduk, namun pola yang terbentuk relatif sama. Pola inilah yang akan digunakan untuk proses pembelajaran metode Jaringan Syaraf Tiruan *Backpropagation*.

Meskipun terdapat kenaikan dan penurunan konsumsi energi listrik, namun pemadaman bergilir masih dilakukan di masing – masing kecamatan. Berdasarkan informasi yang bersumber dari Peta Padam PLN Jateng, pada tahun 2017 terjadi pemadaman sebanyak 1059 kali. 283 pemadaman diantaranya merupakan

perbaikan dan pemeliharaan sedangkan 776 pemadaman lainnya merupakan pemadaman bergilir. Pemadaman akibat perbaikan dan pemeliharaan biasanya dilakukan pada pukul 09.00 – 16.00 WIB. Sedangkan pemadaman bergilir biasanya dilakukan pada pukul 12.00 – 18.00 WIB atau 15.00 – 21.00 WIB. Menurut keterangan Bapak Heri selaku Kepala bagian Perencanaan PT. PLN APJ Semarang dalam wawancara yang dilakukan pada tanggal 30 Juli 2018, pemadaman bergilir dilakukan di beberapa lokasi tertentu untuk mengantisipasi kekurangan suplai listrik di wilayah pusat kota terutama pada malam hari. Hal ini menunjukkan bahwa ketersediaan listrik belum bisa memenuhi kebutuhan konsumen secara menyeluruh di waktu yang bersamaan.

Berdasarkan penjelasan diatas peneliti akan mencoba melakukan prediksi energi listrik dengan memperhatikan poin penting yaitu tidak melebihi batas toleransi kesalahan sebanyak 10%, menggunakan teknologi komputasi dengan sistem cerdas yaitu Jaringan Syaraf Tiruan *Backpropagation*, serta memperhatikan pola data. Dengan demikian peneliti akan melakukan penelitian yang berjudul **“Prediksi Energi Listrik Dengan Metode Jaringan Syaraf Tiruan *Backpropagation* Menggunakan Matlab Untuk Kota Semarang Tahun 2019 – 2024”**.

## **1.2. Identifikasi Masalah**

Berdasarkan dari latar belakang yang telah dijabarkan diatas, peneliti dapat mengidentifikasi beberapa masalah, antara lain :

1. Kebutuhan energi listrik di Kota Semarang beberapa tahun selanjutnya belum diketahui.

2. Diperlukan waktu yang lama dan dana yang besar untuk membangun pembangkit listrik baru dan fasilitas transmisi baru untuk memenuhi peningkatan konsumsi energi listrik.
3. Metode dan model untuk prediksi kebutuhan energi listrik di tahun mendatang harus dibuat dan disesuaikan dengan karakteristik listrik Kota Semarang
4. Persediaan energi listrik tidak mampu memenuhi permintaan konsumsi listrik Kota Semarang, sehingga sering terjadi pemadaman listrik di beberapa titik tertentu sekitar pukul 12.00 – 18.00 WIB atau 15.00 – 18.00 WIB untuk mengantisipasi kurangnya suplai listrik.

### **1.3. Pembatasan Masalah**

Mengacu pada permasalahan yang telah dirumuskan, penelitian yang dilakukan memiliki pembatasan masalah, antara lain :

1. Ruang lingkup penelitian adalah Kota Semarang, Jawa Tengah.
2. Data diambil adalah data pemakaian energi listrik tahun 2012 – 2016 dalam satuan *megawatt hours* (MWh).
3. Prediksi dilakukan untuk memprediksikan kebutuhan energi listrik Kota Semarang tahun 2019 – 2024.
4. Prediksi menggunakan metode Jaringan Syaraf Tiruan *Backpropagation* dilakukan dengan bantuan *toolbox* yang terdapat pada *software* Matlab.

#### **1.4. Perumusan Masalah**

Rumusan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini yaitu :

1. Bagaimana memodelkan metode Jaringan Syaraf Tiruan *Backpropagation* yang tepat untuk prediksi energi listrik di Kota Semarang pada tahun 2019 – 2024?
2. Bagaimana hasil prediksi kebutuhan energi listrik di Kota Semarang pada tahun 2019 – 2024 dengan metode Jaringan Syaraf Tiruan *Backpropagation* yang diimplementasikan menggunakan Matlab?

#### **1.5. Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini sebagai berikut :

1. Membuat pemodelan metode Jaringan Syaraf Tiruan *Backpropagation* yang tepat untuk prediksi energi listrik di Kota Semarang tahun 2019 – 2024.
2. Memprediksi kebutuhan energi listrik Kota Semarang tahun 2019 – 2024 menggunakan model metode Jaringan Syaraf Tiruan *Backpropagation* yang telah dibuat dengan diimplementasikan pada Matlab.

#### **1.6. Manfaat Penelitian**

Manfaat yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah :

1. Dapat digunakan sebagai metode alternatif dalam melakukan prediksi energi listrik khususnya jangka panjang oleh pihak yang membutuhkan untuk memperoleh hasil prediksi dengan tingkat akurasi yang baik.
2. Dapat dijadikan sebagai referensi dan bahan rujukan untuk peneliti lain dalam mengembangkan metode yang lebih efektif dan efisien.

## 1.7. Penegasan Istilah

Penegasan istilah diperlukan untuk memudahkan dan menghindari terjadinya kesalahan penafsiran, berikut ini beberapa penjabaran beberapa istilah pokok dalam penelitian ini :

### 1. Prediksi

Menurut pendapat Barry Render dan Jay Heizer, (2009 : 46) Prediksi (*forecasting*) adalah seni dan ilmu memprediksi peristiwa – peristiwa masa depan dengan pengambilan data historis dan memproyeksikannya ke masa depan dengan menggunakan beberapa bentuk model matematis.

### 2. Energi listrik

Menurut pendapat Suhono (2010) menyatakan bahwa Energi listrik adalah energi utama yang dibutuhkan bagi peralatan listrik atau energi yang tersimpan dalam arus listrik. Jadi energi listrik dapat diartikan sebagai energi yang dibutuhkan untuk menghidupkan peralatan listrik. Sedangkan konsumsi energi listrik adalah energi yang dikonsumsi pada saat menghidupkan dan menjalankan peralatan listrik.

### 3. Jaringan Syaraf Tiruan *Backpropagation*

Metode yang mengadaptasi cara kerja sistem syaraf biologis dimana data – data diibaratkan sebagai neuron yang dikirim menggunakan garis penghubung yang memiliki nilai bobot kemudian diolah dalam lapisan tersembunyi. Dengan menggunakan algoritma *backpropagation* selama pengolahan data terdapat proses pembelajaran bagi sistem jaringan untuk mempelajari pola data. *Output* yang dihasilkan akan disaring menggunakan fungsi aktivasi untuk menentukan



apakah *output* sesuai dengan kriteria atau tidak. Jika belum sesuai maka dapat dilakukan pengulangan sampai *output* sesuai dengan bobot yang ditentukan.

#### 4. Kota Semarang

Kota Semarang adalah ibukota dari provinsi Jawa Tengah, yang menjadi kota metropolitan terbesar kelima di Indonesia. Kota Semarang dengan luas wilayah 373,70 Km<sup>2</sup> menjadi salah satu kota yang paling berkembang di Pulau Jawa. Tercatat di Kota Semarang jumlah perusahaan industri mencapai 90 perusahaan, ditambah dengan bangunan gedung pencakar langit seperti kantor, hotel membuat Kota Semarang menjadi kota yang aktif dan berkembang pesat. Hal ini tentunya mempengaruhi karakteristik beban listrik Kota Semarang.

#### 5. Prediksi Energi Listrik dengan Metode Jaringan Syaraf Tiruan *Backpropagation* Menggunakan Matlab Untuk Kota Semarang Tahun 2019 – 2024.

Suatu seni yang berkaitan dengan memperkirakan peristiwa yang akan datang berdasarkan perhitungan rasional menggunakan data historis energi listrik. Penyediaan energi listrik membutuhkan proses yang panjang berkaitan dengan persiapan pembangunan fasilitas pembangkit dan transmisi sehingga prediksi dilakukan dalam waktu jangka panjang yaitu tahun 2019 – 2024. Metode yang digunakan untuk memprediksi adalah Jaringan Syaraf Tiruan *Backpropagation*, karena mampu melakukan proses pembelajaran dengan umpan balik sehingga dapat menghasilkan *output* yang sesuai target. Metode ini akan diimplementasikan menggunakan Matlab untuk prediksi energi listrik di Kota Semarang.

## BAB II

### KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

Pada bab ini menjelaskan tentang kajian pustaka yang relevan dari penelitian sebelumnya, yang menjadi referensi pendukung dalam melaksanakan penelitian. Adapun bahasan dari penelitian sebelumnya meliputi pemodelan jaringan syaraf tiruan untuk prediksi energi listrik, pola data, variabel data, klasifikasi data berdasarkan waktu, serta toleransi kesalahan.

#### 2.1. Kajian Pustaka

Tahun 1992, K. Y. Lee, dkk membuat penelitian yang berjudul *Short-Term Load Forecasting Using An Artificial Neural Network*. Penelitian dilakukan untuk mencari pemodelan jaringan ANN yang tepat untuk daerah tertentu. Lee menggunakan sistem musiman yaitu musim dingin dan musim panas, kemudian mencari hari dengan karakteristik yang sama dan membuat dua metode. Metode 1 : membagi satu minggu menjadi hari kerja dan akhir pekan. Untuk hari kerja dibagi lagi menjadi tiga berdasarkan jam yaitu untuk pukul 01.00 – 09.00, 10.00 – 19.00, dan 20.00 – 24.00. Metode ini menggunakan data 2 hari sebelumnya untuk memprediksi 1 hari berikutnya dengan 24 keluaran. Metode 2: jamnya tetap karena peneliti yakin setiap waktu satu saling berkaitan dengan waktu yang lain hanya memiliki 1 keluaran dengan 8 masukan saja. Hasil prediksi menunjukkan bahwa untuk data harian jangka pendek metode 1 memberikan hasil prediksi yang lebih akurat, sedangkan untuk prediksi 6 bulan kedepan metode 2 lebih akurat.

Tahun 2016 Ricky A. P. membuat penelitian berjudul *Peramalan Beban Listrik Jangka Panjang Provinsi D.I. Yogyakarta Menggunakan Neural Network*

*Backpropagation*. Ricky melakukan percobaan yaitu membuat pemodelan jaringan menggunakan data energi terjual di Indonesia sebagai pelatihan kemudian diimplementasikan untuk memprediksi provinsi Yogyakarta. Data yang digunakan adalah data tahunan untuk memprediksikan tahun 2015 – 2024 kemudian dibandingkan dengan RUPTL provinsi Yogyakarta. Hasil prediksi provinsi Yogyakarta menggunakan model jaringan Indonesia setelah dibandingkan dengan RUPTL menunjukkan persentase kesalahan sebesar 9,8820%. Hal ini menunjukkan hasil prediksi cukup baik. Asumsi peneliti, pemodelan yang disusun berdasarkan jenis data dan pola yang memiliki karakteristik yang sama dapat digunakan untuk memprediksi pemakaian energi di daerah lain.

Ana Kristiana (2015), melakukan penelitian prediksi beban puncak di area Semarang dengan metode kombinasi *Hybrid ARIMA – AFNIS*. Penelitian menggunakan data harian dari Januari 2014 s/d November 2014 sebagai data pelatihan dengan 334 data *in-sample* dan Desember 2014 s/d Januari 2015 dengan 31 *out-sample* sebagai data pengujian. Ana menjelaskan bahwa proses pencarian model yang tepat untuk prediksi sangat ditekankan, menggunakan metode apapun pemodelan yang sesuai menjadi kunci prediksi. Selain itu prediksi jangka pendek juga memberikan hasil prediksi yang lebih akurat.

Penelitian yang dilakukan oleh Dodi Setiabudi pada tahun 2015 yang berjudul *Sistem Informasi Peramalan Beban Listrik Jangka Panjang di Kabupaten Jember Menggunakan JST Backpropagation*. Menjelaskan bahwa metode JST dengan algoritma *backpropagation* sangat baik digunakan untuk prediksi karena memiliki proses pembelajaran *backward* dimana jika *output* yang diharapkan tidak sesuai

target maka data akan disebar mundur menuju unit *input* sehingga akan ada umpan balik yang akan memperbaiki *output* berikutnya agar sesuai dengan target. Menggunakan data tahunan 2007-2012 dari beberapa variabel seperti jumlah penduduk, jumlah pelanggan, jumlah beban puncak dari 25 kecamatan, dengan total 900 data. Data melalui proses normalisasi lebih dulu agar selisih datanya tidak terlalu besar. Namun prediksi masih menggunakan analisis manual sehingga hasil prediksi ini mempunyai nilai kesalahan yang besar yaitu 17,09%.

Herly Mardani (2004) melakukan penelitian peramalan beban listrik jangka pendek di area Jabar berbasis jaringan syaraf tiruan. Menggunakan data per jam dengan pola 7 hari untuk hari biasa dan 1 pola untuk hari besar. Arsitektur jaringannya yaitu 10 neuron untuk lapisan tersembunyi pertama dan 5 neuron untuk lapisan tersembunyi kedua. Hasil prediksi dilakukan untuk mencari data selama 7 minggu kemudian data tersebut dibandingkan dengan data aktual. Nilai kesalahan yang didapat sebesar 5,29% menunjukkan bahwa prediksi cukup baik.

Pada tahun 2013 Yuyu, dkk membuat studi perbandingan antara metode jaringan syaraf tiruan dengan metode koefisien beban untuk peramalan beban puncak listrik. Penelitian ini dilakukan untuk melihat metode yang dapat memprediksi dengan hasil yang paling akurat. Data yang diambil adalah data per menit yaitu dari pukul 17.00 – 22.00 selama 5 minggu. Alasannya karena data yang berpola akan memudahkan sistem untuk melakukan proses pembelajaran. Selain itu prediksi jangka pendek akan memberikan hasil yang lebih akurat. Yuyu menjelaskan bahwa metode JST lebih akurat dengan nilai kesalahan 0,12%, sedangkan nilai kesalahan metode koefisien beban mencapai 1,85%.

Tahun 2015, Muhammad melakukan penelitian untuk membuat proyeksi energi listrik jangka panjang di Indonesia menggunakan metode jaringan syaraf tiruan. Data yang digunakan adalah data pertahun dari 2009 – 2013, menggunakan beberapa variabel meliputi data produk domestik bruto, data jumlah pelanggan dan data konsumsi listrik. Muhammad mencoba memproyeksi kebutuhan listrik untuk tahu 2014-2019. Menurut peneliti jika data yang digunakan hanya 2009 – 2013 maka datanya terlalu sedikit, maka membutuhkan data dari variabel lain agar sistem bisa melakukan proses pembelajaran. Hasil prediksi menunjukkan nilai kesalahan dari metode jaringan syaraf tiruan mencapai 3,31%. Hal ini berarti hasil prediksi cukup baik.

