

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beban Listrik

Beban listrik merupakan bagian dari suatu rangkaian listrik yang menggunakan tenaga listrik. Ini mencakup daya aktif dan/atau reaktif yang digunakan oleh peralatan, perangkat, atau sistem yang terhubung ke jaringan listrik. Pengukuran beban listrik dilakukan dalam watt (W) untuk daya aktif dan volt-ampere (VA) untuk daya reaktif. Dalam beban listrik yang seimbang, total daya yang dihasilkan oleh pembangkit tiga fase diperoleh dengan menggabungkan daya dari setiap fase. Dalam sistem yang seimbang, total daya ini setara dengan tiga kali daya pada masing-masing fase, dengan perbedaan sudut antara masing-masing fase sekitar 120° [1]. Beban listrik mengacu pada penggunaan listrik oleh pelanggan. Kebutuhan beban listrik di suatu daerah dipengaruhi oleh beberapa faktor, termasuk karakteristik daerah, jumlah penduduk, standar kehidupan, rencana pengembangan, harga listrik, dan faktor-faktor lainnya. Besar dan fluktuasi beban bergantung pada kebutuhan pelanggan terhadap listrik. Beban listrik dalam suatu daerah juga dipengaruhi oleh jenis aktivitas yang terjadi di sana, seperti industri, pertanian, dan komersial, yang masing-masing memiliki tingkat beban yang berbeda. Selain itu, situasi khusus seperti acara keagamaan, kegiatan sosial, serta cuaca atau musim juga dapat memengaruhi sistem beban listrik [2].

2.1.1 Klasifikasi Beban Listrik

Berdasarkan jenis penggunaan energi listrik, beban listrik dapat secara umum diklasifikasikan menjadi empat kategori [3]:

1. Beban Rumah Tangga

Beban listrik pada rumah tangga mencakup penerangan dan penggunaan peralatan rumah tangga.

2. Beban Komersial

Beban komersial, yang berkaitan dengan aktivitas bisnis. Beban ini cenderung mengalami peningkatan yang signifikan pada siang hari di perkantoran dan toko, lalu mengalami penurunan di sore hari.

3. Beban Industri

Beban pada industri terbagi menjadi dua jenis, yaitu industri skala kecil yang umumnya beroperasi selama siang hari, dan industri skala besar yang seringkali beroperasi sepanjang 24 jam.

4. Beban Fasilitas Umum

Beban pada fasilitas umum cenderung mengalami lonjakan penggunaan daya pada siang dan malam hari.

2.1.2 Karakteristik Beban Listrik

Dalam sistem listrik arus bolak-balik (AC), beban listrik dapat dikelompokkan menjadi tiga jenis karakteristik [4]:

1. Beban Resistif (R)

Jenis beban ini terdiri atas komponen dengan resistansi murni. Beban resistif hanya mengonsumsi daya aktif dengan faktor daya satu. Arus listrik melalui beban ini berada dalam fase yang sama dengan tegangan, yang berarti tidak ada perbedaan fase antara keduanya.

2. Beban Induktif (L)

Beban induktif termasuk kumparan kawat pada inti, seperti coil, transformator, dan solenoid. Saat arus listrik melalui beban ini, energi disimpan dalam medan magnet, menghasilkan pergeseran fase sebesar 90 derajat antara arus dan tegangan. Beban induktif mengonsumsi daya aktif dan reaktif. Dalam hal fase, arus tertinggal terhadap tegangan.

3. Beban Kapasitif (C)

Beban kapasitif memiliki kemampuan kapasitansi dan mampu menyimpan energi dari pengisian listrik. Ketika diberi tegangan, beban ini menghasilkan arus yang memimpin fasa terhadap tegangan. Beban kapasitif mengonsumsi daya aktif dan menghasilkan daya reaktif, membantu menyeimbangkan perubahan tegangan dalam sirkuit. Kapasitor dalam beban ini bertindak sebagai penyimpan energi listrik sesaat.

