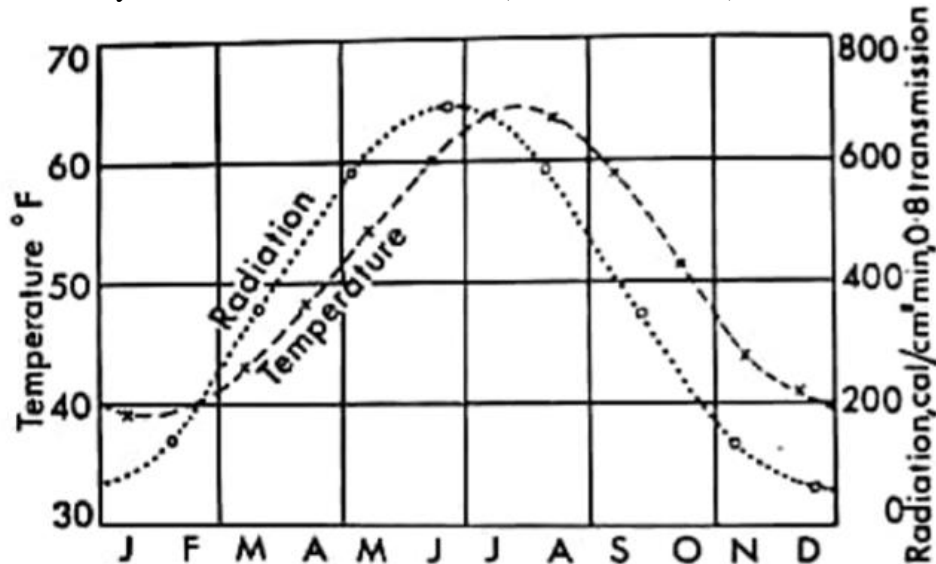


BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Energi Matahari

Matahari memancarkan radiasi cahaya dengan berbagai panjang gelombang, mulai dari ultraviolet, cahaya tampak, sampai infrared dan spektrum elektromagnetik. Radiasi ini timbul sebagai akibat dari permukaan matahari yang mempunyai temperatur sekitar 5800K. Untuk matahari, dengan temperatur tersebut, radiasinya paling kuat berada pada gelombang cahaya (visible light) dengan panjang gelombang sekitar 400-800 nanometer (nm) (Prayogo, 2014:14).

Bumi merupakan benda yang bersifat seperti *black body* dan memancarkan energi cahaya pada suhu 288°K, sehingga intensitas pancaran cahaya bumi adalah W/m^2 . Matahari ditaksir memancarkan energi cahaya setara *black body* pada suhu 6000°K, sehingga intensitas pancarannya adalah sebesar $73 MW/m^2$ (Lakitan, 1997:67).

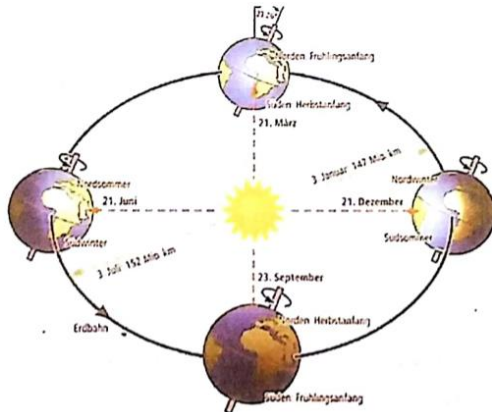


Gambar 2.1 Hubungan antara temperature dan intensitas radiasi matahari di Kota London
Sumber : Griffiths (1966:12).

2.2 Radiasi Harian Matahari pada Permukaan Bumi

Radiasi harian matahari atau bias dilambangkan dengan E_0 . Nilai E_0 fruktatif berisar antara $1325 W/m^2$ dan $1420 W/m^2$. Nilai rata-rata E_0 dapat disebut dengan konstanta solar,

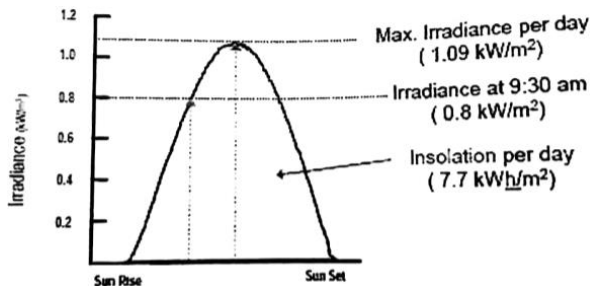
yaitu 1367 W/m^2 . Kejadian radiasi tenaga surya di bumi disebut dengan radiasi global. Nilai tahunan radiasi global bervariasi tergantung dari lokasi (Kaub,2016:6).