Pada tahun 2015, Antonov dan Arief membuat analisis tentang korelasi kebutuhan energi listrik di provinsi Sumatra Barat dengan variabel lain menggunakan metode analisis regresi linier berganda. Peneliti menganggap pemakaian energi listrik sangat berkaitan dengan variabel lain seperti jumlah penduduk, jumlah rumah tangga, PDRB, bahkan kapasitas trafo distribusi. Dalam penelitian ini peneliti menggunakan aplikasi SPSS sebagai alat bantu prediksi. Peneliti juga menjelaskan bahwa untuk data tahunan sebaiknya ditambah dengan beberapa variabel lain agar data tidak terlalu sedikit.

Pada tahun 2013 Syafrudin, dkk melakukan penelitian menggunakan metode regresi linier untuk prediksi jangka panjang provinsi lampung. Data yang digunakan adalah data tahunan dari 2007-2012 dari beberapa variabel yaitu PDRB, jumlah penduduk, rasio elektrifikasi, *losses*, dan faktor beban. Menurut Syafrudin, untuk jenis data yang menggunakan beberapa variabel maka susunan datanya berbentuk

matriks. Hal ini berfungsi untuk memudahkan peneliti mencari nilai konstanta dan variabel regresi, mengingat metode ini menggunakan cara perhitungan manual.

Dalam penelitian yang berjudul tentang *Peramalan Beban Tenaga Listrik Jangka Pendek Menggunakan Metode Jaringan Syaraf Tiruan*, menjelaskan bahwa prediksi jangka pendek dinilai lebih akurat dibandingkan dengan prediksi jangka panjang. Sistem jaringan syaraf tiruan *backpropagation* dengan bantuan aplikasi Matlab juga mampu menyelesaikan karakteristik beban listrik yang nonlinier. Data yang digunakan adalah data DPRB, jumlah penduduk, daya tersambung dari 2000 – 2009. Arsitekturnya membentuk 7 input dengan 560 data masukan untuk pelatihan dan 140 untuk pengujian. Hasil prediksi ini memiliki nilai kesalahan sebesar 0,813%. Penelitian ini dilakukan oleh Irma Handayani, Alimudin, serta Suhendar dan dipublikasikan pada 2012.

Dalam penelitian Nahar Nurkholiq, Tejo Sukmadi dan Agung Nugroho pada tahun 2014, yang berjudul *Analisis Perbandingan Metode Logika Fussy dengan Jaringan Syaraf Tiruan Backpropagation pada Peramalan Kebutuhan Energi Listrik Jangka Panjang di Indonesia sampai Tahun 2022*. Memaparkan bahwa prediksi jangka panjang dipengaruhi oleh beberapa variabel yaitu jumlah pelanggan, populasi, rasio elektrifikasi, dan pertumbuhan ekonomi mempengaruhi konsumsi energi total. Peneliti membandingkan metode logika *fuzzy* dengan jaringan syaraf tiruan. Data diambil dari tahun 2004 – 2012. Menurut Nahar, data dari masing – masing memiliki selisih yang terlalu besar sehingga perlu dilakukan normalisasi lebih dulu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode

jaringan syaraf tiruan lebih akurat dibandingkan logika *fuzzy* dengan nilai kesalahan masing – masing adalah 8,2413% dan 2,802%.

Maju Binoto bersama Yulianto Kristiawan pada tahun 2015 membuat penelitian tentang peramalan energi listrik jangka panjang di Solo menggunakan *Artificial Neural Network*. Alasan digunakan ANN karena dapat digunakan untuk data hubungan non-linier antara beban dan faktor – faktor ekonomi yang bervariasi dengan faktor lainnya. Data yang digunakan adalah data tahunan meliputi jumlah penduduk, jumlah pelanggan, PDRB, energi listrik, dll. Total ada 11 masukan dengan 2 keluaran yaitu energi dijual dan daya tersambung. Hasil simulasi berhenti pada *epoch* ke 25514 dari 100000, dengan nilai kesalahan mencapai 9%. Menurut peneliti hasil prediksi masih baik karena  $< 10\%$ . Secara umum, PLN menerima nilai kesalahan sebesar 10%.

Selanjutnya penelitian yang disusun oleh Arfiansyah Rahman, Ade Gafar A, dan Dadang L. H, pada tahun 2012 dalam jurnal yang berjudul *Prakiraan Beban Puncak Jangka Panjang Pada Sistem Kelistrikan Indonesia Menggunakan Algoritma Neuro-Fuzzy Inference System*. Menyatakan bahwa seiring perkembangan teknologi era digital lebih baik memprediksi menggunakan teknologi komputasi yang ada. Penelitian ini menggunakan aplikasi Matlab R2010b dengan data historis dari tahun sebelumnya. Data yang digunakan adalah data dari beberapa variabel seperti PRDB per kapita, populasi penduduk, jumlah pelanggan, produksi minyak dan gas, dll dari tahun 2000 – 2008. Peneliti memakai metode ANFIZ untuk memprediksi beban puncak tahun 2009 – 2025. Karena banyaknya variabel maka data dinormalisasi lebih dulu untuk menghindari selisih data yang

terlalu besar. Hasil penelitian menunjukkan hasil prediksi mencapai nilai kesalahan sebesar 6,93%. Nilai kesalahan ini masih dapat ditoleransi oleh PLN karena masih di bawah 10%.

Selanjutnya penelitian dari Arief, dkk yang berjudul *Aplikasi Jaringan Syaraf Tiruan Untuk Peramalan Beban Tenaga Listrik Pada Sistem Kelistrikan Di Indonesia pada tahun 2005*. Menurut peneliti metode ini mampu menemukan hubungan nonlinier antara beban dan faktor ekonomi yang saling berkaitan. Arief, dkk menggunakan beberapa variabel seperti PDRB, jumlah penduduk, jumlah pelanggan, harga minyak, dll, data tersebut adalah data tahunan. Jaringan yang terbentuk ada 4 lapisan yaitu 10 neuron masukan, 75 neuron untuk lapisan tersembunyi pertama, 5 neuron pada lapisan tersembunyi kedua dan 1 neuron keluran. Hasil prediksi menunjukkan nilai kesalahan sebesar 6,6%. Hal ini menunjukkan hasil prediksi cukup baik dan masih termasuk ke batas toleransi dari PLN yaitu 10%.

Pada tahun 2017, Niswatul Arifah melakukan penelitian yang berjudul *Implementasi Neural Network pada Matlab untuk Prakiraan Konsumsi Beban Listrik Kabupaten Ponorogo Jawa Timur*. Penelitian ini menggunakan *toolbox* yang ada pada matlab yaitu *toolbox Neural Network*. *Toolbox* ini adalah *toolbox* yang khusus digunakan untuk operasi berbasis syaraf tiruan, sudah dilengkapi berbagai fungsi dan opsi pembelajaran sehingga memudahkan penggunaanya. Peneliti menggunakan memilih data pemakaian eneri listrik perbulan dengan memilih tanggal yang sama dalam satu tahun. Data diambil yaitu tanggal 14, 15 dan 16 untuk masing – masing satu tahun yang berbeda. Data tersebut membentuk pola



bulan ke-1 s/d bulan ke-12 sebagai masukan dengan menjadikan bulan ke-13 sebagai target. Hasil prediksi menunjukkan nilai kesalahan mencapai 7,5% masih sesuai dengan batas toleransi PLN yaitu sebesar 10%.

Relevansi dari penelitian - penelitian tersebut menunjukkan beberapa hal penting. Pertama, perlu adanya pemodelan jaringan yang dibuat dari data historis masing – masing daerah. Karena umumnya setiap daerah memiliki karakteristik bebannya masing – masing sehingga tidak bisa menggunakan pemodelan daerah satu untuk memprediksi daerah lain. Namun menurut Ricky (2016), jika suatu daerah yang jenis data dan pola yang sama maka pemodelannya dapat digunakan untuk prediksi daerah lain. Kedua, pola data dapat berupa deret berkala dan deret berkala dengan variabel tambahan. Untuk pola deret berkala dipakai data sebelumnya untuk prediksi di waktu selanjutnya. Sedangkan pola variabel tambahan biasanya untuk jangka panjang, menggunakan data lain yang dianggap mempengaruhi pemakaian energi listrik, untuk data ini polanya membentuk matriks tertentu. Pola ini juga berlaku untuk metode lain seperti regresi linier. Ketiga, prediksi untuk jangka pendek biasanya hasilnya lebih akurat, setiap interval waktu juga memiliki pemodelan jaringan berbeda untuk menghasilkan prediksi yang optimal. Keempat, dalam membuat prediksi tetap ada nilai kesalahan yang terjadi, namun selama nilai kesalahan tidak melebihi 10% maka PLN masih dapat ditoleransi. Akan tetapi hasil prediksi terbaik tetap diusahakan dengan nilai kesalahan 0,0% dan akurasi 100%. Kelima, dianjurkan menggunakan teknologi komputer sebagai alat bantu hitung seperti Matlab karena analisisnya sangat banyak sehingga sangat tidak efisien jika dilakukan analisis secara manual. Seperti

penelitian Dodi (2015) menggunakan cara manual untuk perhitungan JST sehingga nilai kesalahannya menapai 17,09%.

## **2.2. Landasan Teori**

### **2.2.1. Prediksi**

Prediksi (*forecasting*) merupakan proses untuk memprakirakan kejadian / hal pada masa yang akan datang (Heizer dan Render, 2009 : 46). Prediksi berdasarkan jangka waktu dapat dikategorikan menjadi tiga: jangka pendek, jangka menengah, dan jangka panjang (Hamidie, 2009). Prediksi jangka pendek meliputi jangka waktu jam, hari hingga tiga bulan. Prediksi jangka menengah atau *intermediate* umumnya mencakup hitungan tiga bulan hingga dua tahun. Prediksi jangka panjang umumnya untuk perencanaan masa dua tahun atau lebih (Sugiarto dan Harijono, 2000 : 6).

Prediksi dibutuhkan untuk mengantisipasi hal – hal yang tidak diinginkan dan mempersiapkan tindakan yang perlu dilakukan (Arifah, 2016). Memprediksi suatu kondisi di masa depan memang tidak mudah, namun prediksi dapat dijadikan sebagai acuan untuk memperkecil tingkat kesalahan. Terutama untuk produsen listrik membutuhkan prediksi yang efektif untuk mencapai tujuan jangka panjang dalam menyiapkan sistem kendali produksi (pembangkit) dan saluran transmisi pendistribusian yang sesuai kebutuhan.

#### **2.2.1.1. Jenis – jenis Metode Prediksi**

Prediksi dilakukan memerlukan metode yang disesuaikan dengan informasi data yang dimiliki serta tujuan yang akan dicapai. Metode prediksi yang berkembang saat ini mulanya berasal dari metode sederhana yang

diciptakan dari kumpulan data dengan karakteristik tertentu. Beberapa metode tersebut antara lain :

1. Metode Deret Waktu (*Time Series*)

Metode ini menggunakan data masa lampau untuk membuat prediksi. Analisisnya yaitu mencari hubungan antara variabel terikat dan variabel bebas yang saling berkaitan terhadap waktu. Waktu yang digunakan seperti minggu, bulan, dan tahun. Tujuan dari metode ini adalah meneliti pola data yang dipakai untuk melakukan eksplorasi ke masa depan untuk mengetahui pola data yang diperlukan dalam menentukan metode prediksi yang sesuai (Arifah, 2016).

Metode deret waktu terdiri dari :

- a. Metode *Smoothing*, biasanya digunakan untuk prediksi jangka pendek seperti perencanaan keuangan dan menentukan persediaan barang. Tujuannya untuk menghindari ketidakteraturan seperti musiman. Contohnya metode *Exponential Smoothing*,
- b. Metode *Box Jenkins*, metode yang menggunakan model matematis dalam proses prediksi, biasanya digunakan untuk prediksi jangka pendek. Contoh metode yang dikembangkan yaitu : AR (*Auto Regressive*), MA (*Moving Average*), lalu dikembangkan menjadi ARMA (*Auto Regressive Moving Average*), ARIMA (*Auto Regressive Integrated Moving Average*), ARIMAX (*Auto Regressive Moving Average with Exogeneous variabels*), ARIMAX (*Auto Regressive Integrated Moving Average with Exogeneous variabels*).

- c. Metode Proyeksi Trend dengan Regresi, biasanya memiliki garis trend untuk persamaan matematis. Kadang bisa di gambarkan dengan garis kurva dari waktu ke waktu. Metode ini baik digunakan unuk prediksi jangka pendek maupun jangka panjang. Contoh metode yang dikembangkan dari metode ini yaitu metode pendekatan hari yang sama.

## 2. Metode Kausal (Sebab – Akibat)

Metode ini menggabungkan banyak variabel atau faktor yang mungkin mempengaruhi kuantitas yang sedang diramalkan (Arifah, 2016). Mencari korelasi variabel satu dengan yang lain dimana variabel tersebut memiliki hubungan sebab akibat akan tetapi tidak didasarkan pada faktor waktu. Metode ini terbagi menjadi :

- a. Metode Regresi dan Korelasi, metode yang dianalisis secara statis menggunakan persamaan pada metode *least square*. Baik digunakan untuk prediksi jangka panjang maupun jangka pendek. Contoh pengembangan metodenya yaitu metode regresi linier, metode regresi linier berganda dan regresi nonlinier.
- b. Model *Input Output*, biasanya digunakan untuk mengilustrasikan tren ekonomi dalam jangka panjang. Contohnya model statistik berdasarkan pembelajaran, dan model penggunaan terakhir.
- c. Model Ekonometrik, merupakan kombinasi dari teori ekonomi dan teknik statistik untuk memprediksi energi listrik. Mengestimasi hubungan antara konsumsi energi dan faktor yang mempengaruhi energi tersebut (Khair, 2010).

### 3. Program yang Bisa Digunakan untuk Prediksi

Prediksi tidak harus menggunakan metode yang khusus dirancang untuk melakukan prediksi. Beberapa program yang canggih juga dapat digunakan untuk prediksi karena kemampuannya dalam membaca pola melalui proses pembelajaran. Program yang dapat digunakan untuk prediksi antara lain :

- a. Logika *Fuzzy*, metode ini merupakan pendekatan generalisasi terhadap logika *Boolean* dengan menggunakan desain rangkaian digital. *Input Boolean* ini berupa “0” dan “1”. Dibawah logika *fuzzy* ini sebuah input sudah diasosiasikan dengan rentang kualitatif tertentu. Singkatnya logika *fuzzy* memperbolehkan satu *output* kesimpulan dari beberapa *output*.
- b. Jaringan Syaraf Tiruan (*Neural Network*), penggunaan *Artificial Neural Network* (ANN) telah banyak digunakan sebagai studi pembelajaran prediksi energi dari tahun 1990. Intinya *neural network* merupakan rangkaian nonlinier yang dapat melakukan pencocokan kurva – kurva nonlinier. *Output* yang dihasilkan berupa fungsi linier dan nonlinier dari masukannya tersebut.

