

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Peramalan**

Waktu tenggang (*lead time*) merupakan alasan utama bagi perencanaan dan peramalan. Jika waktu tenggang ini nol atau sangat kecil, maka perencanaan tidak diperlukan. Jika waktu tenggang panjang dan hasil peristiwa akhir bergantung pada faktor-faktor yang dapat diketahui, maka perencanaan dapat memegang peranan penting. Dalam situasi seperti ini peramalan diperlukan untuk menetapkan kapan suatu peristiwa akan terjadi atau timbul, sehingga tindakan yang tepat dapat dilakukan.

Pentingnya peramalan mengakibatkan berkembangnya ilmu tersebut dalam beberapa tahun terakhir. Banyak fenomena yang hasilnya dapat diprakirakan dengan mudah menggunakan ilmu peramalan, seperti terbitnya matahari, kecepatan benda jatuh, musim hujan, dan beribu peristiwa lain (Makridakis et al, 1995, p.3). Intensitas radiasi matahari pun tak luput dari salah satu fenomena yang dapat dirakirakan menggunakan ilmu peramalan.

#### **2.2 Energi Matahari**

Radiasi merupakan bentuk energi yang dipancarkan oleh benda yang memiliki suhu lebih dari nol mutlak dan radiasi juga merupakan satu-satunya bentuk energi yang dapat menjalar di ruang vakum. Radiasi matahari terdiri dari medan magnet dan medan listrik. Matahari memancarkan energi sebesar  $56 \times 10^{26}$  kalori per menit dan bumi hanya menerima  $2,55 \times 10^{18}$  kalori atau hanya  $\frac{1}{2} \times 10^{-9}$ nya (Prawirowardoyo, 1996, p.34).

Radiasi cahaya yang dipancarkan oleh matahari terdiri dari berbagai panjang gelombang, mulai dari ultraviolet, cahaya tampak, sampai inframerah dan spektrum elektromagnetik. Radiasi matahari timbul disebabkan oleh suhu permukaan matahari yang bersuhu sekitar 5800K. Radiasi paling kuat pada suhu tersebut adalah gelombang cahaya tampak (*visible light*) dengan panjang gelombang sekitar 400-800 nanometer (nm).

Energi radiasi yang dipancarkan pada permukaan matahari yaitu sebesar  $62 \text{ MW/m}^2$ , dan berkurang menjadi  $1353 \text{ W/m}^2$  ketika radiasi berada diatas atmosfer bumi (Prayogo et al, 2014, p.14).

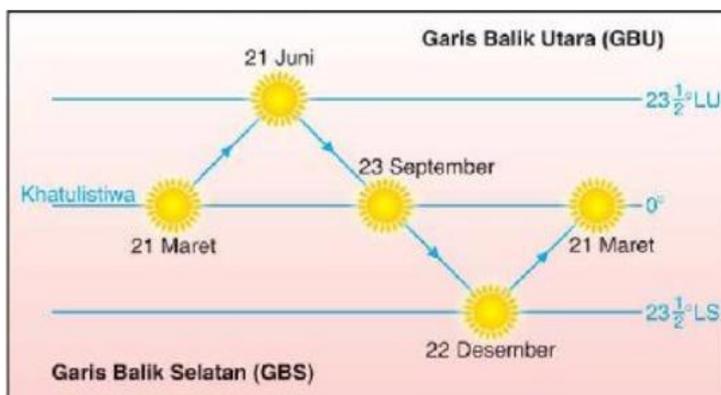
Beberapa faktor yang mempengaruhi radiasi total yang diterima di permukaan bumi adalah:

## 1. Jarak Matahari

Jarak bumi dan matahari yang berubah-ubah menyebabkan variasi dalam penerimaan energi matahari oleh bumi. Jarak terjauh bumi dari matahari (aphelium) berada pada tanggal 5 Juli dan jarak terdekatnya (perihelium) berada pada tanggal 3-5 Januari. Selama mengelilingi matahari sumbu bumi miring  $23,5^\circ$  dari garis tegak lurus pada eliptika (bidang edar bumi mengelilingi matahari). Revolusi bumi mengakibatkan terjadinya kemiringan sumbu bumi yang selalu searah sehingga menyebabkan adanya pergantian musim dan perubahan lamanya siang dan malam.