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 W/m^2 merata pada seluruh permukaan bumi. Untuk daerah yang terik nilai radiasi global dapat mencapai 1400 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 biasa digunakan adalah bernilai 1000 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,2016:12).



Gambar 2.3 Nilai radiasi perhari
Sumber : Kaub (2016,p.6) .

2.3 Lama Penyinaran Matahari

Lama penyinaran matahari (sunshine duration) adalah lamanya matahari bersinar sampai permukaan bumi dalam periode satu hari yang diukur dalam jam. Periode satu hari disebut panjang hari (jangka waktu matahari berada di atas horison). Lama matahari bersinar ini dalam periode harian adalah bervariasi dari bulan ke bulan. 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). Penggunaan data ini

misalnya dalam bidang pertanian, perkebunan, karena durasi sinar matahari berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman. Kedua, dari data durasi penyinaran matahari dapat diturunkan fluksi total dari radiasi matahari yang jatuh pada permukaan horizontal dari suatu lokasi (Prawirowardoyo, 1996:102).

Beberapa penelitian menunjukkan adanya korelasi yang erat antara radiasi global dan durasi sinar matahari. Sehingga data durasi sinar matahari merupakan data yang penting dan diperlukan bagi usaha pemanfaatan energi matahari. Pengamatan durasi sinar matahari dilakukan antara jam 08.00 sampai dengan 16.00 waktu setempat sesuai dengan standar yang dipakai di Indonesia. Maksimum durasi sinar matahari harian rata-rata terdapat pada bulan-bulan Juli dan Agustus. Bulan-bulan ini merupakan pertengahan atau maksimum monsun timur di mana jumlah perawanan minimum. Minimum terdapat pada bulan Januari, ini disebabkan bulan Januari merupakan pertengahan atau maksimum monsun barat di mana jumlah perawanannya besar (Prawirowardoyo, 1996:99).

2.4 Data

Data adalah sesuatu yang diketahui dari berbagai hal atau kejadian secara nyata atau merupakan hasil pengamatan. Data terbagi menjadi beberapa jenis, yaitu:

1. Berdasarkan Sifat
 - Data Kualitatif adalah data yang tidak berbentuk angka dan lebih bersifat pernyataan
 - Data Kuantitatif adalah data yang berbentuk angka-angka
2. Berdasarkan Sumber
 - Data *Internal* adalah data yang menggambarkan keadaan suatu perusahaan atau organisasi.
 - Data *Eksternal* adalah data yang menggambarkan keadaan di luar suatu organisasi yang dapat memengaruhi hasil kerja organisasi tersebut.
3. Berdasarkan Cara Memperoleh
 - Data Primer adalah data yang dikumpulkan sendiri oleh perorangan atau suatu organisasi secara langsung dari hasil pengamatan objek yang diteliti.
 - Data Sekunder adalah 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* adalah data yang dikumpulkan pada suatu waktu tertentu saja (*at a point of time*).
- Data Berkala (*time series*) adalah data yang dikumpulkan pada rentang waktu tertentu untuk menggambarkan pertumbuhan suatu objek.

2.5 Metode 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 dengan:

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

Penelitian ini terdiri atas satu variabel bebas Y dan tiga variabel X yaitu X_1, X_2, X_3 . Maka persamaan Regresi Linier Bergandanya adalah :

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

Nilai koefisien b_0, b_1, b_2 dan b_3 dapat diperoleh dengan metode kuadrat terkecil (*least squares method*),

Kemudian persamaan diatas dideferensialkan terhadap masing-masing koefisien b_0, b_1, b_2 dan b_3 maka diperoleh persamaan-persamaan berikut :

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

$$\sum_{i=1}^n X_{1i}Y_i = b_0 \sum_{i=1}^n X_{1i} + b_1 \sum_{i=1}^n X_{1i}^2 + b_2 \sum_{i=1}^n X_{1i}X_{2i} + b_3 \sum_{i=1}^n X_{1i}X_{3i} \dots\dots (2-4)$$

$$\sum_{i=1}^n X_{2i}Y_i = b_0 \sum_{i=1}^n X_{2i} + b_1 \sum_{i=1}^n X_{1i}X_{2i} + b_2 \sum_{i=1}^n X_{2i}^2 + b_3 \sum_{i=1}^n X_{2i}X_{3i} \dots\dots\dots (2-5)$$

$$\sum_{i=1}^n X_{3i}Y_i = b_0 \sum_{i=1}^n X_{3i} + b_1 \sum_{i=1}^n X_{1i}X_{3i} + b_2 \sum_{i=1}^n X_{2i}X_{3i} + b_3 \sum_{i=1}^n X_{3i}^2 \dots\dots\dots (2-6)$$

(Sugiyono, 2007:286-294).