#### 2.2.2. Energi Listrik

Energi listrik merupakan energi yang berasal dari muatan listrik yang menimbulkan medan listrik statis atau Bergeraknya elektron pada konduktor (penghantar listrik) atau ion (bermuatan positif atau negatif) pada zat cair atau gas. Energi listrik menjadi energi utama yang dibutuhkan bagi peralatan listrik atau energi yang tersimpan dalam arus listrik. Energi listrik yang dialirkan ke peralatan listrik akan dikonversikan sesuai fungsi alat tersebut seperti menggerakkan motor,

memanaskan, mendinginkan, dan lampu penerangan. Energi listrik didapatkan dari energi lain yang kemudian dikonversikan menjadi energi listrik. Misalnya energi uap, energi surya, energi gerak, dan sebagainya.

Energi sumber daya alam yang tersedia tersebut dimanfaatkan menjadi energi listrik menggunakan konsep konversi energi melalui proses pembangkitan tenaga listrik. Pembangkit listrik dibedakan berdasarkan pada sumber daya yang digunakan seperti PLTU, PLTA, PLTN, PLTS, dan lain – lain. Pembangkit listrik terdiri dari generator yang mengubah energi mekanik menjadi listrik, prinsip yang digunakan adalah medan listrik dan penghantar. Energi yang dihasilkan akan disimpan pada tempat penyimpanan energi atau akumulator.

Energi listrik yang tersimpan akan didistribusikan ke konsumen menggunakan saluran transmisi. Klasifikasi saluran transmisi dan distribusi dibedakan berdasarkan nilai tegangan, bentuk tegangan, tipe konduktor, susunan saluran dan susunan rangkaiannya. Namun secara garis besar distribusi tenaga dari pusat pembangkit menggunakan saluran transmisi tegangan arus bolak balik dengan sistem 3 fasa dan 1 fasa. Meskipun begitu ada juga sebagian saluran transmisi yang menggunakan tegangan arus searah.

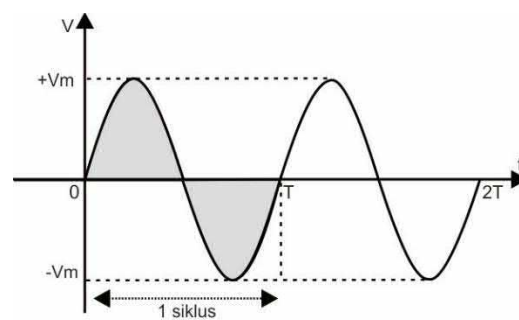
#### **2.2.2.1. Arus Bolak – Balik (AC)**

Suatu penghantar yang ujungnya dihubungkan dengan medan listrik, maka dalam penghantar tersebut akan timbul arus listrik. Bila medan listrik tersebut arahnya tetap, meskipun besarnya berubah – ubah arus yang ditimbulkan disebut arus searah. Apabila medan listrik itu arahnya membalik secara periodik, ini menyebabkan arah gerakan elektron membalik secara periodik pula dan arus yang

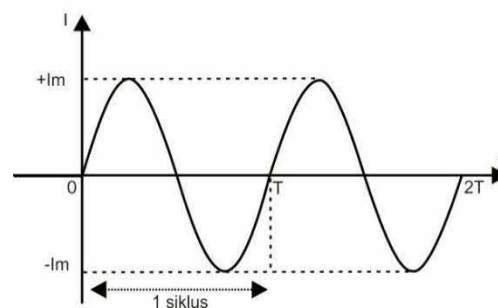
ditimbulkan disebut arus bolak – balik. Tegangan yang mengandung arus bolak – balik maka disebut dengan tegangan bolak – balik.

### 1. Bentuk Tegangan dan Arus Bolak – Balik

Arus dan tegangan listrik bolak – balik dihasilkan oleh generator arus bolak – balik yang menghasilkan gaya gerak listrik (tegangan) dan arus listrik induksi yang berbentuk grafik sinusoidal.



Gambar 2.1. Tegangan arus bolak – balik



Gambar 2.2. Arus bolak – balik

Persamaan matematis tegangan dan arus bolak – balik seperti pada gambar 2.1. dan 2.2. sebagai berikut.

$$V = V_m \sin \omega t = V_m \sin(2\pi f)t = V_m \sin 2\pi \left(\frac{t}{T}\right) \quad (2.1)$$

$$I = I_m \sin \omega t = I_m \sin(2\pi f)t = I_m \sin 2\pi \left(\frac{t}{T}\right) \quad (2.2)$$

Dengan  $\omega = 2\pi f = 2\pi/T$

Keterangan:

$V$  : tegangan sesaat (V)

$I$  : arus sesaat (A)

$V_m$  : tegangan maksimum (V)

$I_m$  : arus maksimum (A)

$f$  : frekuensi (Hz)

$T$  : periode (s)

$t$  : waktu (s)

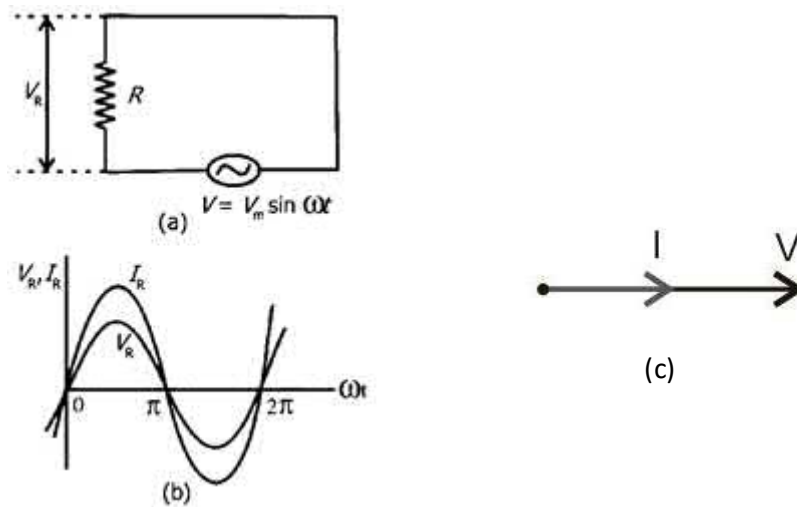
$\omega t$  : sudut fase (radian atau derajat)

## 2. Rangkaian Arus Bolak – Balik

### a. Rangkaian Dengan Beban Resistor Murni R

Resistor merupakan salah satu parameter, rangkaian listrik yang menimbulkan penurunan tegangan yang berbanding lurus dengan arus. Gambar 2.6. menunjukkan rangkaian resistor yang dihubungkan dengan generator AC. Jika tegangan yang diberikan mengikuti persamaan (2.1), maka perubahan tegangan dan arus dapat dijabarkan menurut gelombang sinus.





Gambar 2.3. (a) Rangkaian beban resistif. (b) Bentuk gelombang resistif.  
(c) Vektor beban resistif

Gambar 2.3. (c) menunjukkan gelombang arus sefasa tegangan. Jadi fasa tegangan dan arus nol. Impedansi rangkaian dinyatakan  $Z_r$ , maka:

$$Z_R = R \angle 0^\circ$$

$$Z_R = R (\cos 0^\circ + j \sin 0^\circ)$$

$$Z_R = R (1 + j 0)$$

$$Z_R = R + j0$$

$$Z_R = R \tag{2.1}$$

Berdasarkan gambar rangkaian beban resistif, tegangan pada resistor  $V_R$  sama dengan tegangan sumber maka persamaan tegangan dapat ditulis :

$$V_R = I_m \sin \omega t \tag{2.2}$$

$$I_R = \frac{V_m}{R} \sin \omega t = I_m \sin \omega t \tag{2.3}$$

Dengan tegangan dan arus maksimal nilainya:

$$V_m = I_m R \tag{2.4}$$

$$I_m = \frac{V_m}{R} \tag{2.5}$$

Persamaan tegangan efektif dan arus efektif yaitu:

$$V_{ef} = I_{ef} R \quad (2.6)$$

$$I_{ef} = \frac{V_{ef}}{R} \quad (2.7)$$

Persamaan daya sesaat antara lain

$$\text{Daya sesaat} = v \cdot i = (V_M \sin \omega t)(I_M \sin \omega t)$$

$$= V_M I_M \sin^2 \omega t$$

$$= \frac{V_M I_M}{2} (1 - \cos 2 \omega t)$$

$$\text{Daya sesaat} = \frac{V_M I_M}{2} - \frac{V_M I_M}{2} \cos 2 \omega t \quad (2.8)$$

Dengan demikian daya yang mempunyai komponen konstan  $\frac{V_M I_M}{2}$  dan komponen fluktuasi  $\frac{V_M I_M}{2} \cos 2 \omega t$ .

Untuk satu siklus penuh daya rata – rata dari  $\frac{V_M I_M}{2} \cos 2 \omega t$  adalah nol.

Jadi daya seluruh siklusnya yaitu

$$P = \frac{V_M I_M}{2}$$

Karena  $V_m = V_{ef} \sqrt{2}$  dan  $I_m = I_{ef} \sqrt{2}$  maka

$$P = \frac{V_{ef} \sqrt{2} I_{ef} \sqrt{2}}{2} = V_{ef} I_{ef} \quad (2.9)$$

Keterangan :

$i$  : arus sesaat

$I_R$  : arus pada resistor

$v$  : tegangan sesaat

$V_m$  : tegangan maksimal

$P$  : daya

$I_m$  : arus maksimal

$R$  : resistor

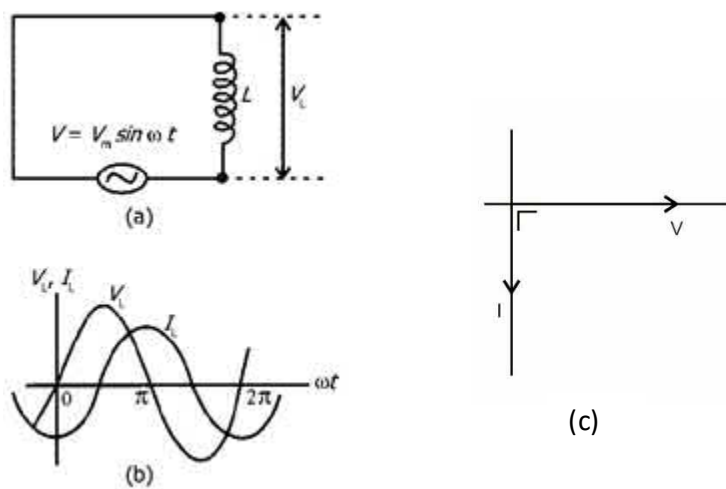
$V_{ef}$  : tegangan efektif

$V_R$  : tegangan pada resistor

$I_{ef}$  : arus efektif

$Z_R$  : impedansi rangkaian resistif

b. Rangkaian Dengan Beban Induktif Murni L



Gambar 2.4. (a) Rangkaian beban induktif. (b) Bentuk gelombang induktif.  
(c) Vektor beban induktif

Jika generator AC memberikan tegangan seperti persamaan (2.2) pada gambar 2.4. (a) maka arus yang mengalir ke bawah sebesar:

$$V = L \frac{di}{dt} \quad \text{bila } V = V_m \sin \omega t$$

$$V_m \sin \omega t = L \frac{di}{dt}$$

$$di = \frac{1}{L} V_m \sin \omega t dt$$

$$i = \frac{1}{L} \int_0^t V_m \sin \omega t dt$$

$$i = \frac{i}{L} \int_0^t V_m \frac{\sin \omega t}{\omega} d\omega t$$

$$i_L = \frac{V_m}{\omega L} \left( \sin \omega t - \frac{\pi}{2} \right) = I_m \left( \sin \omega t - \frac{\pi}{2} \right) \quad (2.10)$$

Nilai tahanan  $\omega L$  adalah reaktansi induktif ( $X_L$ ), dapat didefinisikan sebagai

$$X_L = \omega L = 2\pi fL$$

Dari persamaan (2.11), arus tertinggal sebesar  $90^\circ$  atau  $\pi/2$ , dan tegangan mendahului arus  $90^\circ$ . Maka impedansi rangkaian  $Z_L$  besarnya:

$$\begin{aligned} Z_L &= X_L \angle 90^\circ \\ Z_L &= X_L (\cos 90^\circ + j \sin 90^\circ) \\ Z_L &= X_L (0 + j 1) \\ Z_L &= 0 + jX_L \\ Z_L &= jX_L \end{aligned} \tag{2.11}$$

Berdasarkan gambar 2.7 (b) menunjukkan setiap kali tegangan mencapai titik nol baru arus mengikutinya. Tegangan mencapai harga maksimum positif atau negatif lebih dulu kemudian diikuti dengan arus. Sehingga disebut tegangan mendahului arus.

i akan mencapai maksimum jika  $(\sin \omega t - 90)$  sama dengan 1, maka:

$$\begin{aligned} V_m &= I_m X_L \\ I_m &= \frac{V_m}{X_L} \end{aligned} \tag{2.12}$$

Persamaan tegangan efektif dan arus efektif yaitu:

$$V_{ef} = I_{ef} X_L \tag{2.13}$$

$$I_{ef} = \frac{V_{ef}}{X_L} \tag{2.14}$$

Persamaan daya sesaat untuk rangkaian beban induktif antara lain

$$\begin{aligned} \text{Daya sesaat} &= v \cdot i = (V_m \sin \omega t)(I_m \sin(\omega t - \frac{\pi}{2})) \\ &= V_m I_m \sin \omega t \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) \\ &= -V_m I_m \sin \omega t \cos \omega t \\ \text{Daya sesaat} &= -\frac{1}{2} V_m I_m \sin 2 \omega t \end{aligned} \tag{2.15}$$