## 2. Intensitas Radiasi Matahari

Intensitas radiasi matahari adalah jumlah energi yang diterima oleh bumi per satuan luas per satuan waktu ( $\text{Wh/m}^2/\text{hari}$ ). Nilai intensitas radiasi matahari berubah-ubah tergantung pada beberapa faktor, antara lain letak astronomis suatu tempat terutama garis lintang lokasi, gerak semu harian maupun tahunan matahari, dan keadaan atmosfer bumi (Mintorogo, 2004, p.131).



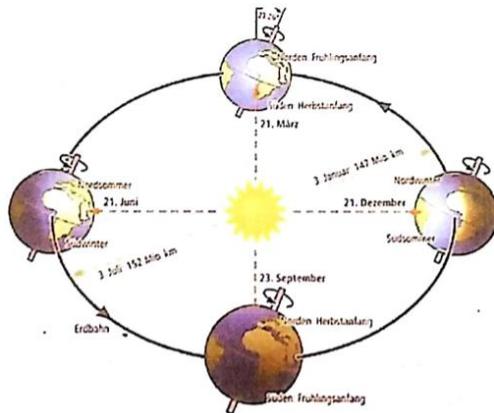
Gambar 2. 1 Gerak Semu Tahunan Matahari

Sumber : (Nugroho et al, 2014, p.409)

Gerak semu harian matahari mempengaruhi pergantian siang dan malam sehingga mempengaruhi besar intensitas radiasi matahari yang dapat diterima oleh bumi setiap jamnya sedangkan gerak semu tahunan matahari mempengaruhi pergantian musim yang terjadi pada belahan bumi di dunia setiap tahun sehingga mempengaruhi besar intensitas radiasi matahari yang dapat diterima oleh bumi setiap bulan. Gerak semu tahunan matahari dapat dilihat pada Gambar 2.1.

Radiasi matahari harian yang bisa dilambangkan dengan  $E_0$  mempunyai nilai yang fluktuatif berkisar antara  $1325 \text{ W/m}^2$  dan  $1420 \text{ W/m}^2$ . Nilai  $E_0$  rata-rata atau dapat disebut konstanta solar adalah  $1367 \text{ W/m}^2$ . Kejadian radiasi tenaga surya di bumi

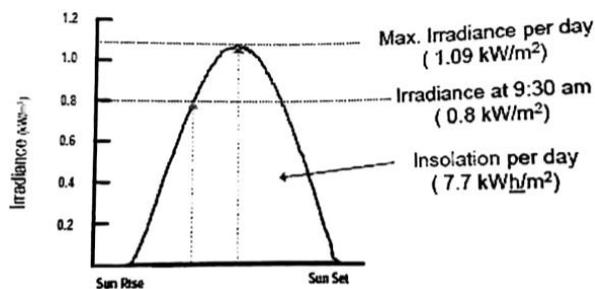
disebut dengan radiasi global. Nilai tahunan radiasi global bervariasi tergantung dari lokasi (Kaub, 2016, p.6).



Gambar 2. 2 Radiasi Global  
Sumber : (Kaub, 2016, p.6)

Pada gambar 2.2 dapat dilihat perbedaan radiasi matahari tergantung dari bulan dalam waktu satu tahun. Pada cuaca yang baik nilai dari radiasi global adalah  $1000 \text{ W/m}^2$  merata pada seluruh permukaan bumi. Untuk daerah yang terik nilai radiasi global dapat mencapai  $1400 \text{ W/m}^2$  dalam waktu yang singkat. Sesuai yang ditunjukkan pada gambar 2.3 bahwa radiasi maksimum per hari adalah  $1,09 \text{ kW/m}^2$ .