2.6 Dasar-Dasar Logika Fuzzy

Untuk memahami logika fuzzy, sebelumnya perhatikan dahulu tentang konsep himpunan fuzzy. Himpunan fuzzy memiliki 2 artibut, yaitu:

1. Linguistik, yaitu nama suatu kelompok yang mewakili suatu keadaan tertentu dengan menggunakan bahasa alami, misalnya DINGIN, SEJUK, PANAS mewakili variabel temperatur. Contoh lain misalnya MUDA, PAROBAYA, TUA, mewakili variabel umur
2. Numeris, yaitu suatu nilai yang menunjukkan ukuran dari suatu variabel, misalnya 10, 35, 40, dan sebagainya.

Di samping itu, ada beberapa hal yang harus dipahami dalam memahami logika fuzzy, yaitu:

1. Variabel fuzzy, yaitu variabel yang akan dibahas dalam suatu sistem fuzzy. Contoh : penghasilan, temperatur, permintaan, umur, dan sebagainya.
2. Himpunan fuzzy, yaitu suatu kelompok yang mewakili suatu keadaan tertentu dalam suatu variabel fuzzy.
3. Semesta pembicaraan, yaitu seluruh nilai yang diizinkan untuk dioperasikan dalam suatu variabel fuzzy.

Contoh :

Semesta pembicaraan untuk variabel permintaan: $[0 +\infty]$

Semesta pembicaraan untuk variabel temperatur: $[-10 90]$

4. Domain himpunan fuzzy, yaitu seluruh nilai yang diizinkan dalam semesta pembicaraan dan boleh dioperasikan dalam suatu himpunan fuzzy, di atas domain untuk himpunan turun dan himpunan NAIK masing-masing adalah:

Domain himpunan TURUN = $[0 5000]$

Domain himpunan NAIK = $[1000 +\infty]$

(Sutojo, 2011:212-213).

2.7 Cara Kerja Logika Fuzzy Metode Sugeno

Bila output dari penalaran dengan metode mamdani berupa himpunan fuzzy, tidak demikian dengan metode SUGENO. Dalam metode Sugeno, output output sistem berupa konstanta atau persamaan *Linier*. Metode ini diperkenalkan oleh Takagi-Sugeno Kang pada 1985.

Secara umum bentuk model fuzzy SUGENO adalah:

$$\text{If } (x_1 \text{ is } A_1) \dots (x_N \text{ is } A_N) \text{ THEN } z_1 = z = f(x, y)$$

Catatan :

A_1, A_2, \dots, A_N , adalah himpunan fuzzy ke-i sebagai anteseden

$Z = f(x, y)$ adalah fungsi tegas (biasanya merupakan fungsi linier dari x dan y)

Misalkan diketahui 2 buah rule berikut :

$$R_1 : \text{IF } X \text{ is } A_1 \text{ AND } Y \text{ is } B_1 \text{ THEN } z_1 = p_1x + q_1y + r_1$$

$$R_2 : \text{IF } X \text{ is } A_2 \text{ AND } Y \text{ is } B_2 \text{ THEN } z_2 = p_2x + q_2y + r_2$$

Dalam inferensinya, metode Sugeno menggunakan tahapan berikut.

1. Fuzzyfikasi
2. Pembentukan basis pengetahuan Fuzzy (Rule dalam bentuk IF ... THEN)
3. Mesin inferensi

Menggunakan fungsi implikasi MIN untuk mendapatkan nilai α -predikat tiap-tiap rule ($\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots \alpha_n$).

Kemudian masing-masing nilai α -predikat ini digunakan untuk menghitung keluaran hasil inferensi secara tegas (crisp) masing-masing rule ($z_1, z_2, z_3, \dots z_n$).