Daya rata – rata yang diserap induktor dihitung besarnya nol sebab V dan I berbeda fasa  $90^0$ . Maka persamaan daya seluruh siklusnya adalah

$$P = -\frac{1}{2}V_m I_m \int_0^{2\pi} \sin 2\omega t dt = 0 \quad (2.16)$$

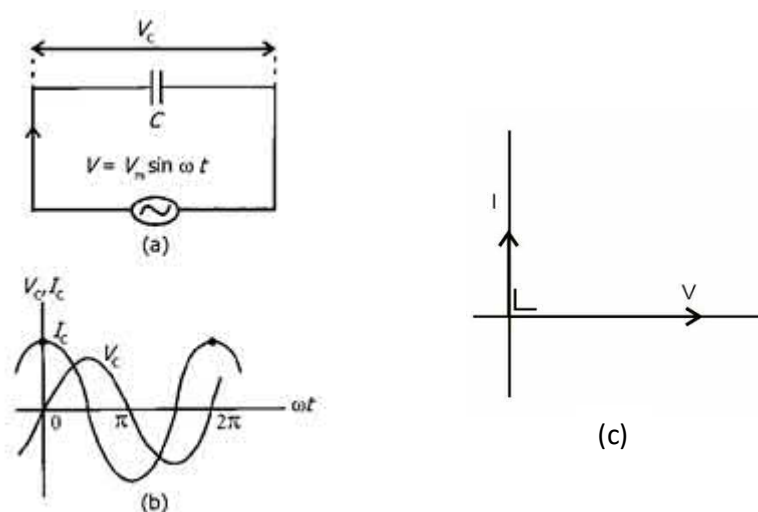
Sedangkan daya sesaat maksimalnya yaitu

$$P_m = -\frac{1}{2}V_m I_m \quad (2.17)$$

Keterangan :

i	: arus sesaat	$I_m$	: arus maksimal
v	: tegangan sesaat	$V_{ef}$	: tegangan efektif
L	: induktor	$I_{ef}$	: arus efektif
P	: daya	$Z_L$	: impedansi pada rangkaian induktif
$X_L$	: reaktansi induktif		
$V_m$	: tegangan maksimal		

### c. Rangkaian Dengan Beban Kapasitor C



Gambar 2.5. (a) Rangkaian beban kapasitif. (b) Bentuk gelombang kapasitif. (c) Vektor beban kapasitif

Sebuah kapasitor ujung - ujungnya dihubungkan dengan generator AC seperti pada gambar 2.5. (a). Jika kapasitor besarnya C Farad muatan listrik yang tersimpan dinyatakan q besarnya yaitu:

$$q = C V = C V_m \sin \omega t \quad (2.18)$$

Karena tegangan dalam waktu dt berubah sebesar dv, maka besar arus yang mengalir pada kapasitor adalah

$$i = \frac{dq}{dt}$$

$$i = C \frac{dv}{dt} = C \frac{d V_m \sin \omega t}{dt}$$

$$i_c = \omega C V_m \cos \omega t \quad (2.19)$$

Persamaan (2.19) jika dibandingkan dengan persamaan (2.10) menghasilkan persamaan baru

$$i_c = I_m \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}) \quad (2.20)$$

Persamaan (2.20) membuktikan bahwa arus mendahului tegangan sebesar  $90^\circ$ . Hal ini ditunjukkan pada gambar 2.8. (b).

Nilai tahanan  $1/\omega C$  adalah reaktansi kapasitif ( $X_C$ ), dapat didefinisikan sebagai

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}$$

Dari persamaan (2.11), arus mendahului sebesar  $90^\circ$  atau  $\pi/2$ , dan tegangan tertinggal arus  $90^\circ$ . Maka impedansi rangkaian  $Z_C$  besarnya:

$$Z_C = X_C \angle -90^\circ$$

$$Z_C = X_C (\cos(-90^\circ) + j \sin(-90^\circ))$$

$$Z_C = X_C (0 - j 1)$$

$$Z_C = 0 - jX_C$$

$$Z_C = -jX_C \quad (2.21)$$

Tegangan dan arus maksimumnya dapat dinyatakan

$$V_m = X_C I_m \quad (2.22)$$

$$I_m = \frac{V_m}{X_C} \quad (2.23)$$

Persamaan tegangan efektif dan arus efektif yaitu:

$$V_{ef} = I_{ef} X_C \quad (2.24)$$

$$I_{ef} = \frac{V_{ef}}{X_C} \quad (2.25)$$

Persamaan daya sesaat untuk rangkaian beban induktif antara lain

$$\begin{aligned} \text{Daya sesaat} &= v \cdot i = (V_m \sin \omega t)(I_m \sin(\omega t + \frac{\pi}{2})) \\ &= V_m I_m \sin \omega t \cos \omega t \end{aligned}$$

$$\text{Daya sesaat} = \frac{1}{2} V_m I_m \cos 2\omega t \quad (2.26)$$

Daya rata – rata yang diserap kapasitor dihitung besarnya nol sebab V dan I berbeda fasa  $90^\circ$ . Maka persamaan daya seluruh siklusnya adalah

$$P = -\frac{1}{2} V_m I_m \int_0^{2\pi} \sin 2\omega t dt = 0 \quad (2.27)$$

Sedangkan daya sesaat maksimalnya yaitu

$$P_m = -\frac{1}{2} V_m I_m \quad (2.28)$$

Keterangan :

v : tegangan

P : daya

i : arus

$X_C$  : reaktansi kapasitif

C : kapasitor

$V_m$  : tegangan maksimal

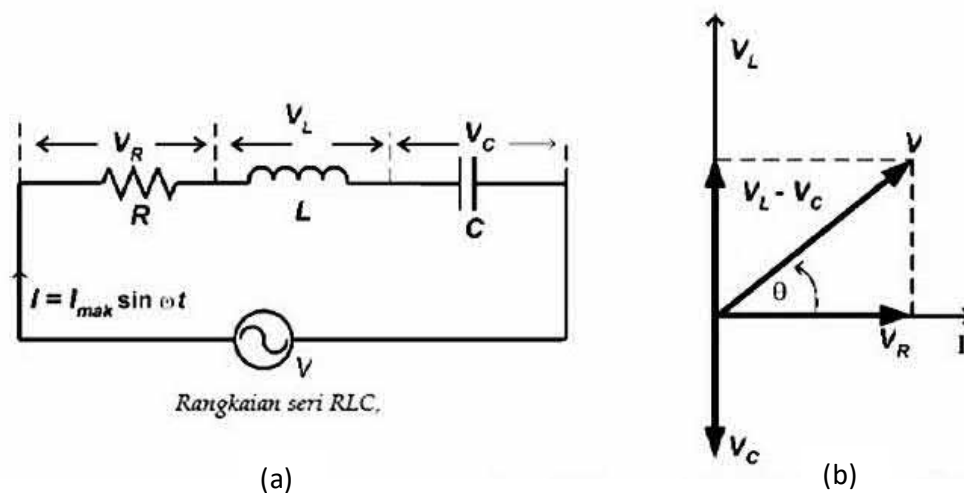
$I_m$  : arus maksimal

$I_{ef}$  : arus efektif

$V_{ef}$  : tegangan efektif

$Z_C$  : impedansi rangkaian kapasitif

d. Rangkaian Seri RLC



Gambar 2.6. (a) Rangkaian Seri RLC. (b) Vektor arus dan tegangan

Tegangan pada resistor  $V_R$  sefase dengan arus  $I$ , tegangan pada induktor  $V_L$  mendahului arus  $\frac{\pi}{2}$  rad atau  $90^\circ$ , dan tegangan pada kapasitor tertinggal dari arus  $\frac{\pi}{2}$  rad atau  $90^\circ$ . Dengan demikian dapat ditulis

$$V_R = I_m R \sin \omega t = V_{mR} \sin \omega t \quad (2.29)$$

$$V_L = I_m X_L \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) = V_{mL} \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) \quad (2.30)$$

$$V_C = I_m X_C \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) = V_{mC} \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) \quad (2.31)$$

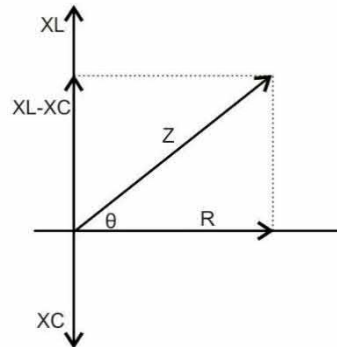
Tegangan antara ujung – ujung rangkaian seri RLC, yaitu  $V_{AB} = V$  adalah jumlah total yaitu:

$$V = \sqrt{V_R^2 + (V_L - V_C)^2} \quad (2.32)$$

Beda sudut fase antara kuat arus dengan tegangan memenuhi hubungan



$$\tan \theta = \frac{V_L - V_C}{V_R} \quad (2.33)$$



Gambar 2.7. Diagram fasor impedansi

Impedansi hambatan total untuk rangkaian seri RLC yang diakibatkan oleh R,  $X_L$ , dan  $X_C$  antara lain

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \quad (2.34)$$

Impedansi dinyatakan dalam polar

$$Z = R + j(X_L - X_C) \quad (2.35)$$

Beda sudut fase antara kuat arus I dengan V yaitu  $\theta$

$$\tan \theta = \frac{X_L - X_C}{R} \quad (2.36)$$

Nilai arus pada rangkaian adalah

$$V = \sqrt{V_R^2 + (V_L - V_C)^2}$$

$$V = \sqrt{(IR)^2 + (IX_L - IX_C)^2}$$

$$I = \frac{V}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}} = \frac{V}{Z} \quad (2.37)$$

Setiap rangkaian memiliki sifat berdasarkan besarnya reaktansi masing – masing beban. Sifat rangkaian dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

- Jika  $X_L > X_C$  maka bersifat induktif

$$Z = Z \cos \varphi + Z \sin \varphi = Z \angle \varphi \quad (2.38)$$

- Jika  $X_L = X_C$  maka bersifat resistif

$$Z = Z \cos 0 + Z \sin 0 = Z \angle 0^\circ \quad (2.39)$$

- Jika  $X_L < X_C$  maka bersifat kapasitif

$$Z = Z \cos \varphi - Z \sin \varphi = Z \angle -\varphi \quad (2.40)$$

Keterangan :

R : resistor

$X_R$  : reaktansi resistif

$X_L$  : reaktansi induktif

$X_C$  : reaktansi kapasitif

V : tegangan

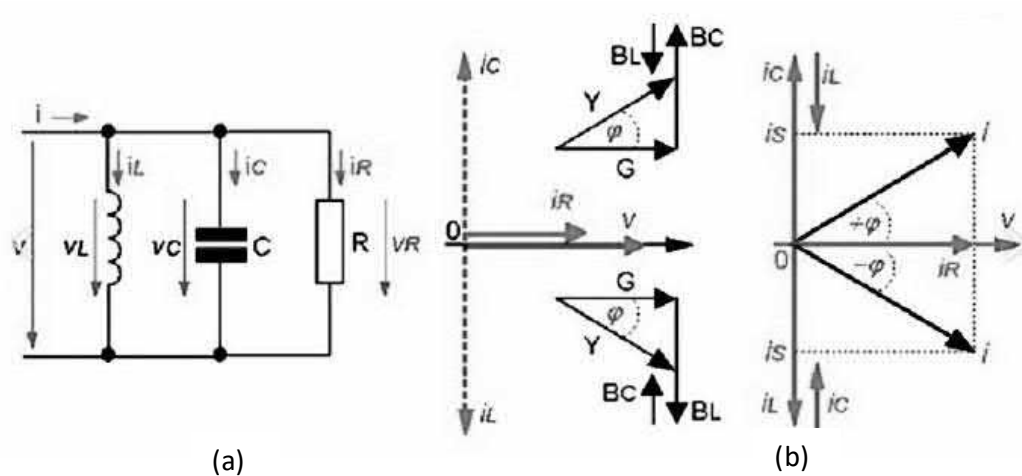
I : arus

V : vektor tegangan

$V_{RLC}$  : vektor tegangan pada masing – masing beban RLC

Z : impedansi pada rangkaian seri RLC

## e. Rangkaian RLC Paralel



Gambar 2.8. (a) Rangkaian RLC paralel. (b) Vektor rangkaian RLC paralel

Sesuai dengan Hukum Kirchoff I, bila ditinjau dari titik a, besar arus listrik yang mengalir adalah

$$I + (-I_1) + (-I_2) + (-I_3) + (-I_4) = 0$$

$$I - I_1 - I_2 - I_3 - I_4 = 0$$

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + I_4 \quad (2.41)$$

Arus yang menuju titik ditandai positif dan arus yang meninggalkan titik ditandai negatif. Jika  $I_1, I_2, I_3, I_4$  masing – masing diserap oleh  $Z_1, Z_2, Z_3, Z_4$  enurut hukum Ohm arusnya bernilai

$$I_1 = \frac{E}{Z_1} ; I_2 = \frac{E}{Z_2} ; I_3 = \frac{E}{Z_3} ; I_4 = \frac{E}{Z_4} \quad (2.42)$$

Jika persamaan (2.50) disubstitusikan pada persamaan (2.49) maka diperoleh impedansi paralel total  $Z_p$ .

$$\frac{1}{Z_p} = \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_3} + \frac{1}{Z_4} \quad (2.43)$$

Secara umum persamaan (2.51) dapat ditulis

$$\frac{1}{Z_p} = \sum_1^n \frac{1}{Z_n} \quad (2.44)$$

Dimana  $Z_p$  impedansi total rangkaian paralel dan n jumlah cabang paralel.

Kebalikan dari impedansi adalah admitansi dinyatakan dengan simbol Y, maka:

$$Y = \frac{1}{Z} \quad (2.45)$$

Bila persamaan (2.45) disubstitusikan pada persamaan (2.43) maka:

$$Y = Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4$$

$$Y_p = \sum_1^n Y_n \quad (2.46)$$

Dimana  $\vec{Y}_p$  adalah admitansi rangkaian paralel dan n adalah jumlah cabang paralel.

Komponen nyata admitansi disebut konduktansi (G) dan komponen khayal disebut susceptensi (B).