Nilai radiasi maksimum yang bisa digunakan adalah bernilai  $1000 \text{ W/m}^2$ . Nilai radiasi matahari akan naik pada pukul 09.30 senilai 0,8 dari nilai radiasi maksimum. Semakin tinggi nilai radiasi matahari maka semakin besar daya keluaran pada panel surya (Kaub, 2016, p.6).



Gambar 2. 3 Nilai radiasi perhari  
Sumber : (Kaub, 2016, p.6)

### 3. Lama Penyinaran Matahari

*Sunshine duration* atau lama penyinaran matahari adalah lamanya matahari bersinar hingga sampai permukaan bumi dalam periode hari atau bulan yang diukur dalam hitungan jam. Periode satu hari disebut juga panjang hari. Lama penyinaran matahari bervariasi dari hari ke hari sehingga menyebabkan variasi setiap bulannya. Pengukuran durasi sinar matahari merupakan jenis pengukuran radiasi yang tertua, tetapi meskipun

demikian, penyinaran matahari tetap bermanfaat karena dua hal. Pertama, durasi penyinaran adalah salah satu parameter yang penting dari iklim suatu tempat (lokasi). Kedua, dari data durasi penyinaran matahari dapat diturunkan fluksi total dari radiasi matahari yang jatuh pada permukaan horizontal dari suatu lokasi (Prawirowardoyo, 1996, p.102). Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan adanya hubungan antara radiasi global dan lama penyinaran matahari, sehingga data lama penyinaran matahari merupakan data yang penting dan dibutuhkan bagi usaha pemanfaatan energi matahari.

Maksimum durasi sinar matahari harian rata-rata terdapat pada bulan-bulan Juli dan Agustus. Bulan-bulan ini merupakan pertengahan atau maksimum muson timur di mana jumlah perawan minimum. Minimum durasi sinar matahari terdapat pada bulan Januari, ini disebabkan bulan Januari merupakan pertengahan atau maksimum muson barat di mana jumlah perawanannya besar (Prawirowardoyo, 1996, p.99).

#### 4. Suhu

Suhu merupakan karakteristik *inherent*, dimiliki oleh benda yang berhubungan dengan panas dan energi. Jika panas dialirkan pada suatu benda maka suhu benda tersebut akan meningkat; sebaliknya suhu benda akan turun jika benda tersebut kehilangan panas. Suhu merupakan ukuran relatif dari kondisi termal yang dimiliki oleh suatu benda. Ada beberapa skala pengukuran suhu, antara lain Reamur, Celcius, Fahrenheit, dan Kelvin.

Suhu udara berfluktuasi dengan nyata selama periode 24 jam. Fluktuasi suhu berkaitan dengan proses pertukaran energi di atmosfer. Pada siang hari sebagian radiasi akan diserap oleh atmosfer dan partikel-partikel padat yang melayang di atmosfer. Serapan energi radiasi matahari ini menyebabkan suhu meningkat (Lakitan, 1994, p.89).

### 2.3 Data

Data adalah sesuatu yang diketahui dari berbagai hal atau kejadian secara nyata atau merupakan hasil pengamatan. Data terbagi menjadi beberapa jenis (Dafroni et al, 2015, p.5), yaitu:

#### 1. Berdasarkan Sifat

Data Kualitatif : data yang tidak berbentuk angka dan lebih bersifat pernyataan

Data Kuantitatif : data yang berbentuk angka-angka.

#### 2. Berdasarkan Sumber

Data Internal : data yang menggambarkan keadaan suatu perusahaan atau organisasi.

Data Eksternal : data yang menggambarkan keadaan di luar suatu organisasi yang dapat memengaruhi hasil kerja organisasi tersebut.