4. Defuzzyfikasi

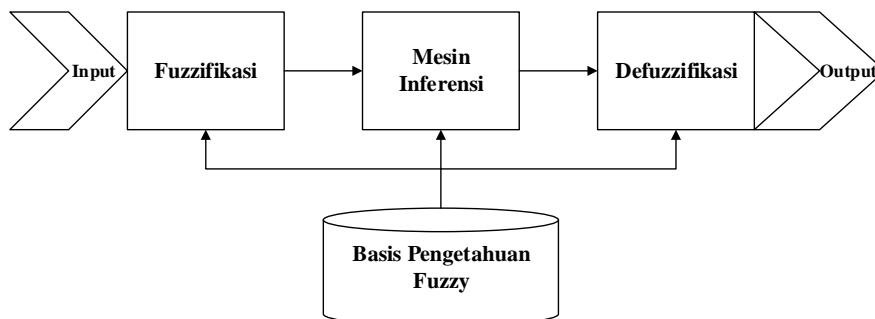
Menggunakan metode Rata-Rata (Average)

$$z^* = \frac{\sum a_i z_i}{\sum a_i} \dots\dots\dots (2-7)$$

menunjukkan skema penalaran fungsi implikasi MIN atau PRODUCT dan proses defuzzyfikasi dilakukan dengan cara mencari nilai rata-ratanya (Sutojo et al, 2011, pp. 237-238).

Pentingnya memahami cara kerja logika fuzzy, dapat dilihat pada gambar 2.13 yang menampilkan bagaimana struktur sistem inferensi fuzzy dalam bekerja. Berikut merupakan penjelasan dari setiap step yang ditampilkan pada gambar.

- Basis Pengetahuan Fuzzy : merupakan kumpulan rule fuzzy dalam bentuk pernyataan IF ... THEN.
- Fuzzyfikasi : proses mengubah input sistem yang mempunyai nilai tegas menjadi variabel linguistik/numerik menggunakan fungsi keanggotaan yang disimpan dalam basis pengetahuan fuzzy.
- Mesin Inferensi: proses untuk mengubah input fuzzy menjadi output fuzzy dengan cara mengikuti aturan-aturan (IF-THEN Rules) yang telah ditetapkan pada basis pengetahuan fuzzy.
- Defuzzyfikasi: mengubah output fuzzy yang diperoleh dari mesin inferensi menjadi nilai tegas menggunakan fungsi keanggotaan yang sesuai dengan saat dilakukan fuzzyfikasi.



Gambar 2.4 Struktur Sistem Inferensi Fuzzy
 Sumber : Sutojo. (2011)

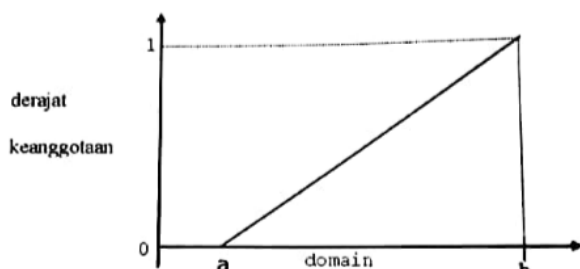
2.8 Fungsi Keanggotaan Himpunan Fuzzy

Fungsi keanggotaan adalah grafik yang mewakili besar dari derajat keanggotaan masing-masing variabel input yang berada dalam interval antara 0 dan 1. Derajat keanggotaan sebuah variabel x dibandingkan dengan simbol $\mu(x)$. *Rule-rule* menggunakan nilai keanggotaan sebagai faktor bobot untuk menentukan pengaruhnya pada saat melakukan inferensi untuk menarik kesimpulan. Ada beberapa fungsi keanggotaan yang sering digunakan diantaranya adalah :

2.8.1 Grafik keanggotaan Kurva *Linier*

Pada grafik keanggotaan *Linier*, sebuah variabel input dipetakan ke derajat keanggotaannya dengan digambar sebagai suatu garis lurus.

Ada 2 grafik keanggotaan *Linier*. Pertama, grafik keanggotaan kurva *Linier* naik, yaitu menaikkan himpunan fuzzy dimulai pada nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan nol [0] bergerak ke kanan menuju ke nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan lebih tinggi (Gambar 2.4)

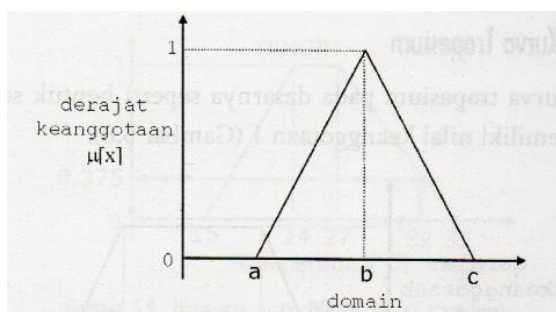


Gambar 2.5 Grafik Keanggotaan kurva linier naik
Sumber : Sutojo. (2011)

$$\text{Keanggotaan: } \mu(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{(x-a)}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 1, & x = b \end{cases}$$