Jika impedansi terdiri dari tahanan R dan reaktansi X, maka admitansi tiap cabang adalah:

$$Y = \frac{1}{Z} = \frac{1}{R+jX} \times \frac{R-jX}{R-jX}$$

$$Y = \frac{R}{R^2+X^2} - j \frac{X}{R^2+X^2} = \frac{R}{Z^2} - j \frac{X}{Z^2} \quad (2.47)$$

$$\text{Dimana } G = \frac{R}{Z^2} \text{ dan } B = \frac{X}{Z^2}$$

Dan sebaliknya jika impedansi dinyatakan dalam admitansi :

$$Z = \frac{1}{\vec{Y}} = \frac{1}{G+jB}$$

$$Z = \frac{G}{G^2+B^2} - j \frac{B}{G^2+B^2}$$

$$Z = R + jX \quad (2.48)$$

Selanjutnya bila reaktansi terdiri dari induktor dan kapasitor, maka

$$Y = \frac{R}{Z^2} - j \frac{X}{Z^2} = \frac{R}{Z^2} - j \frac{X_L - X_C}{Z^2}$$

$$Y = \frac{R}{Z^2} + j \frac{X_C - X_L}{Z^2} \quad (2.49)$$

Kemudian masukan persamaan (2.49) pada persamaan (2.48) admitansi menjadi:

$$Y = G + j(B_C - B_L)$$

$$Y = G + jB \quad (2.50)$$

Dimana  $\varphi = \cos^{-1} \frac{G}{Y}$

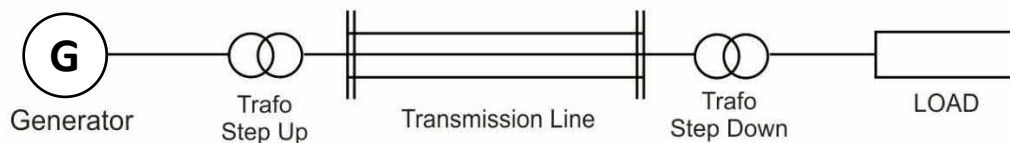
Keterangan :	Z	: impedansi	
R	: resistor	Y	: admitansi
L	: induktor	G	: konduktansi
C	: kapasitor	B	: susceptensi
X	: reaktansi	$Z_p$	: impedansi pada rangkaian paralel RLC
n	: cabang paralel	$Y_p$	: admitansi pada rangkaian paralel RLC
V	: tegangan		
I	: arus		

#### 2.2.2.2. Sistem Tenaga Listrik

Di Indonesia sistem jaringan listrik yang digunakan untuk menyalurkan energi listrik dari produsen listrik ke konsumen adalah jaringan listrik tiga fasa yang dilanjutkan jaringan listrik satu fasa. Sistem tenaga listrik terbagi menjadi beberapa bagian yaitu pembangkitan, transmisi, dan distribusi.

Umumnya energi listrik dibangkitkan oleh generator di pusat pembangkitan, energi yang dibangkitkan merupakan daya listrik tiga fasa. Energi yang dibangkitkan akan ditampung lebih dahulu pada tempat penyimpanan lebih dulu,

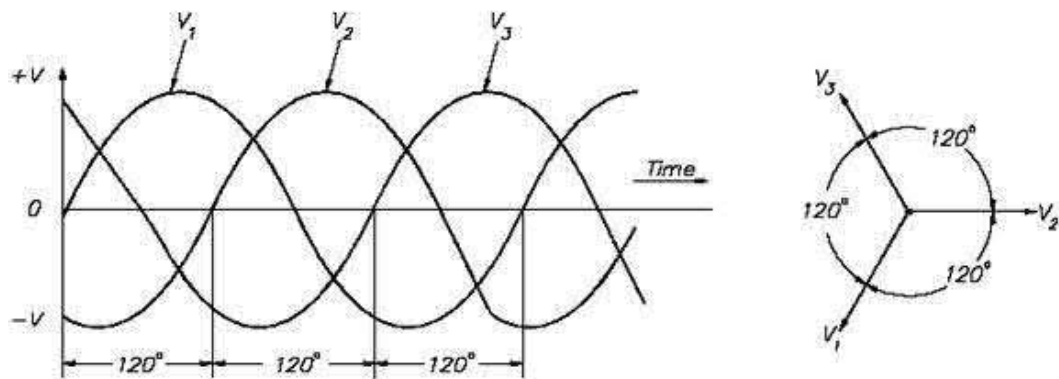
kemudian ditransmisikan dengan tegangan sebesar 11KV sampai 24KV. Selanjutnya di gardu induk tegangan dinaikkan menggunakan *trafo step up* menjadi 70KV – 500KV. Tujuannya untuk memperkecil terjadinya rugi daya listrik yang diakibatkan faktor jarak tempuh selama proses transmisi. Sebelum didistribusikan ke konsumen tegangan akan diturunkan menggunakan *trafo step down* menjadi tegangan 380/220V. Daya yang digunakan untuk tegangan rendah seperti konsumen rumah tangga adalah daya listrik satu fasa. Sedangkan daya listrik tiga fasa digunakan oleh konsumen di kawasan industri. Skema sistem tenaga listrik tiga fasa ditunjukkan pada gambar 2.9.



Gambar 2.9. Skema sistem tenaga listrik

### 1. Sistem Listrik 3 Fasa

Secara umum tegangan pada sistem 3 fasa lebih besar dari sistem 1 fasa yaitu sebesar  $\sqrt{3}$  lebih besar. Tegangan 3 fasa adalah 380V nilai ini didapatkan dari hasil kali tegangan 1 fasa 220V dengan  $\sqrt{3}$ . Sistem listrik 3 fasa merupakan rangkaian listrik yang memiliki beda sebesar  $120^\circ$  pada tiap fasanya dan tiga keluaran yang simetris. Untuk tegangan seimbang setiap 1 fasa memiliki magnitude dan frekuensi yang sama besar. Perbedaan sudut fasa dan diagram fasor ditunjukkan pada gambar 2.10.

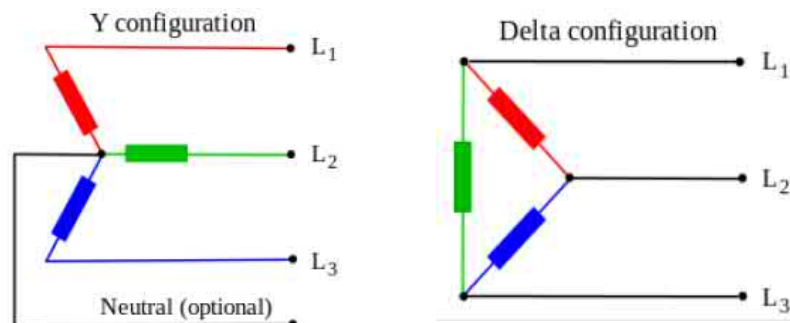


Gambar 2.10. Bentuk gelombang dan diagram fasor tegangan tiga fasa

Dari gambar 2.10. menunjukkan setiap fasa memiliki perbedaan sudut dengan hubungan tegangan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 V_1 &= V_m \angle 0^\circ \\
 V_2 &= V_m \angle -120^\circ \\
 V_3 &= V_m \angle 120^\circ
 \end{aligned}
 \tag{2.51}$$

Terdapat dua jenis hubungan pada rangkaian tiga fasa yaitu hubung bintang dan hubung delta. Untuk hubung bintang rangkaiannya memakai 3 kawat untuk transmisi. Sedangkan hubung delta menggunakan 4 kawat, kabel keempat digunakan untuk menyediakan netral dan biasanya ditanahkan. Hal ini ditunjukkan pada gambar 2.14.



Gambar 2.11. Hubung bintang dan hubung delta

a. Hubung Bintang atau *Star* (Y)

Tegangan yang terlihat pada beban tergantung pada jenis hubung beban, pada hubung bintang yang menghubungkan setiap beban ke tegangan fasa (*line to neutral*) maka:

$$\begin{aligned}
 I_1 &= \frac{V \angle 0^\circ}{Z_{total} \angle \theta} = I_m \angle -\theta \\
 I_2 &= \frac{V \angle -120^\circ}{Z_{total} \angle \theta} = I_m \angle -120^\circ - \theta \\
 I_3 &= \frac{V \angle 120^\circ}{Z_{total} \angle \theta} = I_m \angle 120^\circ - \theta
 \end{aligned} \tag{2.52}$$

Dimana  $Z_{total}$  adalah jumlah dari impedansi fasa dan beban:

$$Z_{total} = Z_{LN} + Z_Y, \theta \text{ merupakan fasa dari impedansi total } (Z_{total}).$$

Perbedaan sudut fasa antara tegangan dan arus pada setiap fasa tidak selalu bernilai 0 dan tergantung pada tipe impedansi beban,  $Z_Y$ . Beban induktif dan kapasitif akan menyebabkan arus tertinggal atau mendahului tegangan. Oleh karena itu, sudut fasa relatif antara setiap sambungan (1-2, 2-3, dan 3-1) tetap  $-120^\circ$ .

$$I_1 + I_2 + I_3 = I_N = 0 \tag{2.53}$$

Persamaan (2.61) menunjukkan bahwa arus netral bernilai nol karena beban yang diaplikasikan dalam tegangan tiga fasa seimbang. Jika pembebanan tidak seimbang maka akan muncul arus netral.

b. Hubung Delta ( $\Delta$ )

Pada hubung delta beban saling dihubungkan dan membentuk segitiga.

$$\begin{aligned}
 V_{12} &= V_1 - V_2 = (V_{LN} \angle 0^\circ) - (V_{LN} \angle -120^\circ) = \sqrt{3} V_{LN} \angle 30^\circ \\
 V_{12} &= \sqrt{3} V_1 \angle (\phi V_1 + 30^\circ)
 \end{aligned} \tag{2.54}$$



$$V_{23} = V_2 - V_3 = (V_{LN} \angle -120^\circ) - (V_{LN} \angle 120^\circ) = \sqrt{3}V_{LN} \angle -90^\circ$$

$$V_{23} = \sqrt{3}V_2 \angle (\phi V_2 + 30^\circ) \quad (2.55)$$

$$V_{31} = V_3 - V_1 = (V_{LN} \angle 120^\circ) - (V_{LN} \angle 0^\circ) = \sqrt{3}V_{LN} \angle 150^\circ$$

$$V_{31} = \sqrt{3}V_3 \angle (\phi V_3 + 30^\circ) \quad (2.56)$$

Nilai arusnya adalah

$$I_{12} = \frac{V_{12}}{|Z\Delta|} = \angle (30^\circ - \theta)$$

$$I_{23} = \frac{V_{23}}{|Z\Delta|} = \angle (-90^\circ - \theta) \quad (2.57)$$

$$I_{31} = \frac{V_{31}}{|Z\Delta|} = \angle (150^\circ - \theta)$$

Sudut relatif ditetapkan, sehingga  $I_{31}$  tertinggal  $I_{23}$  tertinggal  $I_{12}$  sebesar

$120^\circ$ . Perhitungan arus pada setiap titik delta adalah:

$$I_1 = \sqrt{3}I_{12} \angle (\phi I_{12} - 30^\circ) = \sqrt{3}I_{12} \angle (-\theta)$$

$$I_2 = \sqrt{3}I_{23} \angle (\phi I_{23} - 30^\circ) = \sqrt{3}I_{23} \angle (-120^\circ - \theta) \quad (2.58)$$

$$I_3 = \sqrt{3}I_{31} \angle (\phi I_{31} - 30^\circ) = \sqrt{3}I_{31} \angle (120^\circ - \theta)$$

Keterangan:

$V_{LN}$  : tegangan *line to neutral*

$I_{LN}$  : arus *line to neutral*

$Z\Delta$  : impedansi hubungan delta

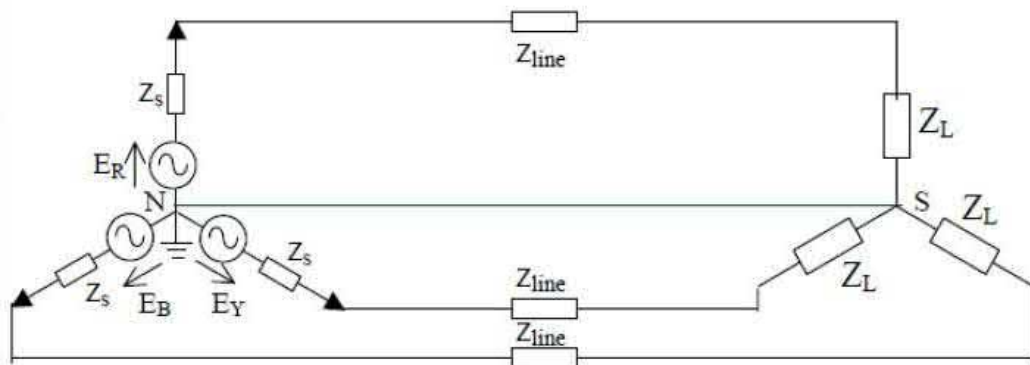
$\phi_{Vn}$  : pergeseran sudut tegangan fasa

$\theta$  : sudut impedansi delta

c. Aplikasi Rangkaian Sumber dengan Beban

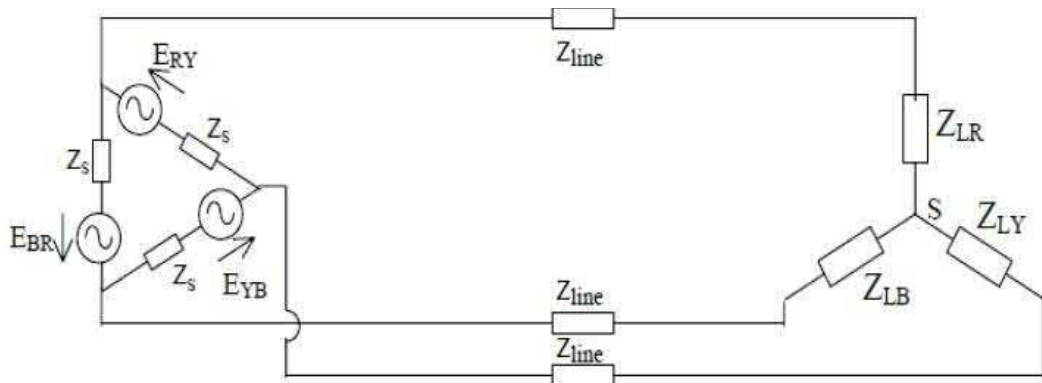
Sambungan dalam suatu rangkaian sistem 3 fasa dapat disusun berdasarkan kebutuhan. Bentuk rangkaian untuk sistem 3 fasa antara lain :

- Rangkaian Sumber Hubung Bintang dan Beban Hubung Bintang



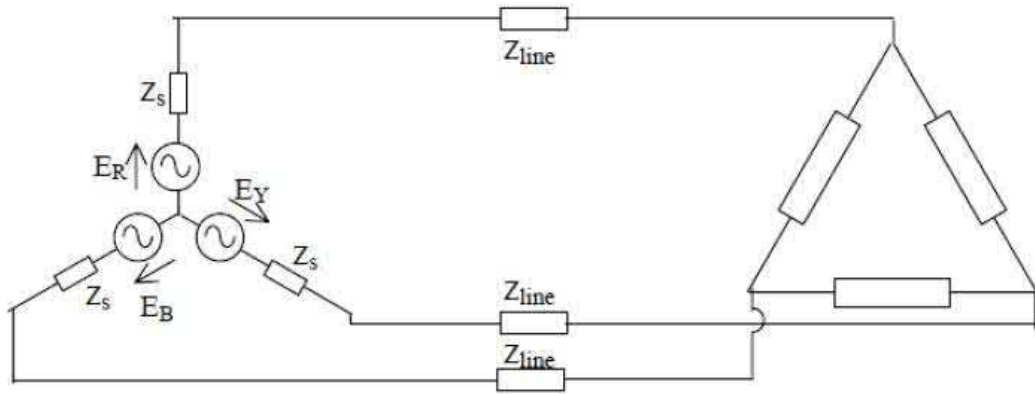
Gambar 2.12. Rangkaian Sumber Hubung Bintang dan Beban Hubung Bintang