### 3. Berdasarkan Cara Memperoleh

Data Primer : data yang dikumpulkan sendiri oleh perorangan atau suatu organisasi secara langsung dari hasil pengamatan objek yang diteliti.

Data Sekunder : data yang diperoleh melalui suatu pihak atau organisasi baik dari publikasi maupun permintaan kepada perusahaan yang berwenang atas pengumpulan data tersebut.

### 4. Berdasarkan Waktu Pengumpulan

Data *Cross Section* : data yang dikumpulkan pada suatu waktu tertentu saja (*at a point of time*).

Data *time series* : data yang dikumpulkan pada rentang waktu tertentu untuk menggambarkan pertumbuhan suatu objek.

## 2.4 Regresi linier berganda

Dalam regresi linier berganda, peramalan nilai variabel tak bebas Y diperoleh dengan membentuk persamaan yang menghubungkan lebih dari satu variabel yaitu  $X_1, X_2, \dots, X_n$ . Secara umum persamaan regresi linier berganda dapat dirumuskan sebagai berikut (Sugiyono, 2007, p.275):

$$\hat{Y}_i = b_0 + b_1X_{1i} + b_2X_{2i} + \dots + b_nX_{ni} + \varepsilon \dots\dots\dots (2-1)$$

Penelitian ini terdiri atas satu variabel bebas Y dan dua variabel X yaitu  $X_1, X_2$ . Maka persamaan regresi linier bergandanya adalah:

$$\hat{Y}_i = b_0 + b_1X_{1i} + b_2X_{2i} + \varepsilon \dots\dots\dots (2-2)$$

Nilai koefisien  $b_0, b_1$ , dan  $b_2$  dapat diperoleh dengan metode kuadrat terkecil (least squares method). Persamaan yang digunakan untuk regresi linier berganda 4 prediktor ditunjukkan pada persamaan sebagai berikut:

$$\sum_{i=1}^n Y_i = nb_0 + b_1 \sum_{i=1}^n X_{1i} + b_2 \sum_{i=1}^n X_{2i} + b_3 \sum_{i=1}^n X_{3i} + b_4 \sum_{i=1}^n X_{4i} \dots\dots\dots (2-3)$$

$$\sum_{i=1}^n X_{1i}Y_i = b_1 \sum_{i=1}^n X_{1i}^2 + b_2 \sum_{i=1}^n X_{1i}X_{2i} + b_3 \sum_{i=1}^n X_{1i}X_{3i} + b_4 \sum_{i=1}^n X_{1i}X_{4i} \dots\dots\dots (2-4)$$

$$\sum_{i=1}^n X_{2i}Y_i = b_1 \sum_{i=1}^n X_{1i}X_{2i} + b_2 \sum_{i=1}^n X_{2i}^2 + b_3 \sum_{i=1}^n X_{2i}X_{3i} + b_4 \sum_{i=1}^n X_{2i}X_{4i} \dots\dots\dots (2-5)$$

$$\sum_{i=1}^n X_{3i}Y_i = b_1 \sum_{i=1}^n X_{1i}X_{3i} + b_2 \sum_{i=1}^n X_{2i}X_{3i} + b_3 \sum_{i=1}^n X_{3i}^2 + b_4 \sum_{i=1}^n X_{3i}X_{4i} \dots\dots\dots (2-6)$$

$$\sum_{i=1}^n X_{4i}Y_i = b_1 \sum_{i=1}^n X_{1i}X_{4i} + b_2 \sum_{i=1}^n X_{2i}X_{4i} + b_3 \sum_{i=1}^n X_{3i}X_{4i} + b_4 \sum_{i=1}^n X_{4i}^2 \dots\dots\dots (2-7)$$

## 2.5 Extreme Learning Machine (ELM)

*Extreme learning machine* (ELM) adalah konsep baru di bidang *learning machine*, yang diperkenalkan oleh Huang pada tahun 2004. *Extreme learning machine* diusulkan sebagai