2.8.2 Grafik keanggotaan Kurva Segitiga

Grafik keanggotaan kurva segitiga pada dasarnya merupakan gabungan antara 2 garis (*Linier*) seperti terlihat pada Gambar 2.5

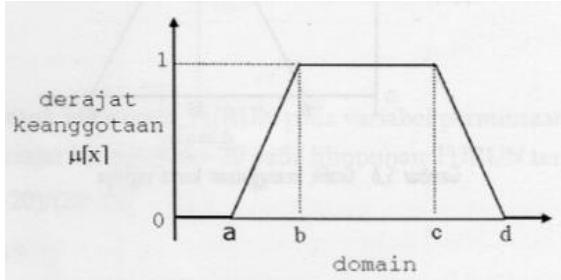


Gambar 2.6 Grafik keanggotaan kurva segitiga
Sumber : Sutojo. (2011)

$$\text{Fungsi keanggotaan: } \mu(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \text{ atau } x \geq c \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{b-x}{c-b}, & b \leq x \leq c \end{cases}$$

2.8.3 Grafik keanggotaan Kurva Trapesium

Grafik keanggotaan kurva trapesium pada dasarnya seperti bentuk segitiga, hanya saja ada beberapa titik yang memiliki nilai keanggotaan 1 (Gambar 2.6).



Gambar 2.7 Grafik keanggotaan kurva trapesium
Sumber : Sutojo. (2011)

$$\text{Fungsi Keanggotaan : } \mu(x) = \begin{cases} 0; & x \leq a \text{ atau } x \geq d \\ \frac{x-a}{b-a}; & a \leq x \leq b \\ 1; & b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}; & c \leq x \leq d \end{cases}$$

2.8.4 Grafik Kurva Bentuk Lonceng (Bell Curve)

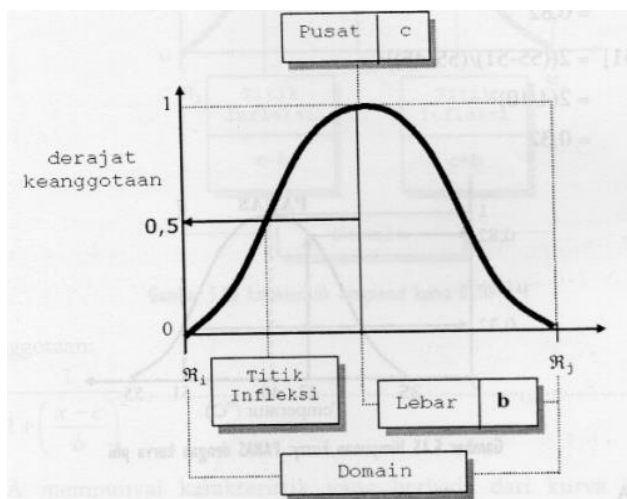
Selain kurva-kurva di atas, kurva berbentuk lonceng juga bisa digunakan untuk merepresentasikan bilangan fuzzy. Kurva ini terbagi menjadi 3, yaitu kurva PI, kurva beta, dan kurva Gauss. Ketiganya dibedakan oleh gradien yang dibnetuknya.

2.8.4.1 Kurva PI

Pada kurva PI derajat keanggotaan 1 terletak pada pusat domain (c) dan mempunyai lebar kurva (b) (Gambar 2.10).

$$\text{Fungsi Keanggotaan: } \mu(x, b, c) = \begin{cases} S\left(x; c - b, c - \frac{b}{2}, c\right) \rightarrow x \leq c \\ 1 - S\left(x; c, c + \frac{b}{2}, c + b\right) \rightarrow x > c \end{cases}$$

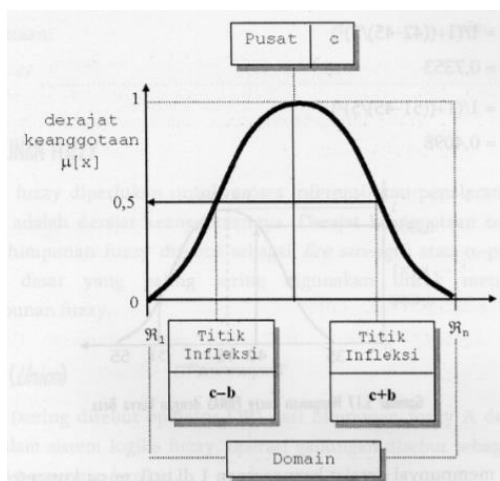
Kurva BETA mempunyai karakteristik yang berbeda dari kurva PI, yaitu fungsi keanggotaannya akan mendekati nol hanya jika nilai (b) sangat besar.