- Rangkaian Sumber Hubung Delta dan Beban Hubung Bintang



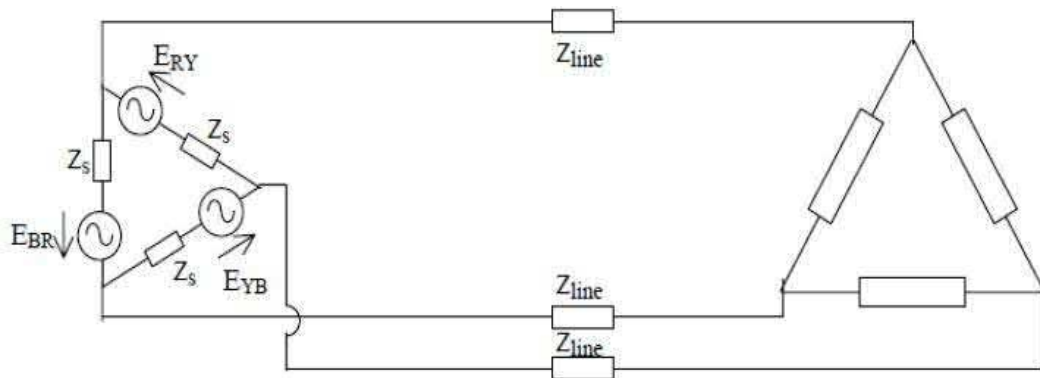
Gambar 2.13. Rangkaian Sumber Hubung Delta dan Beban Hubung Bintang

- Rangkaian Sumber Hubung Bintang dan Beban Hubung Delta



Gambar 2.14. Rangkaian Sumber Hubung Bintang dan Beban Hubung Delta

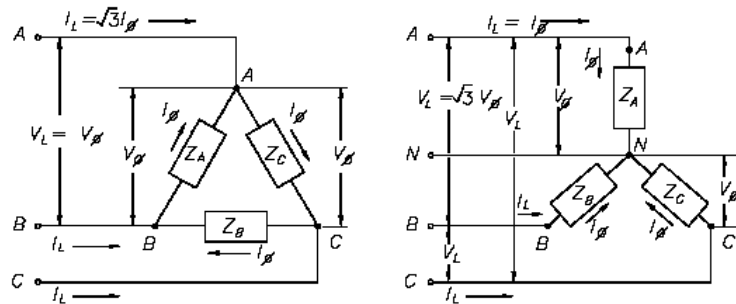
- Rangkaian Sumber Hubung Delta dan Beban Hubung Delta



Gambar 2.15. Rangkaian Sumber Hubung Delta dan Beban Hubung Delta

#### d. Daya pada Rangkaian 3 Fasa

Untuk mengetahui jumlah daya yang diserap oleh beban 3 fasa atau daya yang di berikan suatu generator ke beban yaitu dengan menjumlahkan daya tiap fasa. Daya total akan sama dengan tiga kali daya fase jika sistemnya seimbang, karena daya setiap fase sama besar.



Gambar 2.16. Hubungan Bintang dan Delta yang Seimbang

Jika  $\theta$  adalah sudut antara tegangan dan arus, maka daya per fasanya yaitu:

$$P_f = V_f I_f \cos \theta \quad (2.59)$$

Maka daya totalnya dapat dinyatakan dengan

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 = 3 V_f I_f \cos \theta \quad (2.60)$$

Hubungan bintang, besar tegangan saluran yaitu  $\sqrt{3} V_f$  maka besar tegangan per fasanya menjadi  $\frac{V_L}{\sqrt{3}}$ , dengan arus saluran sama dengan arus fasa

$I_L = I_f$ . Maka daya total untuk hubung bintang yaitu:

$$P_T = 3 \frac{V_L}{\sqrt{3}} I_L \cos \theta \quad (2.61)$$

Hubungan delta, karena tegangannya  $V_L = V_f$ , dengan arusnya  $I_{line} = \sqrt{3} I_f$ . Jadi arus fasanya  $\frac{I_L}{\sqrt{3}}$  maka daya totalnya yaitu:

$$P_T = 3 \frac{I_L}{\sqrt{3}} V_L \cos \theta \quad (2.62)$$

Keterangan:

$P_f$  : daya fasa

$P_T$  : daya total

$V_L$  : tegangan line

- $V_f$  : tegangan fasa  
 $I_L$  : arus *line*  
 $I_f$  : arus fasa  
 $\theta$  : sudut antara arus dan tegangan

e. Faktor Daya

Faktor daya adalah nilai cosinus dari sudut yang tertinggal (*lag*) atau mendahului (*lead*). Faktor daya juga dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara daya aktif dan daya semu. Jika dilihat gambar 2.10. maka faktor daya dapat dituliskan.

$$\cos \theta = \frac{R}{Z} \quad (2.63)$$

Faktor daya dibedakan menjadi 3 jenis berdasarkan jenis beban yang digunakan dalam suatu rangkaian.

- Faktor Daya *Unity*

Faktor daya *unity* adalah nilai cosinus dari perbandingan arus dan tegangan yang sefasa. Faktor daya ini terdapat pada rangkaian yang menggunakan resistor murni, dimana tidak ada daya reaktif yang timbul. Sehingga jumlah daya aktif yang terpakai sama dengan daya semu.



Gambar 2.17. Arus dan tegangan sefasa

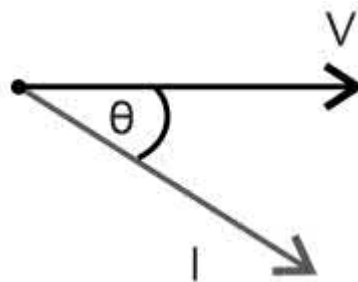
- Faktor Daya Terbelakang (*Lagging*)

Faktor daya terbelakang terjadi ketika terjadi kondisi sebagai berikut

1. Beban bersifat induktif sehingga memerlukan daya reaktif
2. Terbentuknya sudut antara arus yang tertinggal oleh tegangan.

Kondisi tersebut disebabkan karena beban menerima atau membutuhkan daya reaktif dalam sistemnya. Gambar 2.20. menunjukkan arus tertinggal dari tegangan maka daya reaktif mendahului daya semu.

$$\sin \theta = \frac{\text{Daya Reaktif}}{\text{Daya Semu}} \quad (2.64)$$



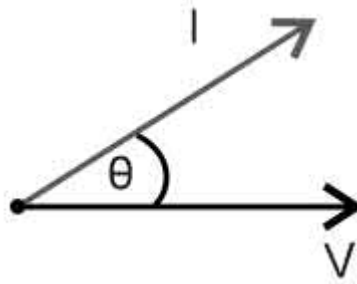
Gambar 2.18. Arus tertinggal oleh tegangan

- Faktor Daya Terdahului (*Leading*)

Faktor daya mendahului terjadi ketika terjadi kondisi sebagai berikut

1. Beban bersifat kapasitif sehingga menyerap daya aktif dan mengeluarkan daya reaktif
2. Terbentuknya sudut antara arus yang didahului oleh tegangan.

$$\cos \theta = \frac{\text{Daya Aktif}}{\text{Daya Semu}} \quad (2.65)$$



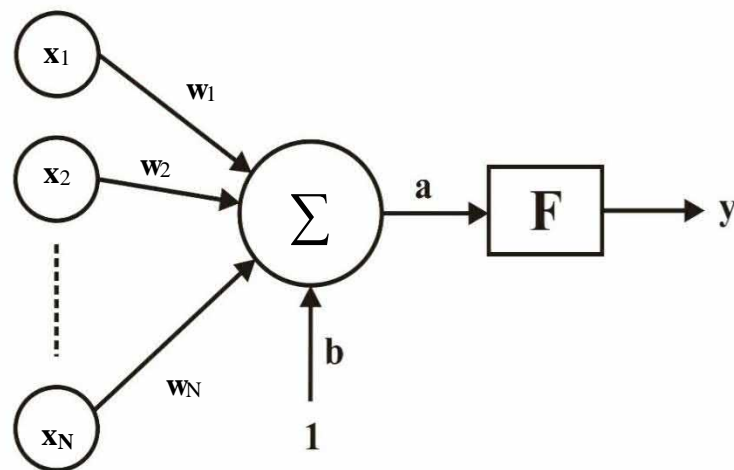
Gambar 2.19. Arus mendahului tegangan

### 2.3. Jaringan Syaraf Tiruan (*Neural Network*)

Jaringan syaraf tiruan atau yang biasa disebut dengan *Artificial Neural Network* (ANN) adalah suatu sistem pemrosesan informasi yang menjadikan jaringan syaraf sebagai ide dasar penyusunan metode ini adalah presepsi otak manusia berbeda dengan komputer digital konvensional. Simon Haykin (2009:1) menyatakan bahwa, “*The brain is a highly complex, nonlinier, and parallel computer (information-processing system). It has a capability to organize its structural constituents, known as neurons, so as to perform certain computations (e.g., pattern recognition, perception, and motor control) many times faster than the fastest digital computer in exercise today*”. Istilah tiruan atau buatan maksudnya jaringan ini diimplementasikan menggunakan program komputer untuk membuat sistem komputasi yang dapat menirukan cara kerja syaraf biologis untuk menyelesaikan sejumlah proses perhitungan selama proses pembelajaran.

Analogi sistem kerja jaringan syaraf ini sama seperti halnya otak manusia. Jaringan syaraf juga terdiri dari beberapa *neuron*, dan ada hubungan antara *neuron* tersebut. *Neuron – neuron* tersebut akan mentransformasikan informasi yang diterima melalui sambungan keluarannya menuju kesambungan yang lain. Informasi

(disebut dengan *input*). Akan dikirim ke *neuron* dengan bobot kedatangan tertentu. *Input* ini akan diproses oleh suatu fungsi perambatan tertentu dengan menjumlahkan semua nilai bobot lalu hasilnya akan dibandingkan dengan suatu nilai ambang (*threshold*) tertentu melalui fungsi aktivasi setiap *neuron*. Jika *input* tidak melewati nilai ambang maka *neuron* tidak diaktifkan, namun jika melewati *neuron* diaktifkan dan mengirimkan *output* melalui bobot keluarannya ke semua *neuron* yang berhubungan dengannya (Kusumadewi, 2004 : 50).



Gambar 2.20. Fungsi Aktivasi pada Jaringan Syaraf Sederhana.  
(Sumber : Kusumadewi, 2004 : 50)

Pada gambar tersebut sebuah *neuron* akan mengolah  $N$  *input* ( $x_1, x_2, \dots, x_N$ ) yang masing – masing memiliki bobot  $w_1, w_2, \dots, w_N$  dan bobot bias  $b$ , dengan rumus :

$$a = \sum_{i=1}^N x_i w_i \quad (2.66)$$

Kemudian fungsi aktifavi  $F$  akan mengaktifasi  $a$  menjadi *output* jaringan  $y$ .



Sebagai metode pemecahan masalah, jaringan syaraf tiruan atau *neural network* memiliki kelebihan dan kelemahan.

#### 1. Kelebihan Jaringan Syaraf Tiruan

- a. *Adaptive learning*, dapat melakukan mengolah data yang diberikan seperti saat pembelajaran atau pelatihan sebelumnya.
- b. *Self-Organisation*, dapat membuat organisasi sendiri atau merepresentasikan informasi yang didapat pada saat pembelajaran.
- c. *Real Time Operation*, dapat menghasilkan perhitungan paralel dan dengan *device hardware* yang khusus dibuat akan memberikan keuntungan dengan adanya kemampuan tersebut.
- d. *Fault Tolerance* melalui *Redundant Information Coding*. Kerusakan pada bagian tertentu dari jaringan akan mengakibatkan penurunan kemampuan. Beberapa jaringan mempunyai kemampuan untuk menahan kerusakan besar pada jaringan.
- e. Kemampuan belajar jaringan syaraf tiruan dapat menyelesaikan masalah rumit dan atau masalah dengan kaidah atau fungsi yang tidak diketahui.

#### 2. Kelemahan Jaringan Syaraf Tiruan

- a. Kurang sesuai jika digunakan untuk aritmatika dan pengolahan data.
- b. Masih membutuhkan campur tangan pengguna untuk memajukan pengetahuan dan menguji data.
- c. Belum ditemukan metode paling efektif dalam mempresentasikan data input dan memilih arsitektur yang sesuai.

### 2.3.1. Algoritma *Backpropagation*

Menurut Sri Kusumadewi (2004: 93) *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. Pada saat perambatan maju, *neuron – neuron* diaktifkan dengan menggunakan fungsi aktivasi yang dapat didiferensiasikan.