2.2 Peramalan Beban Listrik

Peramalan adalah proses estimasi atau prediksi keadaan yang akan terjadi di masa yang akan datang dengan jangka waktu yang cukup panjang. Untuk melakukan peramalan dengan baik, data akurat dari masa lampau menjadi sangat penting, karena hal ini memungkinkan untuk melihat potensi situasi atau kondisi yang akan terjadi di masa mendatang. Secara umum, peramalan berperan sebagai alat bantu efektif dan efisien dalam perencanaan, membantu dalam menentukan kebutuhan sumber daya di masa depan, serta mendukung pengambilan keputusan yang lebih tepat [5]. Peramalan dalam tenaga listrik umumnya mencakup prediksi beban, termasuk puncak beban dan energi listrik. Peramalan beban listrik menerapkan ilmu peramalan untuk memproyeksikan perubahan dalam kebutuhan beban listrik oleh pelanggan. Hasil peramalan ini digunakan untuk merencanakan pemenuhan kebutuhan konsumen dan memastikan pasokan energi listrik yang andal dan memadai setiap saat. [6]. Peramalan beban listrik bertujuan untuk mengestimasi kebutuhan listrik pada waktu tertentu. Prediksi yang akurat dalam beban listrik memiliki keuntungan untuk mengurangi biaya operasional bagi produsen dan memastikan pemenuhan kebutuhan listrik bagi konsumen [7].

2.2.1 Rentang Waktu Peramalan

Berdasarkan rentang waktu, metode peramalan beban listrik dapat diklasifikasikan menjadi tiga kategori berdasarkan durasi waktu yang terlibat yaitu [8]:

1. Peramalan beban listrik jangka pendek

Ini merujuk pada peramalan beban dalam kurun waktu per jam dengan batas satu minggu, yang setara dengan sekitar 168 jam. Dalam peramalan ini, terdapat batasan atas yang mempertimbangkan beban maksimal dan batasan bawah yang mempertimbangkan beban minimal.

2. Peramalan beban listrik jangka menengah

Ini merujuk merujuk pada estimasi beban listrik dalam periode bulanan hingga satu tahun ke depan. Peramalan beban jangka menengah digunakan untuk rencana perluasan jaringan distribusi dan transmisi, serta penambahan pada pembangkit listrik.

3. Peramalan beban listrik jangka panjang

Ini mengacu pada estimasi pola beban untuk periode lebih dari satu tahun. Dalam peramalan beban ini, faktor yang dominan dalam menentukan hasil peramalan adalah aspek ekonomi. Hasil pada peramalan ini dimanfaatkan untuk dasar perencanaan produksi dan alokasi sumber daya.

2.2.2 Karakteristik Peramalan

Dalam melakukan peramalan, penting untuk memperhatikan beberapa karakteristik tertentu. Berikut adalah beberapa karakteristik peramalan yang perlu diperhatikan :

1. Peramalan tidak selalu akurat

Metode peramalan yang efektif akan meminimalkan kesalahan antara hasil dan target, meskipun tidak menghilangkan kesalahan sepenuhnya.

2. Nilai *error* sebagai tolak ukur

Sebab selalu terdapat selisih antara hasil peramalan dan target, maka ukuran kesalahan atau *error* menjadi indikator kinerja metode peramalan dimana semakin kecil selisih atau *error* maka metode semakin baik performanya.

3. Jumlah data

Peramalan untuk kelompok data umumnya lebih akurat daripada peramalan individu data tunggal.

4. Jangka waktu peramalan

Pemilihan jangka waktu peramalan memiliki dampak besar pada akurasi. Semakin pendek jangka waktu, maka peramalan akan semakin akurat. Hal ini disebabkan faktor-faktor yang mempengaruhi permintaan cenderung berubah lambat, sehingga peramalan menjadi mudah dan akurat.

5. Perhitungan

Karakteristik peramalan menekankan perhitungan berdasarkan permintaan daripada prediksi. Pendekatan ini menghasilkan selisih antara hasil dan target yang lebih kecil dibandingkan dengan pendekatan prediksi.

2.2.3 Proses Peramalan

Dalam proses peramalan, terutama dalam merancang metode peramalan, terdapat beberapa tahapan penting yang harus dijalani yaitu [9]:

1. Identifikasi data dan analisis pola.
2. Pemilihan metode peramalan.
3. Penetapan parameter.
4. Implementasi data referensi.
5. Hasil peramalan.