Gambar 2.8 Karakteristik fungsional kurva PI
Sumber : Sutojo (2011)

2.8.4.2 Kurva BETA

Pada kurva BETA, derajat keanggotaan 1 juga terletak pada pusat domain (c), mempunyai setengah lebar kurva (b), dan titik infleksi pada $(c-b)$ dan $(c+b)$ (Gambar 2.11).



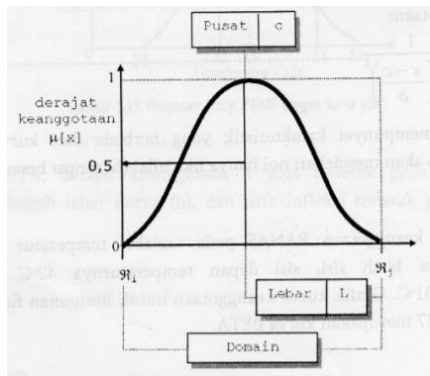
Gambar 2.9 Karakteristik fungsional kurva BETA
Sumber : Sutojo. (2011)

$$\text{Fungsi keanggotaan: } B(x; c, b) = \frac{1}{1 + \left(\frac{x-c}{b}\right)^2}$$

2.8.4.3 Kurva GAUSS

Kurva GAUSS mempunyai derajat keanggotaan 1 di titik pusat kurva (c) dan lebar kurva (L) yang ditunjukkan oleh Gambar 2.12.

$$\text{Fungsi Keanggotaan: } G(x; L, c) = e^{-L(c-x)^2} \text{ (Sutojo, 2011:213-227).}$$



Gambar 2.10 Karakteristik fungsional kurva GAUSS
 Sumber : Sutojo. (2011)

2.9 ANFIS

Model *Fuzzy* dapat digunakan sebagai pengganti dari *perceptron* dengan banyak lapisan. Dalam hal ini, sistem dapat dibagi menjadi 2 grup, yaitu satu grup berupa jaringan syaraf dengan bobot-bobot *fuzzy* dan fungsi aktivasi *fuzzy*, dan grup lainnya berupa jaringan syaraf dengan input yang difuzzykan pada lapisan pertama atau ke dua, namun bobot-bobot pada jaringan syaraf tersebut tidak difuzzykan. *Neuro fuzzy* termasuk kelompok yang ke dua (Osowski, 2002)

ANFIS (*Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* atau *Adaptive Network-based Fuzzy Inference System*) adalah arsitektur yang secara fungsional sama dengan *fuzzy rule base model* Sugeno. Arsitektur ANFIS juga sama dengan jaringan syaraf dengan fungsi radial dengan sedikit batasan tertentu. Bisa dikatakan bahwa ANFIS adalah suatu metode yang mana dalam melakukan penyetelan aturan digunakan algoritma pembelajaran terhadap sekumpulan data. Pada ANFIS juga memungkinkan aturan-aturan untuk beradaptasi.

Agar jaringan dengan fungsi basis radial ekuivalen dengan fuzzy berbasis aturan model Sugeno orde 1 ini, diperlukan batasan:

- a. Aturan-aturan harus memiliki metode agregasi yang sama (rata-rata terbobot atau penjumlahan terbobot) untuk menghasilkan semua outputnya.
- b. Jumlah fungsi aktivasi harus sama dengan jumlah aturan fuzzy (IF-THEN).
- c. Jika ada beberapa input pada basis aturannya, maka tiap-tiap fungsi aktivasi harus sama dengan fungsi keanggotaan tiap-tiap inputnya.
- d. Fungsi aktivasi dan aturan-aturan fuzzy harus memiliki fungsi yang sama untuk neuron-neuron dan aturan-aturan yang ada di sisi outputnya (Kusumadewi & Hartati, 2010).