*learning algorithm* baru yang berbeda dari *learning algorithm* tradisional berbasis gradien berdasarkan cara menyesuaikan parameter jaringan. Berbeda dengan *learning algorithm* tradisional yang secara iteratif menyesuaikan semua parameter jaringan selama proses pembelajaran, *extreme machine learning* hanya menyesuaikan bobot hubungan antara *hidden layer* dan *output layer*, sedangkan bobot hubungan antara *hidden layer* dan *input layer* dipilih secara acak pada awal proses pembelajaran (Lazarevska, 2016, p.156).

Metode extreme learning machine dibuat untuk mengatasi kelemahan yang terdapat pada jaringan syaraf tiruan *feedforward* terutama dalam hal kecepatan pembelajaran (*learning speed*) yang rendah. *Learning speed* pada jaringan syaraf tiruan *feedforward* rendah disebabkan oleh penggunaan *slow gradient based learning algorithm* untuk melakukan pembelajaran dan semua parameter pada jaringan ditentukan secara iteratif. Dengan menemukan *node* yang memberikan nilai keluaran maksimum dan parameter-parameter seperti bobot masukan dan bias dipilih secara acak, maka ELM memiliki *learning speed* yang cepat.

### **2.5.1 Konsep Jaringan Syaraf Tiruan**

Kerangka jaringan syaraf tiruan dapat dilihat dari jumlah *node* dan jumlah lapisan (*layer*) pada setiap lapisan. Lapisan dalam jaringan syaraf tiruan dapat dibagi menjadi 3 bagian (Puspitaningrum, 2006, p.6), yaitu:

a. Lapisan masukan (*input layer*)

*Node-node* pada setiap *input layer* disebut unit-unit masukan. Unit-unit masukan menerima masukan dari luar. Masukan yang dimasukkan merupakan penggambaran dari suatu masalah.

b. Lapisan tersembunyi (*hidden layer*)

*Node-node* pada *hidden layer* disebut unit-unit tersembunyi.

c. Lapisan keluaran (*output layer*).

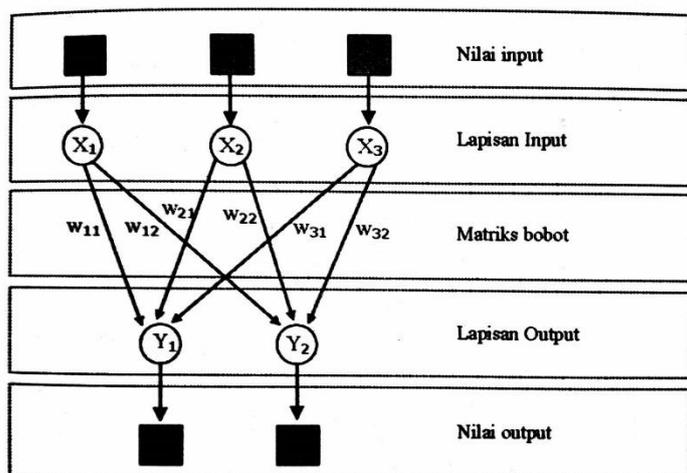
*Node-node* pada *output layer* disebut unit-unit keluaran. Keluaran dari lapisan ini merupakan keluaran jaringan syaraf tiruan terhadap suatu permasalahan.

### **2.5.2 Arsitektur Jaringan Syaraf Tiruan**

Jaringan syaraf tiruan dirancang dengan suatu aturan yang memiliki sifat menyeluruh dimana seluruh bentuk jaringan memiliki konsep dasar yang sama. Arsitektur jaringan syaraf tiruan antara lain:

a. Jaringan dengan lapisan tunggal

Jaringan ini hanya memiliki satu lapisan dengan bobot-bobot yang terhubung. Jaringan ini hanya menerima masukan kemudian secara langsung akan mengolahnya menjadi keluaran tanpa harus melewati lapisan tersembunyi (Kusumadewi, 2010, p.74).