2.3 Artificial Neural Network (ANN)

Artificial Neural Network (ANN) merupakan komponen dalam sistem *Artificial Intelligence* (AI) yang terinspirasi oleh cara otak manusia belajar. Jaringan ini dibuat melalui program komputer yang melakukan perhitungan selama proses pembelajaran untuk menciptakan representasi buatan dari mekanisme belajar dalam otak manusia. [5]. Tujuan utama ANN adalah menciptakan model komputasi yang meniru cara kerja jaringan syaraf biologis, dengan prinsip bahwa [10] :

1. Neuron sebagai Unit Pemrosesan: Pengolahan informasi terjadi melalui sejumlah neuron sederhana.
2. Transmisi Sinyal: Sinyal atau informasi berpindah antar neuron melalui koneksi-koneksi.
3. Bobot pada Koneksi: Koneksi antar neuron memiliki bobot yang menguatkan atau melemahkan sinyal, menggambarkan tingkat pentingnya setiap koneksi.
4. Fungsi Aktivasi Non-Linear: Setiap neuron menggunakan fungsi aktivasi non-linear pada jumlah input yang diterima untuk menghasilkan output. Output ini dibandingkan dengan ambang batas tertentu untuk mengambil keputusan atau memberikan respons.

Adapun hal yang dijadikan penentu pada jaringan syaraf tiruan antara lain [11] :

1. Struktur jaringan, yang melibatkan pola hubungan antar neuron, dikenal sebagai arsitektur jaringan. Ini mencakup bagaimana neuron-neuron dalam jaringan tersebut terhubung dan disusun.

2. Metode pengaturan bobot penghubung, yang dikenal sebagai metode pelatihan atau algoritma pembelajaran. Metode ini menentukan bagaimana bobot penghubung antar neuron diubah dan disesuaikan selama proses pelatihan jaringan.
3. Jenis fungsi aktivasi yang digunakan oleh neuron dalam jaringan. Fungsi aktivasi adalah cara neuron mengolah dan mentransfer sinyal di antara mereka, dan pemilihan fungsi aktivasi dapat berpengaruh besar terhadap kinerja jaringan syaraf tiruan.

Artificial Neural Network memiliki komponen input, lapisan, dan output. Input hanya mengolah data numerik, sehingga data yang berbentuk grafik, gambar, atau sinyal perlu diubah menjadi data numerik terlebih dahulu. Lapisan terdiri dari neuron-neuron yang tersambung satu sama lain dan dikelompokkan dalam beberapa jenis lapisan, yaitu lapisan masukan (*input layer*), lapisan tersembunyi (*hidden layer*), dan lapisan keluaran (*output layer*). Struktur ini bisa bersifat tunggal atau banyak lapisan (*multilayer*). Output ANN berupa solusi dalam bentuk data numerik.

Akurasi prediksi ANN dipengaruhi oleh korelasi antara parameter input dan output. Kinerja ANN sangat bergantung pada pemilihan parameter input yang tepat. Selain itu, performa ANN dipengaruhi oleh struktur arsitektur dan konfigurasi parameternya, seperti fungsi aktivasi neuron, algoritma pelatihan, dan metode klasifikasi yang digunakan. ANN belajar melalui contoh, dan hasilnya sangat dipengaruhi oleh kualitas dan jumlah contoh yang digunakan. Semakin banyak contoh yang digunakan, semakin rendah tingkat kesalahan yang dihasilkan. [12].

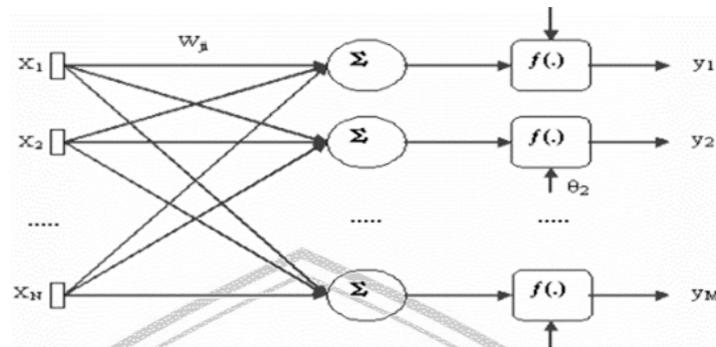
2.3.1 Arsitektur *Artificial Neural Network*

Artificial Neural Network memiliki beberapa arsitektur di dalamnya. Terdapat tiga bentuk arsitektur dalam ANN, yaitu [13] :

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

Jaringan ini terdiri dari satu lapisan masukan (*input*) dan satu lapisan keluaran (*output*) tanpa lapisan tersembunyi. Setiap neuron di lapisan masukan terhubung langsung dengan setiap neuron di lapisan keluaran,

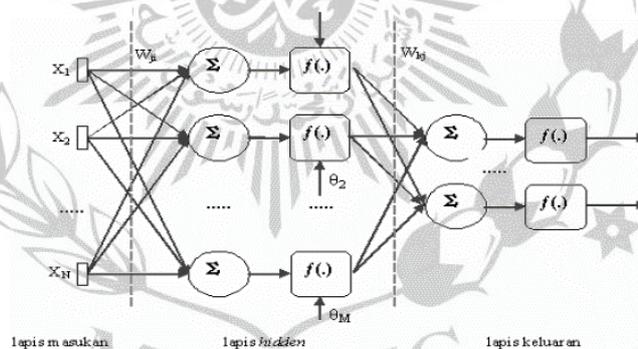
sehingga jaringan ini menerima input dan langsung menghasilkan keluaran.