2.10 Arsitektur ANFIS

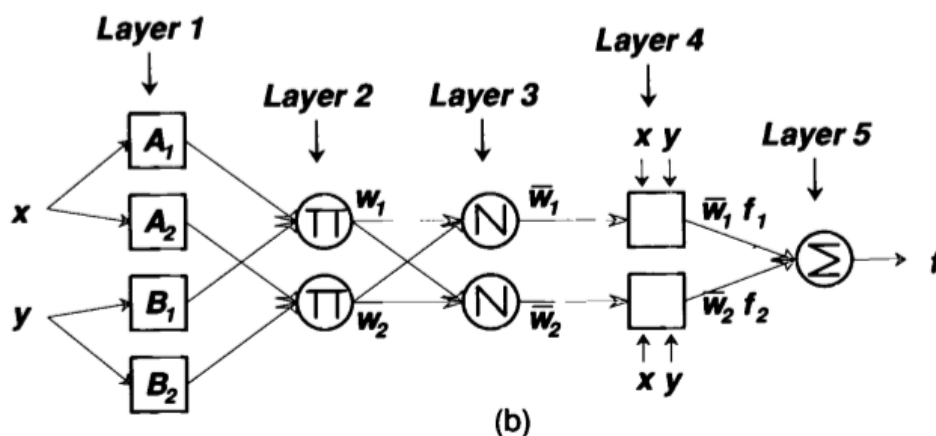
Misalkan ada 2 input x_1, x_2 dan satu output y , Ada 2 aturan pada basis aturan model Sugeno (Jang, 1997) :

If x_1 is A_1 and x_2 is B_1 Then $y_1 = c_{11}x_1 + c_{12}x_2 + c_{10}$

If x_1 is A_2 and x_2 is B_2 Then $y_2 = c_{21}x_1 + c_{22}x_2 + c_{20}$

Jika α predikat untuk aturan ke dua aturan adalah w_1 dan w_2 , maka dapat dihitung rata-rata terbobot:

$$y = \frac{w_1 y_1 + w_2 y_2}{w_1 + w_2} = \bar{w}_1 y_1 + \bar{w}_2 y_2 \dots \dots \dots (2-8)$$



Gambar 2.11 Arsitektur Jaringan ANFIS
 Sumber : Jang. (1997)

Jaringan ANFIS (Gambar 2.13) terdiri dari lapisan-lapisan sebagai berikut (Jang, 1997):

- a. Tiap-tiap neuron i pada lapisan pertama adaptif terhadap parameter suatu fungsi aktivasi. Output dari tiap neuron berupa derajat keanggotaan yang diberikan oleh fungsi keanggotaan input, yaitu: $\alpha A_1(x_1), \alpha B_1(x_2), \alpha A_2(x_1)$ atau $\alpha B_2(x_2)$. Sebagai contoh, misalkan fungsi keanggotaan diberikan sebagai:

$$\mu(x) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x-c}{a} \right|^{2b}} \dots \dots \dots (2-9)$$

di mana (a,b,c) adalah parameter-parameter, biasanya $b = 1$. Jika nilai parameter-parameter ini berubah, maka bentuk kurva yang terjadi pun akan ikut berubah. Parameter-parameter pada lapisan itu biasanya dikenal dengan nama *premise parameters*.

- b. Tiap-tiap neuron pada lapisan ke dua berupa neuron tetap yang outputnya adalah hasil dari masukan. Biasanya digunakan operator AND. Tiap-tiap node merepresentasikan α predikat dari aturan ke- i

- c. Tiap-tiap neuron pada lapisan ke tiga berupa node tetap yang merupakan hasil penghitungan rasio dari α predikat (w), dari aturan ke-i terhadap jumlah dari keseluruhan α predikat.

$$\bar{w}_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2}, \text{ dengan } i = 1, 2$$

Hasil ini dikenal dengan nama *normalised firing strength*.

- d. Tiap-tiap neuron pada lapisan ke empat merupakan node adaptif terhadap suatu output.

$$\bar{w}_i y_i = \bar{w}_i (c_{i1} x_1 + c_{i2} x_2 + c_{i0}); \text{ dengan } i = 1, 2$$

Dengan \bar{w}_i adalah *normalised firing strength* pada lapisan ke tiga dan $\{c_{i1}, c_{i2}, c_{i0}\}$ adalah parameter-parameter pada neuron tersebut. Parameter-parameter pada lapisan tersebut disebut dengan nama *consequent parameters*.