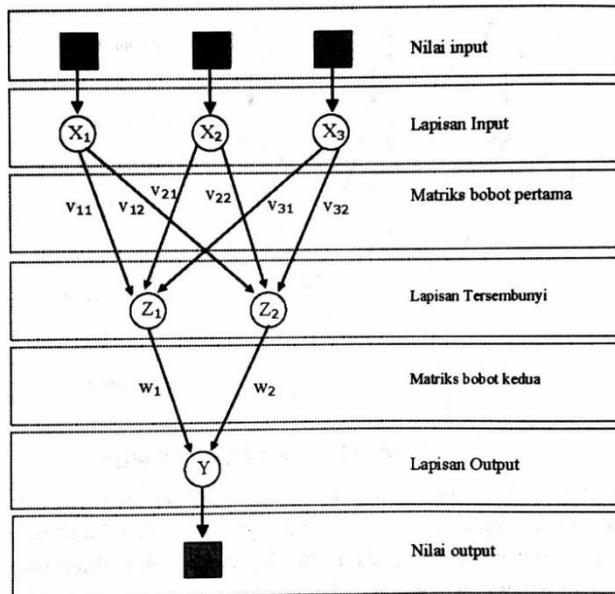
Gambar 2. 4 Jaringan Lapisan Tunggal

Sumber : (Kusumadewi, 2003, p.212)

Pada gambar 2.4, lapisan masukan memiliki 3 *neuron*, yaitu  $x_1$ ,  $x_2$ , dan  $x_3$ , sedangkan lapisan keluaran mempunyai 2 *neuron*, yaitu  $y_1$  dan  $y_2$ . *Neuron-neuron* pada setiap lapisan saling berhubungan. Hubungan antara 2 *neuron* ditentukan oleh bobot yang bersesuaian. Semua unit masukan akan dihubungkan ke setiap unit keluaran.

#### b. Jaringan dengan banyak lapisan

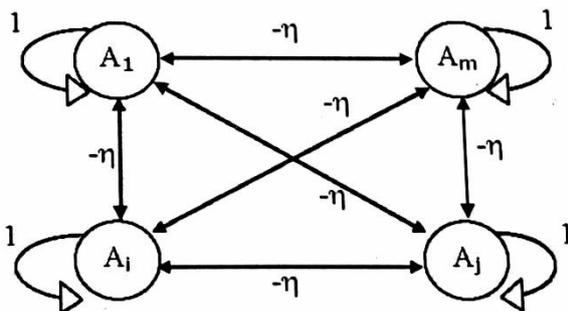
Jaringan ini mempunyai lapisan lebih dari satu yang terletak di antara lapisan masukan dan lapisan keluaran (mempunyai satu atau lebih lapisan tersembunyi) (Kusumadewi, 2010, p.75). Gambar 2.5 menunjukkan jaringan dengan banyak lapisan. Jaringan ini dapat menyelesaikan permasalahan yang lebih sulit daripada jaringan dengan lapisan tunggal namun dengan pembelajaran yang lebih rumit (Kusumadewi, 2003, p.212).



Gambar 2. 5 Jaringan Lapisan Banyak  
Sumber : (Kusumadewi , 2003, p.213)

### c. Jaringan dengan lapisan kompetitif

Jaringan ini memiliki bobot yang sudah ditentukan dan tidak memiliki proses pelatihan. Jaringan ini digunakan untuk mengetahui neuron pemenang dari sejumlah neuron yang ada. Nilai bobot setiap neuron untuk dirinya sendiri adalah 1, sedangkan untuk neuron lainnya bernilai random negatif (Kusumadewi, 2010, p.76).