Gambar 2.1 Jaringan Lapisan Tunggal (Single Layer Network)

2. Jaringan Banyak Lapisan (Multilayer Network)

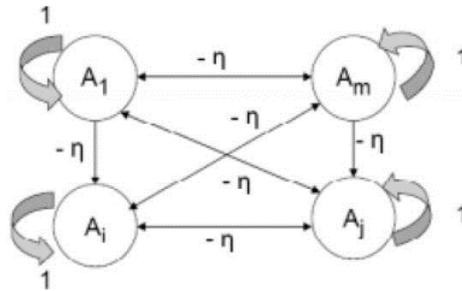
Jaringan ini memiliki tiga jenis lapisan, yaitu lapisan masukan (*input*), lapisan tersembunyi (*hidden*), dan lapisan keluaran (*output*). Jaringan banyak lapisan ini memiliki kemampuan dalam menangani permasalahan yang lebih kompleks daripada jaringan lapisan tunggal. Meskipun demikian, proses pelatihan pada data uji memerlukan waktu yang lebih lama.



Gambar 2.2 Jaringan Banyak Lapisan (Multilayer Network)

3. Jaringan Lapisan Kompetitif (Competitive Layer)

Dalam jenis jaringan ini, sekelompok neuron bersaing untuk menjadi aktif. Algoritma seperti LVQ (*Learning Vector Quantization*) adalah contoh yang menggunakan jenis jaringan ini.



Gambar 2.3 Jaringan Lapisan Kompetitif (*Competitive Layer*)

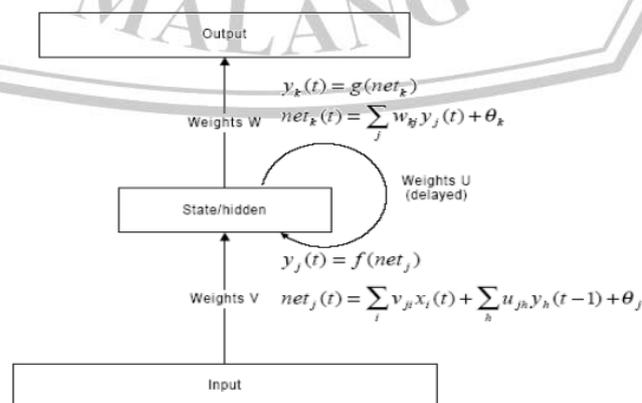
Berdasarkan arah aliran sinyal masukan, struktur Jaringan Saraf Tiruan (*Artificial Neural Network*) dapat dibagi menjadi dua jenis utama, yaitu jaringan umpan maju dan jaringan dengan umpan balik [11].

a. Jaringan Umpan Maju (*Feedforward Network*)

Pada jaringan umpan maju, informasi atau sinyal mengalir dari unit masukan ke unit keluaran dalam satu arah tanpa kembali. Ini mencakup jaringan dengan lapisan tunggal, di mana informasi hanya melewati satu set neuron, dan jaringan dengan banyak lapisan, di mana informasi melewati beberapa set lapisan neuron berturut-turut untuk pengolahan yang lebih kompleks.

b. Jaringan dengan Umpan Balik (*Recurrent Network*)

Jaringan dengan umpan balik melibatkan neuron keluaran yang dapat mengirimkan kembali sinyal ke unit masukan, membentuk apa yang disebut loop umpan balik (*feedback loop*). Hal ini memungkinkan jaringan untuk memiliki koneksi siklik dan dapat menyimpan informasi sebelumnya, yang berguna dalam tugas yang melibatkan urutan data atau informasi yang berkaitan dengan waktu.