- e. Tiap-tiap neuron pada lapisan ke lima adalah node tetap yang merupakan jumlahan dari semua masukan. (Kusumadewi & Hartati, 2010)

2.11 Aturan Pembelajaran ANFIS

Metode pembelajaran (learning) yang digunakan dalam ANFIS ini adalah Hybrid Learning Rules, jika *premise* parameter tetap maka *output* total dapat dianggap kombinasi *Linier* dari parameter konsekwen, sehingga diperoleh persamaan output:

$$f = \frac{w_1}{w_1 + w_2} f_1 + \frac{w_2}{w_1 + w_2} f_2 \dots\dots\dots (2-10)$$

$$= \bar{w}_1 (p_1 x + q_1 y + r_1) + \bar{w}_2 (p_2 x + q_2 y + r_2) \dots\dots\dots (2-11)$$

$$= (\bar{w}_1 x) p_1 + (\bar{w}_1 y) q_1 + (\bar{w}_1) r_1 + (\bar{w}_2 x) p_2 + (\bar{w}_2 y) q_2 + (\bar{w}_2) r_2 \dots\dots\dots (2-12)$$

Dimana parameter-parameter konsekwen $p_1, q_1, r_1, p_2, q_2, r_2$ adalah linier.

\bar{w}_i = kekuatan tembakan normal

w_i = nilai derajat keanggotaan

p_1 = *consequent parameter* pada masukan x ke-i

q_1 = *consequent parameter* pada masukan ke y-i

r_1 = *consequent parameter* yang bertindak sebagai konstanta ke-i

x dan y = masukan

f_i = aturan ke-i

Dari sini diperoleh :

S = himpunan parameter total

S_1 = himpunan *premise parameter* (non-Linier)

S_2 = himpunan *consequent parameter* (Linier)

$$y = \frac{w_1}{w_1 + w_2} y_1 + \frac{w_2}{w_1 + w_2} y_2 = \bar{w}_1 (c_{11} x_1 + c_{12} x_2 + c_{10}) + \bar{w}_2 (c_{21} x_1 + c_{22} x_2 + c_{20});$$

$$= (\bar{w}_1 x_1) c_{11} + (\bar{w}_1 x_2) c_{12} + \bar{w}_1 c_{10} + (\bar{w}_2 x_1) c_{21} + (\bar{w}_2 x_2) c_{22} + \bar{w}_2 c_{20}; \quad (2-13)$$

Adalah *Linier* terhadap parameter c_{ij} ($i=1,2$ dan $j=0,1,2$).

Algoritma hybrid akan mengatur parameter-parameter c_{ij} secara maju (*forward*) dan akan mengatur parameter-parameter $\{a_i, b_i, c_i\}$ secara mundur (*backward*).

Pada saat *forward pass*, output bergerak maju hingga layer 4 dan parameter konsekwen ditentukan dengan metode *Least Square Estimator* (LSE), sedang pada saat *backward pass*, sinyal *error* diumpan-balikkan guna memperbaiki parameter premise dengan menggunakan metode *Gradient Descent* (GD).

Pada langkah maju (*forward*), input jaringan akan merambat maju sampai pada Lapisan ke empat, di mana parameter-parameter akan diidentifikasi dengan menggunakan metode least-square. Sedangkan pada langkah mundur (*backward*), *error* sinyal akan merambat mundur dan parameter-parameter $\{a,b,c\}$ akan diperbaiki dengan menggunakan metode *gradient-descent* (Jang, 1997).

Pada akhirnya dapat ditentukan nilai optimum dan parameter konsekwen pada saat parameter *premise* bernilai tetap, sedang nilai optimum parameter premise ditentukan pada saat parameter konsekwen bernilai tetap (Kusumadewi & Hartati, 2010).

2.12 Perhitungan Error

Root mean square error (RMSE) digunakan sebagai standar untuk mengukur kinerja model dalam penelitian meteorologi, kualitas udara, dan penelitian tentang iklim.

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n e_i^2} \dots\dots\dots (2-14)$$

Kesalahan mutlak rata-rata (MAE) merupakan standar ukuran lain yang bermanfaat dimana banyak digunakan dalam mengevaluasi model peramalan. MAE juga memberikan bobot yang sama untuk semua kesalahan, RMSE menghukum varians karena memberikan kesalahan dengan nilai absolut yang lebih besar lebih erat daripada kesalahan dengan nilai absolut yang lebih kecil.

$$\text{MAE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |e_i| \dots\dots\dots (2-15)$$

Metrik statistik terbaik seharusnya tidak hanya menyediakan ukuran kinerja tetapi juga representasi dari distribusi kesalahan. MAE cocok untuk menggambarkan kesalahan terdistribusi seragam. Karena kesalahan model cenderung memiliki distribusi normal daripada distribusi seragam, RMSE adalah metrik yang lebih baik untuk menyajikan daripada MAE untuk jenis data seperti itu (Chai & Draxler, 2014).