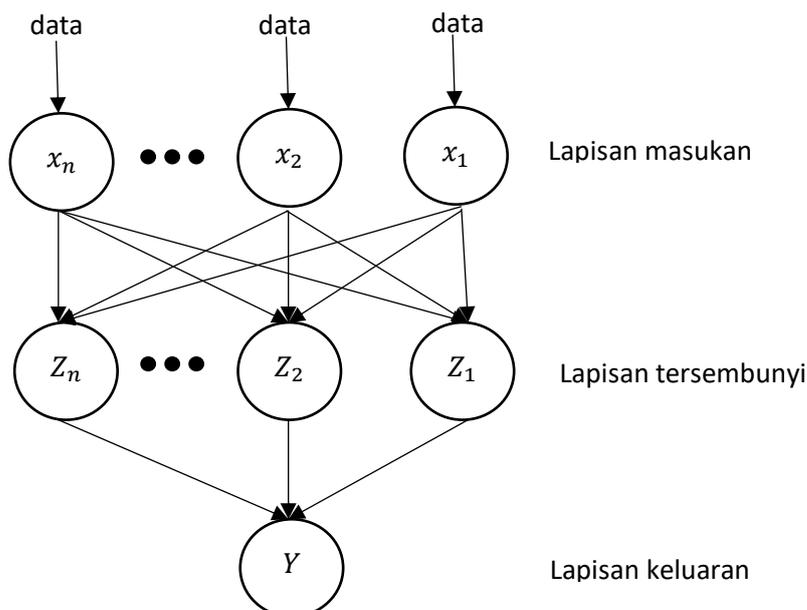
Gambar 2. 6 Jaringan Lapisan Kompetitif  
Sumber : (Kusumadewi , 2010, p.77)

### 2.5.3 Supervised Learning

*Supervised* atau *active learning* adalah sebuah proses belajar yang membutuhkan “guru”, yaitu sesuatu yang memiliki pengetahuan tentang lingkungan. “Guru” dapat direpresentasikan sebagai sekumpulan masukan - keluaran. Pengetahuan dibangun oleh “guru” dengan cara memberi respon yang diinginkan oleh jaringan. Parameter-parameter jaringan berubah berdasarkan vektor latih dan sinyal kesalahan. Proses perubahan dilakukan secara berulang-ulang, dengan tujuan agar sistem memiliki kemampuan yang mirip dengan

“guru”. Sistem dilatih untuk dapat memetakan sekumpulan sampel masukan - keluaran dengan akurasi yang tinggi (Suyanto, 2007, p.173).

#### 2.5.4 Struktur ELM



Gambar 2. 7 Struktur ELM

Sumber : (Khotimah et al, 2010, p.188)

Sebuah model ELM dengan  $n$  neuron masukan,  $m$  neuron lapisan tersembunyi dan fungsi aktivasi  $g(x)$ . Misalkan  $x = [x_1, x_2, x_3, \dots, x_n]$  dengan  $x_i$  merupakan nilai input pada jaringan tersebut,  $H$  merupakan matriks ukuran  $n \times m$ . Penentuan nilai elemen matriks dilakukan secara acak. Kemudian setiap nilai masukan diproses pada lapisan tersembunyi menggunakan fungsi aktivasi sigmoid biner, dan nilai tersebut dihimpun dalam sebuah matriks  $H$  dengan ordo  $n \times m$ .

#### 2.5.5 Proses ELM

##### 1. Normalisasi data *training*.

Normalisasi data *training* berfungsi untuk membuat sebuah nilai dengan rentang tertentu. Persamaan untuk normalisasi data *training* adalah (Khotimah et al, 2010, p.188):

$$x = \frac{(x_p - \min x_p)}{(\max x_p - \min x_p)} \dots \dots \dots (2-8)$$

dengan:

$x_p$  : nilai data sebelum dinormalisasi

$\min x_p$  : nilai minimum dataset

$\max x_p$  : nilai maksimum dataset

2. Menentukan fungsi aktivasi dan jumlah *hidden neuron*.
3. Menghitung bobot *input*, bias *hidden neuron*, dan bobot *output*.