Gambar 2.4 Jaringan dengan Umpan Balik (*Recurrent Network*)

2.3.2 Fungsi Aktivasi

Fungsi aktivasi merupakan mekanisme yang digunakan dalam jaringan syaraf untuk mengatur aktivasi atau non-aktivasi neuron, yang pada gilirannya mempengaruhi keluaran neuron tersebut. Argumen fungsi aktivasi membentuk fungsi yang bisa bersifat linear atau nonlinear berdasarkan hasil penjumlahan [14]. Beberapa fungsi aktivasi dengan $f(x)$ sebagai output fungsi aktivasi dan x sebagai input fungsi aktivasi yang sering digunakan adalah sebagai berikut [11]:

a. Fungsi Identitas (Linier)

Fungsi identitas menghasilkan output yang sama dengan inputnya.

Fungsi ini juga disebut sebagai fungsi linier yang dirumuskan sebagai :

$$f(x) = x \quad (2.1)$$

b. Fungsi *Threshold* (batas ambang)

Pada fungsi *threshold*, nilai output neuron adalah biner (1 atau 0) berdasarkan nilai inputnya. Terkadang, dalam jaringan syaraf tiruan, sebuah unit masukan bernilai tetap 1 dan dikenal sebagai bias. Bias dapat dikatakan sebagai sebuah input yang nilainya selalu 1. Bias digunakan untuk mengubah *threshold* menjadi = 0. Fungsi *threshold* dirumuskan sebagai :

$$f(x) = \begin{cases} 1, & \text{jika } x \geq \theta \\ 0, & \text{jika } x < \theta \end{cases} \quad (2.2)$$

Untuk kasus bilangan bipolar, nilai 0 atau 1 dalam fungsi *threshold* diganti dengan -1 atau 1. Fungsi tersebut dikenal dengan fungsi *threshold* bipolar yang memiliki persamaan sebagai berikut :

$$f(x) = \begin{cases} 1, & \text{jika } x \geq \theta \\ -1, & \text{jika } x < \theta \end{cases} \quad (2.3)$$

c. Fungsi Sigmoid Biner (Logsig)

Fungsi sigmoid biner menghasilkan nilai dalam rentang 0 hingga 1. Oleh karena itu, fungsi ini umumnya digunakan dalam jaringan syaraf yang membutuhkan output antara 0 dan 1, meskipun dapat juga digunakan dalam jaringan yang menghasilkan output 0 atau 1. Adapaun persamaan fungsi sigmoid biner sebagai berikut :

$$f(x) = \frac{1}{1+e^{-x}} \quad (2.4)$$

$$f'(x) = f(x)(1 - f(x)) \quad (2.5)$$

d. Fungsi Sigmoid Bipolar (Tansig),

Fungsi sigmoid bipolar serupa dengan fungsi sigmoid biner, tetapi memiliki output dalam rentang 1 hingga -1 . Adapun persamaan fungsi sigmoid bipolar sebagai berikut :

$$f(x) = \frac{1-e^{-a}}{1+e^{-a}} \quad (2.6)$$

$$f'(x) = \frac{[1+f(x)][1-f(x)]}{2} \quad (2.7)$$

e. Fungsi ReLU (*Rectified Linear Unit*)

Fungsi aktivasi ReLU memiliki fungsi $(x) = \max(0, x)$. Fungsi ReLU hanya berlaku pada nilai-nilai non-negatif: jika x lebih besar atau sama dengan 0, hasilnya adalah 0. Jika x lebih besar dari 0, hasilnya adalah 1. Adapun turunan fungsi aktivasi ReLU pada persamaan berikut :

$$\frac{\partial y}{\partial x} = \begin{cases} y > 0 = 1 \\ y \leq 0 = 0 \end{cases} \quad (2.8)$$

2.4 Backpropagation

Backpropagation adalah salah satu metode dalam *Artificial Neural Network* (ANN) yang memanfaatkan satu atau beberapa lapisan tersembunyi. Penggunaan lapisan tersembunyi bertujuan untuk mengatasi kelemahan pengenalan pola yang mungkin terjadi pada lapisan tunggal. Metode ini melibatkan pasangan data masukan (*input*) dan target (*output*) yang digunakan untuk melatih jaringan. Pada setiap iterasi pelatihan, bobot pada lapisan masukan diolah melalui fungsi aktivasi hingga menghasilkan output. Kesalahan atau error terjadi saat output jaringan dibandingkan dengan target aktual, dan error ini disebarkan ke belakang untuk menyesuaikan bobot neuron pada lapisan sebelumnya yang saling terhubung [10].

Tujuan dari metode *backpropagation* adalah mencapai harmoni antara kapasitas jaringan dalam mengidentifikasi pola yang telah diajarkan ketika pelatihan dan memberikan respons yang akurat pada jaringan terhadap pola input yang beragam dari pola yang telah diajarkan.