#### 1. Fungsi Aktivasi

Keadaan internal memiliki level aktivasi yaitu fungsi *input* yang diterima. *Neuron* mengirimkan aktivasinya secara tipikal ke beberapa *neuron* lain yang berguna sebagai sinyal. Hal yang perlu diperhatikan yaitu sifat *neuron* yang hanya dapat mengirimkan satu sinyal sesaat, walaupun sebenarnya sinyal tersebut dapat dipancarkan ke beberapa *neuron* lain. Karakter yang harus dimiliki fungsi aktivasi adalah kontinu, diferensiabel, dan tidak menurun secara monoton. Fungsi aktivasi diharapkan dapat mendekati nilai maksimum dan minimum. Ada beberapa pilihan fungsi aktivasi yang di gunakan dalam algoritma *backpropagation*, seperti fungsi *sigmoid* :

$$y = f(x) = \frac{1}{1 + e^{-\sigma x}} \quad (2.67)$$

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

atau *tansig* :

$$y = f(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}} \quad (2.68)$$

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

$$\text{dengan : } y = f'(x) = [1 + f(x)][1 - f(x)]$$

atau *purelin* :

$$y = f(x) = x \quad (2.69)$$

$$\text{dengan : } f'(x) = 1$$

## 2. Arsitektur *Backpropagation*

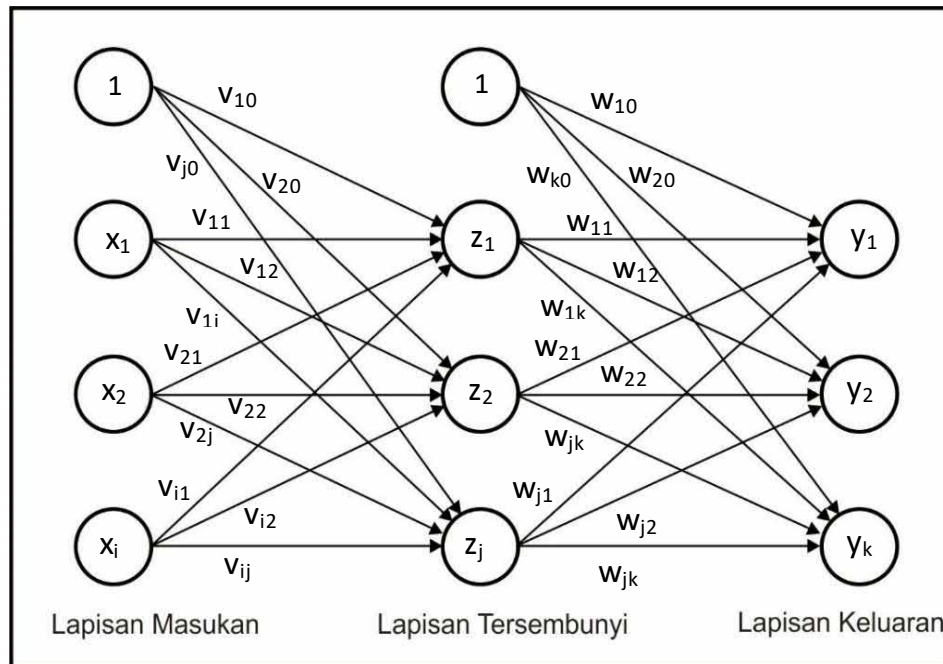
*Backpropagation* atau propagasi umpan balik berbasis jaringan syaraf tiruan memiliki beberapa unit yang ada dalam satu atau lebih *layer* tersembunyi. Gambar arsitektur propagasi umpan balik memiliki basis jaringan syaraf tiruan dengan  $n$  buah masukan (ditambahkan sebuah bias), sebuah *layer* tersembunyi yang terdiri dari  $p$  unit (ditambah sebuah bias), serta  $m$  buah unit keluaran (Prasetyo, 2011:298).

Menurut Siang (2009 : 27), bias dapat dipandang sebagai sebuah input yang nilainya = 1. Bias berfungsi untuk mengubah nilai *threshold* (ambang) pada fungsi menjadi = 0. Contoh, jika suatu network ( $x$ ) melibatkan bias, maka keluaran unit penjumlahan adalah

$$\text{Network} = b + \sum x_i w_i$$

Fungsi aktivasi *threshold* menjadi

$$f(x) = \begin{cases} 1 & \text{jika network} \geq 0 \\ -1 & \text{jika network} < 0 \end{cases}$$



Gambar 2.21. Arsitektur Propagasi Umpan Balik  
(Sumber : Eko Prasetyo, 2011 : 297)

$v_{ji}$  merupakan bobot garis dari unit masukan  $x_i$  ke unit *layer* tersembunyi  $z_j$  ( $v_0$  merupakan bobot garis yang menghubungkan bias di unit masukan ke unit *layer* tersembunyi  $z_j$ ).  $w_{jk}$  merupakan bobot dari unit *layer* tersembunyi  $z_j$  ke unit keluaran  $y_k$  ( $w_{k0}$  merupakan bobot bias di *layer* tersembunyi ke unit keluaran  $z_j$ ) (Prasetyo, 2011:298).

### 3. Pelatihan Algoritma *Backpropagation*

- Inisialisasi bobot (ambil bobot awal dengan nilai acak yang cukup kecil).
- Tetapkan : Maksimum *Epoch*, Target Error, dan *Learning Rate*.
- Inisialisasi : *Epoch* = 0
- Kerjakan langkah – langkah berikut jika *Epoch* < *Max Epoch* dan  $MSE >$  Target Error:

1. *Epoch* (p) = *Epoch* (p) + 1

2. Untuk tiap pasangan elemen yang akan dilakukan pembelajaran , kerjakan:

*Feedforward:*

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

$$z_{in_j}(p) = b1_j + \sum_{i=1}^r x_i(p) v_{ij}(p) \quad (2.70)$$

gunakan fungsi aktivasi untuk menghitung sinyal *outputnya* :

$$z_j(p) = f\left(z_{in_j}(p)\right) = \frac{1}{1+e^{-(z_{in_j}(p))}} \quad (2.71)$$

sinyal tersebut dikirim ke semua unit di lapisan atasnya (unit – unit *output*). Langkah ini dilakukan sebanyak jumlah neuron.

- c. Untuk menghitung sinyal keluaran menuju ke  $Y_k$ , tiap – tiap unit *output* ( $Y_k$ ,  $k=1,2,3,\dots,m$ ) menjumlahkan sinyal – sinyal input berbobot.

$$y_{in_k}(p) = b2_k + \sum_{i=1}^m z_i(p) w_{jk}(p) \quad (2.72)$$

gunakan fungsi aktivasi untuk menghitung sinyal *outputnya*:

$$y_k(p) = f\left(y_{in_k}(p)\right) = \frac{1}{1+e^{-(y_{in_k}(p))}} \quad (2.73)$$

sinyal tersebut dikirim ke semua unit lapisan di atasnya (unit – unit *output*).

*Backpropagation:*

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

$$e_k(p) = y_{tk}(p) - y_k(p) \quad (2.74)$$

$$\delta_k(p) = f'(y_{in_k}) e_k(p)$$

$$\delta_k(p) = y_k(p)[1 - y_k(p)]e_k(p) \quad (2.75)$$

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

$$\Delta w_{jk}(p) = \eta z_j(p) \delta_k(p) \quad (2.76)$$

hitung juga koreksi bias (yang nantinya akan digunakan untuk memperbaiki nilai  $b_{2k}$ ):

$$\Delta b_{2k}(p) = \eta \delta_k(p) \quad (2.77)$$

Langkah ini dilakukan sebanyak jumlah lapisan tersembunyi, yaitu menghitung informasi eror dari suatu lapisan tersembunyi ke lapisan tersembunyi sebelumnya.

- e. Tiap – tiap unit tersembunyi ( $Z_j$ ,  $i=1,2,3,\dots,r$ ) menjumlahkan delta *inputan*  $X_i$  dari unit – unit yang berada dilapisan *output* ( $Y_k$ ):

$$\delta_{in_j}(p) = \sum_{k=1}^n \delta_k(p) w_{jk}(p) \quad (2.78)$$

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

$$\delta_j(p) = f'(z_{in_j}(p)) \delta_{in_j}(p)$$

$$\delta_j(p) = z_j(p) [1 - z_j(p)] \sum_{k=1}^n \delta_k(p) w_{jk}(p) \quad (2.79)$$

Kemudian hitung koreksi bobot (yang nantinya akan digunakan untuk memperbaiki nilai  $v_{ij}$ ):

$$\Delta v_{ij}(p) = \eta x_i(p) \delta_j(p) \quad (2.80)$$

hitung juga koreksi bias (yang nantinya akan digunakan untuk memperbaiki nilai  $b_{1j}$ ):

$$\Delta b_{1j}(p) = \eta \delta_j(p) \quad (2.81)$$

- f. Perbaiki untuk bobot  $w_{jk}$  ( $j=1,2,3,\dots,p$ ) dan bias lapisan keluaran  $b_{2k}$  pada tiap – tiap unit *output* ( $Y_k$ ,  $k=1,2,3,\dots,m$ )

$$w_{jk}(p+1) = w_{jk}(p) + \Delta w_{jk}(p) \quad (2.82)$$

$$b_{2k}(p+1) = b_{2k}(p) + \Delta b_{2k}(p) \quad (2.83)$$

Perbaiki untuk bobot  $w_{ij}$  ( $i=0,1,2,\dots,n$ ) dan bias lapisan tersembunyi  $b_{1j}$  pada tiap – tiap unit tersembunyi ( $Z_j$ ,  $j=1,2,3,\dots,p$ )

$$v_{ij}(p+1) = v_{ij}(p) + \Delta v_{ij}(p) \quad (2.84)$$

$$b_{1j}(p+1) = b_{1j}(p) + \Delta b_{1j}(p) \quad (2.85)$$

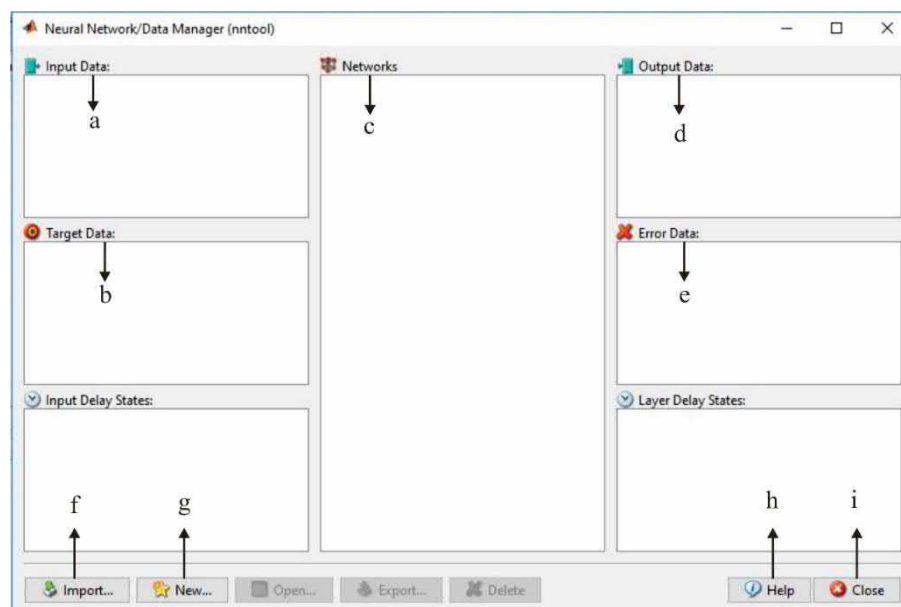
### 3. Hitung MSE

## 2.4. MATLAB R2016B

MATLAB merupakan singkatan dari *Matirix Laboratory*, merupakan bahasa pemrograman yang dikembangkan oleh *The Mathwork Inc.* yang hadir dengan fungsi dan karakteristik yang berbeda dengan bahasa pemrograman lain yang sudah ada lebih dulu seperti *Basic*, *Delphy* dan *C++*. Awalnya matlab dibuat untuk memberi kemudahan akses data matrik pada proyek *LINPACK* dan *EISPACK*. Selanjutnya menjadi sebuah aplikasi untuk aplikasi matrik. Menurut Trija dan Tatik

(2016 : 39). Matlab awalnya hanya digunakan untuk keperluan analisis numerik, aljabar linier, dan matriks. Akan tetapi, saat ini kemampuan dan fitur yang dimiliki oleh Matlab sudah jauh lebih lengkap dengan ditambahkan beragam *toolbox*. Beberapa manfaat yang didapatkan dari Matlab antara lain sebagai perhitungan matematika, komputasi numerik, simulasi dan pemodelan, visualisasi dan analisis data, pembuatan grafik untuk keperluan sains dan teknik, dan pengembangan aplikasi berbasis *General user Interface*

Dalam penelitian ini *toolbox* yang digunakan adalah *toolbox Neural Network*. Salah satu fungsi dari *toolbox neural network* adalah melakukan prediksi. Cara untuk mengaktifkan *toolbox neural network* bisa secara langsung dengan mengetik *nntool* pada *command window*. Cara lain untuk mengaktifkan yaitu dengan klik Start → pilih *toolbox neural network* → kemudian akan muncul *window* seperti gambar 2.19.



Gambar 2.22. *Toolbox Neural Network*  
(Sumber : Mathwork)



Keterangan :

- a. *Input data*, berisi data *input* yang akan digunakan untuk pelatihan atau pengujian jaringan.
- b. *Target data*, berisi data target yang akan digunakan untuk pelatihan atau pengujian jaringan.
- c. *Network*, berisi jaringan yang akan dilakukan proses prediksi.
- d. *Output data*, berisi data keluaran dari proses pelatihan dan pengujian untuk hasil prediksi
- e. *Error data*, berisi tingkat kesalahan pada saat melakukan proses pelatihan.
- f. *Import*, berfungsi untuk memanggil data yang akan dijadikan data *input* dan target.
- g. *New*, berfungsi sebagai pembuat jaringan pembelajaran dan prediksi baru.
- h. *Help*, berfungsi sebagai pemanggil bantuan petunjuk jika menemui kesulitan saat melakukan prediksi.
- i. *Close*, berfungsi untuk menutup *toolbox*.

## 2.5. Karakteristik Kota Semarang

Kota Semarang adalah ibukota dari provinsi Jawa Tengah, yang menjadi kota metropolitan terbesar kelima di Indonesia. Kota Semarang dengan luas wilayah 373,70 Km<sup>2</sup> menjadi salah satu kota yang paling berkembang di Pulau Jawa. Tercatat di Kota Semarang jumlah perusahaan industri mencapai 90 perusahaan, ditambah dengan bangunan gedung pencakar langit seperti kantor, hotel membuat

Kota Semarang menjadi kota yang aktif dan berkembang pesat. Hal ini tentunya mempengaruhi karakteristik beban listrik Kota Semarang.

Kantor pusat dari wilayah Kota Semarang bertempat di kantor PT PLN (PERSERO) Area Pelayanan dan Jaringan (APJ) Semarang yang beralamat di Jalan Pemuda No. 93 Semarang. PT PLN APJ Semarang merupakan unit PLN yang memiliki luas wilayah sebesar 4249 km<sup>2</sup>. PT PLN APJ Semarang terdiri dari 10 rayon, yaitu rayon Weleri, rayon Kendal, rayon Boja, rayon Semarang Barat, rayon Semarang Timur, rayon Semarang Tengah, rayon Semarang Selatan, rayon Demak, rayon Tegowanu dan rayon Purwodadi. Keseluruhan rayon terdapat 108 penyulang dengan jaringan Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM).

Secara garis besar, konsumen ini dapat di kelompokkan menjadi beberapa sektor berdasarkan tarif, antara lain :

#### 1. Sektor Rumah Tangga

Beban sektor rumah tangga biasanya menggunakan alat elektronik. Jumlah pelanggan rumah tangga di Kota Semarang mencapai 691297 pelanggan pada bulan Desember 2016, meliputi tarif 450VA – 220983 pelanggan, tarif 900VA – 292.351 pelanggan, tarif 1300VA – 111450 pelanggan, tarif 2200VA – 45190 pelanggan, tarif 3500VA s/d 5500VA – 18200 pelanggan, dan tarif 6600VA keatas – 3123 pelanggan.