Pada metode ELM, bobot masukan dan bias ditentukan secara acak dan bobot keluaran diperoleh dari persamaan:

$$\beta = H^+T \dots\dots\dots(2-9)$$

dengan  $H^+$  adalah matriks invers semu dari matriks  $H$ .

Sehingga persamaan  $y$  dapat dituliskan sebagai berikut:

$$y = \beta H \dots\dots\dots(2-10)$$

4. Denormalisasi data keluaran.

Nilai keluaran dari proses training akan didenormalisasi. Persamaan untuk denormalisasi data adalah:

$$x = Y x (\max x_p - \min x_p) + \min x_p \dots\dots\dots(2-11)$$

dengan:

$Y$  : nilai keluaran.

5. *Testing* ELM

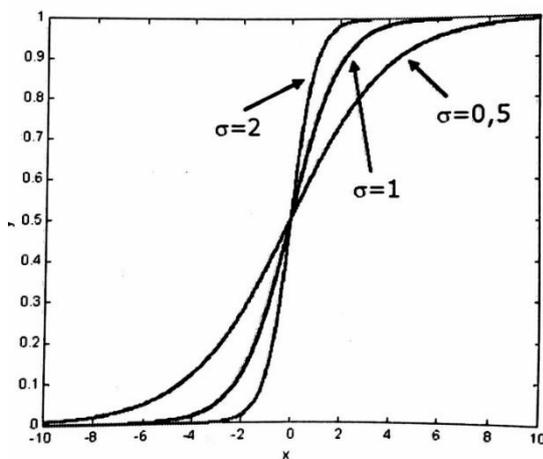
### 2.5.6 Fungsi Aktivasi

Fungsi aktivasi mendefinisikan nilai keluaran dari sebuah neuron pada suatu level aktivasi tertentu berdasarkan nilai keluaran dari pengombinasi linier (Suyanto, 2008, p.65).

Fungsi aktivasi yang sering digunakan adalah fungsi *sigmoid biner*.

Keluaran fungsi sigmoid biner memiliki nilai pada rentang 0 sampai 1. Secara matematis, fungsi sigmoid biner dituliskan sebagai berikut:

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



Gambar 2. 8 Fungsi Sigmoid Biner  
 Sumber : (Sutojo, 2011, p.299)

### 2.5.6 Inisialisasi Bobot dan Bias

Tahapan yang umum digunakan pada inisialisasi secara acak adalah menginisialisasi bobot dan bias, baik dari unit masukan ke unit tersembunyi maupun dari unit tersembunyi ke unit keluaran ke dalam sebuah interval tertentu. Misal, antara -0,5 sampai 0,5 atau -1 sampai 1. (Puspitaningrum, 2006, p.134).

### 2.5.7 Invers Semu (*Pseudoinvers*)

Matriks berordo  $m \times n$  yang *singular* tidak mempunyai invers. Tetapi terdapat matriks yang seolah menjadi invers untuk matriks yang berordo  $m \times n$  yang singular. Matriks tersebut disebut invers semu (Setiadji, 2006, p.4).

## 2.6 Pengukuran Kesalahan dalam Prediksi

*Root mean square error* (RMSE) biasa digunakan sebagai standar untuk mengukur kinerja model dalam penelitian meteorologi, kualitas udara, dan penelitian tentang iklim. Persamaan untuk mendapatkan nilai RMSE adalah sebagai berikut (Chai & Draxler, 2014, p.1248):

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n e_i^2} \dots\dots\dots (2-12)$$

*Mean Absolute Error* (MAE) juga digunakan pada penelitian ini untuk mengukur nilai kesalahan. Persamaan untuk mendapatkan nilai MAE adalah sebagai berikut:

$$\text{MAE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |e_i| \dots\dots\dots (2-13)$$