Terdapat persyaratan yang harus dipenuhi pada fungsi aktivasi dalam *backpropagation*, yaitu: kontinu, diferensial-nya mudah dihitung, dan tidak memiliki fungsi turunan. Salah satu fungsi yang memenuhi persyaratan tersebut

dan banyak digunakan adalah fungsi sigmoid biner, yang memiliki rentang nilai (0,1).[13].

2.4.1 Algoritma *Backpropagation*

Algoritma pembelajaran *Backpropagation* merupakan metode terawasi yang umumnya diterapkan pada perceptron dengan lapisan-lapisan yang beragam, guna mengoreksi bobot sebagai penghubung neuron-neuron di lapisan tersembunyi. Langkah-langkah *backpropagation* melibatkan penggunaan kesalahan output untuk menyesuaikan nilai bobot secara mundur (*backward*). Sebelumnya, terdapat langkah perambatan maju (*forward propagation*), di mana neuron-neuron diaktivasi menggunakan fungsi aktivasi yang diferensial. Tahap ini memberikan nilai kesalahan yang nantinya digunakan pada langkah perambatan mundur (*backward*), untuk penyesuaian bobot [15].

Adapun secara umum, algoritma *backpropagation* terdiri dari empat langkah utama, yaitu [16]:

1. Inisialisasi

Tahap pertama melibatkan pemberian nilai awal kepada berbagai parameter yang diperlukan oleh jaringan saraf, seperti nilai input, bobot, target, tingkat pembelajaran (*learning rate*) dan ambang batas.

2. Aktivasi

Nilai-nilai yang telah diinisialisasi pada langkah sebelumnya digunakan pada tahap aktivasi, yang melibatkan perhitungan :

- a. Menentukan hasil keluaran aktual dari lapisan tersembunyi.
- b. Menghitung hasil keluaran aktual dari lapisan keluaran.

3. Pelatihan Bobot

Pada langkah ini, pelatihan bobot dilakukan dalam dua tahap :

- a. Menghitung gradien kesalahan pada lapisan keluaran.
- b. Menghitung error gradient pada lapisan tersembunyi.

4. Iterasi

Iterasi melibatkan pengulangan pada proses hingga mencapai tingkat kesalahan seminimal mungkin.

2.5 Mean Square Error (MSE)

Mean Square Error atau MSE adalah perhitungan rata-rata dari nilai kuadrat kesalahan pada sejumlah data. Penggunaan MSE umumnya bertujuan untuk mengevaluasi kesalahan atau perbedaan negatif dengan deviasi yang signifikan, sehingga mampu mengukur nilai rata-rata kesalahan dengan akurat [9]. Ukuran kesalahan ini mempengaruhi akurasi prediksi. Semakin kecil nilai MSE yang tercapai, semakin unggul hasil peramalan beban listriknya. [17].

Untuk menghitung MSE, langkah pertama adalah membandingkan nilai keluaran ($y_i(x)$) dengan nilai target ($T_i(x)$). Hasil dari perbandingan ini adalah deviasi antara hasil keluaran dengan jumlah variabel (n). Proses ini menghasilkan nilai kesalahan (error) peramalan. Selisih antara kedua nilai tersebut dapat dihitung menggunakan persamaan berikut. [6]:

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (T_i(x) - y_i(x))^2 \quad (2.9)$$

dimana:

T_i = nilai output target

y_i = nilai output jaringan syaraf

n = jumlah variabel

2.6 Mean Absolute Percentage Error (MAPE)

Mean Absolute Percentage Error atau MAPE adalah metode untuk mengukur kesalahan atau selisih antara data aktual dan prediksi dalam bentuk persentase. Nilai MAPE mengukur sejauh mana peramalan mendekati data aktual. Nilai rata-rata dari selisih persentase ini menunjukkan tingkat kesalahan rata-rata dalam peramalan. Umumnya, kinerja yang dianggap baik atau dapat diterima adalah ketika nilai MAPE berada di bawah 10%. [18]. Untuk mengevaluasi besarnya kesalahan dalam peramalan, digunakan persamaan sebagai berikut [19].

$$MAPE = \frac{\sum |x'_t - x_t|}{\frac{x_t}{n}} \times 100\% \quad (2.10)$$

dimana :

x'_t = Nilai aktual

x_t = Nilai peramalan

n = Banyaknya data peramalan