#### 2. Sektor Industri

Beban industri dibedakan berdasarkan skalanya. Untuk skala kecil biasanya beroperasi di siang hari saja seperti konveksi, industri rumah tangga. Sedangkan industri dengan skala besar beroperasi sampai 24 jam seperti

pabrik. Jumlah pelanggan industri di Kota Semarang meliputi untuk tarif 900VA – 3 pelanggan, tarif 1300VA – 9 pelanggan, tarif 2200VA – 23 pelanggan, tarif 3500VA s/d 14KVA – 123 pelanggan, tarif 14KVA s/d 200KVA – 716 pelanggan, tarif 200KVA keatas – 364 pelanggan.

### 3. Sektor Komersial

Peralatan listrik yang digunakan untuk keperluan bisnis termasuk dalam komersil. Contohnya penerangan untuk papan reklame, penyejuk udara, penerangan gedung dan alat – alat listrik lain yang diperlukan oleh restoran, perkantoran, hotel dan sebagainya. Jumlah pelanggan komersial di Kota Semarang meliputi untuk taris 450VA – 4687 pelanggan, tarif 900VA – 13409 pelanggan, tarif 1300VA – 16019 pelanggan, tarif 2200VA s/d 5500VA – 23425 pelanggan, tarif 6600VA s/d 200KVA – 11024 pelanggan, tarif 200KVA keatas – 185 pelanggan, dan tarif infiniti – 4644 pelanggan.

### 4. Sektor Sosial

Beban yang digunakan untuk memenuhi fasilitas sosial yang dimanfaatkan masyarakat. Contoh dari fasilitas sosial adalah puskesmas, klinik, sekolah, tempat ibadah, pasar, dan lain – lain. Jumlah pelanggan sosial di Kota Semarang meliputi untuk tarif 220VA – 0 pelanggan, tarif 450VA – 4864 pelanggan, tarif 900VA – 5218 pelanggan, tarif 1300VA – 2474 pelanggan, tarif 2200VA – 1842 pelanggan, tarif 3500VA s/d 200KVA – 3418 pelanggan, dan tarif 200KVA keatas – 64 pelanggan.

## 2.6. Kerangka Berpikir

Prediksi menjadi agenda yang wajib dilakukan untuk menyusun suatu perencanaan di masa mendatang. Begitu juga dalam menyusun perencanaan penyediaan kebutuhan beban listrik di masa depan. Persiapan penyediaan kebutuhan beban listrik bukan hal yang mudah karena adanya faktor dana dan waktu. Ketika ada peningkatan permintaan energi listrik langkah yang diambil oleh produsen listrik untuk memenuhi permintaan konsumen adalah mengadakan pembangunan unit pembangkit dan saluran transmisi baru. Sedangkan proses pembangunan tersebut memakan waktu cukup lama terkait pengumpulan dana, perijinan dan durasi pembangunan itu sendiri. Sehingga prediksi jangka panjang dalam bidang kelistrikan lebih ditekankan.

Hal yang dibutuhkan dalam memprediksi adalah data di masa lampau. Data ini digunakan sebagai acuan untuk melakukan prediksi, dalam hal ini data yang dibutuhkan adalah data jumlah total konsumsi energi listrik. Pengambilan data dikhususkan untuk di area Semarang, dalam satuan MWh dengan interval perbulan selama kurun waktu 2012 – 2016. Data – data tersebut akan digunakan untuk memprediksi kebutuhan energi listrik Kota Semarang tahun 2019 – 2024.

## BAB V

### SIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Simpulan

Berdasarkan analisis dari hasil penelitian dan pembahasan maka dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Model jaringan terbaik untuk prediksi dengan metode Jaringan Syaraf Tiruan Backpropagation adalah model TRAINGDX20 yang tersusun dari fungsi pelatihan TRAINGDX jumlah neuron pada lapisan tersembunyi 20 neuron. Parameter yang digunakan yaitu *learning rate* 0,01; gradien 1.00e-5; momentum 0,9; *epoch* 10000; *max fail* 10000; *lr\_inc* 1,05; *lr\_dec* 0,7; dan *max\_perf\_inc* 1,04. Menghasilkan nilai kesalahan pada tahap pengujian yaitu 3,45%.
2. Prediksi kebutuhan energi listrik dengan model TRAINGDX20 menunjukkan bahwa pada tahun 2019 – 2024, Kota Semarang akan mengkonsumsi energi listrik sebesar 5426386 MWh pada tahun 2019, tahun 2020 sebesar 5521471 MWh, tahun 2021 sebesar 5641935 MWh, tahun 2022 sebesar 5740998 MWh, tahun 2023 sebesar 5857238 MWh, dan tahun 2024 sebesar 6018739 MWh. Hasil prediksinya sangat mendekati data acuan RUKN Kota Semarang dengan selisih 0,03%. Rata – rata kenaikan kebutuhan energi listrik sebesar 0,27%, cukup besar karena ruang lingkungnya wilayah perkotaan. Namun nilai tersebut sepadan dengan pertumbuhan ekonomi dan penduduk Kota Semarang yang cukup pesat.

## 5.2. Saran

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, peneliti merekomendasikan beberapa saran sebagai berikut:

1. Kelemahan penelitian ini masih menggunakan toolbox, diharapkan penelitian selanjutnya menggunakan sistem yang lebih detail terkait perhitungan matematis yang berlangsung selama proses pembelajaran.
2. Lebih memperhatikan detail bobot dan bias yang digunakan saat sebelum program dieksekusi dan sesudah dieksekusi, sehingga dapat dilakukan analisis dari perubahan bobot dan bias tersebut.
3. Penelitian selanjutnya diharapkan cakupannya lebih spesifik seperti prediksi energi listrik untuk kawasan industri, perumahan, perkantoran, dan lain – lain.
4. Untuk prediksi energi listrik jangka panjang yang menggunakan beberapa variabel – variabel lain seperti jumlah penduduk, jumlah PDRB, harga minyak, rasio elektrifikasi hendaknya memperhatikan dalam penyusunan data – data tersebut agar membentuk matriks yang tepat dan bisa dibaca oleh sistem.

## DAFTAR PUSTAKA

- Antonov, dan A. Rahman. 2015. Prakiraan dan Analisa Kebutuhan Energi Listrik Provinsi Sumatera Barat Hingga Tahun 2024 dengan Metode Analisa Regresi Linier Berganda. *Jurnal Teknik Elektro ITP* 4(2): 34-43.
- Arifah, N., A. Murnomo, dan A. Suryanto. 2017. Implementasi Neural Network pada Matlab untuk Prakiraan Konsumsi Beban Listrik Kabupaten Ponorogo Jawa Timur. *Jurnal Teknik Elektro* 9(1): 7-12.
- Away, G. A. 2014. *The Shortcut Of MATLAB Programming*. Edisi Revisi. Bandung: INFORMATIKA
- Binoto, M., dan Y. Kristiawan. 2015. Peramalan Energi Listrik Yang Terjual dan Daya Listrik Tersambung Pada Sistem Ketenagalistrikan untuk Jangka Panjang Di Solo Menggunakan Model Artificial Neural Network. *Prosiding SNATIF*. Universitas Muria Kudus. Kudus: 235-242
- Bratawijaya, M. A., Hermawan dan S. Handoko. 2016. Analisis Perbandingan Metode Jaringan Saraf Tiruan Tanpa dan Dengan Fuzzy Clustering Pada Proyeksi Kebutuhan Energi Listrik Di Indonesia. *Jurnal TRAINSIENT* 5(1): 92-98.
- Chen, Y., dan P. B. Luh. 2010. Short-Term Load Forecasting : Similar Day-Based Wavelet Neural Networks. *IEEE Transaction on Power Systems* 25(1): 322-330
- Cisca, L. C dan M. Marappung. 1983. *Rangkaian Listrik*. Bandung : Armico
- Fan, S., dan L. Chen. 2006. Short-Term Load Forecasting Based on an Adaptive Hybrid Method. *IEEE Transaction on Power Systems* 21(1): 392-401.
- Handayani, I., Alimudin, dan Suhendar. 2012. Peramalan Beban Tenaga Listrik Jangka Pendek Menggunakan Metode Jaringan Syaraf Tiruan. *Jurnal SETRUM* 1(1): 35-40.
- Haykin, Simon. 2009. *Neural Network and Learning Machines*. 3rd ed. New Jersey : Pearson Educaton Ltd.
- Heizer, J., dan B. Render. 2009. *Manajemen Operasi*. Edisi Sembilan. Terjemahan C. Sungkono. Jakarta : Salemba Empat.

- Hou, Z., Y. V. Makarov, N. A. Samaan, dan P. V. Etingov. 2012. Standardized Software for wind Load Forecasting Error Analyses and Predictions Based on Wavelet-ARIMA Models-Applications at Multiple Geographically Distributed Wind Farms. *IEEE Computer Society*: 5005-5011.
- Huang, S. J., dan K. R. Shih. 2003. Short-Term Load Forecasting Via ARMA-Model Identification Including Non-Gaussian Process Considerations. *IEEE Transaction on Power Systems* 18(20): 673 – 679.
- Khair, Aulia. 2011. Peramalan Beban Listrik Jangka Pendek Menggunakan Kombinasi Metode Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA) dengan Regresi Linear Antara Suhu dan Daya Listrik. *Skripsi*. Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Depok
- Kristiana, A., Y. Wilandari, dan A. Prahutama. 2015. Peramalan Beban Puncak Pemakaian Listrik Di Area Semarang Dengan Metode Hybrid ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average) – ANFIS (Adaptive Neuro Fuzzy Inference System). *Jurnal Gaussian* 4(4): 715-723.
- Kuncoro, A. H., dan Dalimi R. 2005. Aplikasi Jaringan Syaraf Tiruan Untuk Peramalan Beban Tenaga Listrik Jangka Panjang pada Sistem Kelistrikan di Indonesia. *Jurnal Teknologi* 19(3) : 211-217.
- Kusumadewi, S. 2004. *Membangun Jaringan Syaraf Tiruan (Menggunakan MATLAB & Excel Link)*. Edisi Pertama. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Lee, K. Y., Y. T. Cha, dan J. H. Park. 1992. Short-Term Load Forecasting Using An Artificial Neural Network. *Jurnal Transactions On Power System* 7(1): 124-132.
- Li, L., K. Ota, dan M. Dong. 2017. Everything Is Image : CNN-based Short-term Electrical Load Forecasting for Smart Grid. *International Symposium on Pervasive System, Algorithms and Network*. Muroran Institute of Technology. Japan. 344-351.
- Makridakis, S., S. C. Wheelwright, dan V. E. McGee. 1983. *Forecasting : Methods and Applications*. Second Edition. John Wiley & Sons Inc. Hoboken. Terjemahan U. S. Adriyanto, dan A. Basin. 1991. *Metode dan Aplikasi Peramalan*. Edisi Kedua. Jakarta : Erlangga.
- Mardani, H., B. Siswoyo, dan R. Haviani. 2016. Pengembangan Perangkat Lunak Berbasis Jaringan Syaraf Tiruan Untuk Peramalan Beban Listrik Jangka Pendek. *Jurnal Sistem dan Informatika* 11(1): 165-172.



- Masarrang, M., E. Yudaningsy, dan A. Naba. 2015. Peramalan Beban Jangka Panjang Sistem Kelistrikan Kota Palu Menggunakan Metode Logika Fuzzy. *Jurnal EECCIS* 9(1): 13-18.
- Muhammad S., L. Hakim, dan D. Despa. 2014. Metode Regresi Linier untuk Prediksi Kebutuhan Energi Listrik Jangka Panjang. *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan* 2(2): 1-9.
- Murti, H., S. Indrihartati, Supranoto, Jaelani, Solikun, dan Murtiningsih. 2013. *Fisika 3A*. Tasikmalaya : Multi Grafika.
- Nurkholiq, N., T. Sukmadi, dan A. Nugroho. 2014. Analisis Perbandingan Metode Logika Fuzzy dengan Jaringan Syaraf Tiruan Backpropagation pada Peramalan Kebutuhan Energi Listrik Jangka Panjang di Indonesia Sampai Tahun 2022. *Jurnal TRANSIENT* 3(2) : 245-251
- Prasetyo, E. 2014. *DATA MINNING – Mengolah Data menjadi Informasi Menggunakan Matlab*. Edisi Pertama. Yogyakarta: ANDI.
- \_\_\_\_\_. 2011. *Pengolahan Citra Digital dan Aplikasinya menggunakan Matlab*. Edisi Pertama. Yogyakarta: ANDI.
- Pratama, R. A. 2016. Peramalan Beban Listrik Jangka Panjang Provinsi D.I Yogyakarta Menggunakan Neural Network Backpropagation. *Jurnal Teknik Elektro* 5(3): 0-47.
- Rahman, A., A. G. Abdullah, dan D. L. Hakim. 2012. Prakiraan Beban Puncak Jangka Panjang Pada Sistem Kelistrikan Indonesia Menggunakan Algoritma Apadtive Neuro-Fuzzy Inference System. *Jurnal ELECTRANS* 11(2): 18-26.
- Rahman, F. A. 2012. Peramalan Beban Listrik Jangka Pendek Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan. *Skripsi*. Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Depok
- Rui, Y., dan A. A. El-Keid. 1995. A Review of ANN-based Short-Term Load Forcasting Models. *Proceedings of the 27th Southeastern on System Theory*. University of Alabama. Tuscaloosa. 78-82.
- Setiabudi, D. 2015. Sistem Informasi Peramalan Beban Listrik Jangka Panjang di Kabupaten Jember Menggunakan JST Backpropagation. *Jurnal SMARTICS* 1(1): 1-5
- Siang, J. J. 2009. *Jaringan Syaraf Tiruan dan Pemroramannya Menggunakan MATLAB*. Edisi Kedua. Yogyakarta: ANDI.

- Soares, L. J., dan M. C. Medeiros. 2008. Modeling and Forecasting Short-Term Electricity Load: A Comparison of Methods with An Application to Brazilian Data. *International Journal of Forecasting* 24: 630-644.
- Sugiarto dan Harijono. 2000. *Peramalan Bisnis*. Edisi Pertama. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Sugiyono. 2012. *Metode Penelitian Pendidikan Pendekatan Kuantitatif Kualitatif dan R&D*. Bandung: Alfabeta.
- Suhono. 2010. Kajian Perencanaan Permintaan dan Penyediaan Energi Listrik di Wilayah Kabupaten Sleman Menggunakan Perangkat Lunak LEAP. *Skripsi*. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Taylor, J. W. 2012. Short-Term Load Forecasting with Exponentially Weighted Methods. *IEEE Transaction on Power Systems* 27: 458-464.
- Triwulan, Y. N. Hariyanto, S. Anwari. 2013. Peramalan Beban Puncak Listrik Jangka Pendek Menggunakan Metode Jaringan Syaraf Tiruan. *Jurnal Reka Elkomika* 1(4): 339-350.