

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

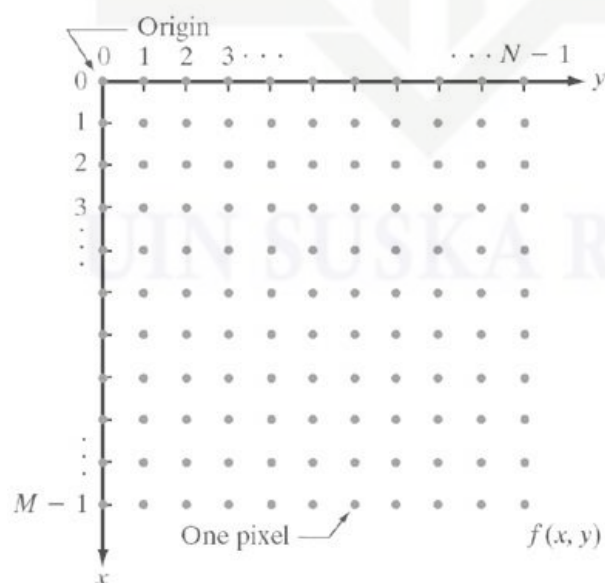
BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Pengolahan Citra Digital

Istilah pengolahan citra digital menyatakan pemrosesan gambar dua dimensi melalui komputer digital (Jain, 1989). Menurut (Efford, 2000), pengolahan citra adalah istilah umum untuk berbagai teknik yang berfungsi untuk memanipulasi dan memodifikasi citra dengan berbagai cara. Foto adalah salah satu contoh gambar dua dimensi yang dapat diolah dengan mudah. Setiap foto dalam bentuk citra digital dapat diolah menggunakan perangkat lunak tertentu. Pengolahan citra merupakan bagian penting yang mendasari berbagai aplikasi nyata, seperti pengenalan pola, penginderaan jarak jauh melalui satelit, dan *machine vision*.

Citra digital merupakan sebuah larik (*array*) yang berisi nilai-nilai *real* atau kompleks yang direpresentasikan dengan deretan bit tertentu (Putra, 2010). Suatu citra dapat didefinisikan sebagai fungsi $f(x, y)$ berukuran M baris dan N kolom, di mana x dan y adalah koordinat spasial, dan amplitudo f di titik koordinat (x, y) dinamakan intensitas atau tingkat keabuan dari citra pada titik tersebut. Apabila nilai x , y , dan amplitudo f secara keseluruhan berhingga (*finite*) dan bernilai diskrit, maka dapat dikatakan bahwa citra tersebut adalah citra digital.



Gambar 2.1 Koordinat Citra Digital

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Citra digital dapat ditulis dalam bentuk matriks sebagai berikut.

$$f(x, y) = \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \dots & f(0, N - 1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \dots & f(1, N - 1) \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ f(M - 1,0) & f(M - 1,1) & \dots & f(M - 1, N - 1) \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

Keterangan:

$f(x, y)$ = Matriks citra digital

M = Baris

N = Kolom

2.1.1 Prinsip Dasar Pengolahan Citra Digital

Pengolahan citra digital telah banyak digunakan dalam aplikasi nyata seperti pengenalan pola, penginderaan jarak jauh, dan *machine vision*. Pada pengenalan pola, pengolahan citra berperan sebagai pemisah antara objek dan latar belakang secara otomatis yang kemudian akan dilakukan proses pengklasifikasian pola. Pada penginderaan jarak jauh, tekstur atau warna pada citra dapat digunakan untuk mengidentifikasi objek yang terdapat pada citra. Pada *machine vision*, pengolahan citra berperan untuk mengenali bentuk khusus yang dilihat oleh mesin. Aplikasi pada pengolahan citra digital tersebut menggunakan prinsip-prinsip dasar dalam pengolahan citra (Kadir dan Susanto, 2013). Berikut adalah prinsip dasar pada pengolahan citra digital.

1. Peningkatan Kecerahan dan Kontras

Citra yang digunakan dalam pengolahan citra digital terkadang tidak jelas karena kekurangan sinar ketika objek dibidik menggunakan kamera digital. Dengan menggunakan pengolahan citra, citra tersebut dapat diperbaiki melalui peningkatan kecerahan dan kontras.

2. Penghilangan Derau

Citra yang akan diproses seringkali dalam keadaan terdistorsi atau mengandung derau. Untuk kepentingan tertentu, derau tersebut perlu dibersihkan terlebih dahulu. Dalam pengolahan citra, derau tersebut dapat dibersihkan dengan berbagai metode.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

3. Pencarian Bentuk Objek

Pemisahan objek dan latar belakang pada citra terkadang diperlukan agar objek tersebut dapat dikenali. Salah satu pendekatan yang umum digunakan adalah penemuan batas objek berupa bagian tepi objek. Pemisahan objek dan latar belakang pada citra ini dikenal dengan sebutan segmentasi.

2.1.2 Konversi Jenis Citra

Jenis citra yang umum digunakan dalam pemrosesan citra adalah citra berwarna, citra berskala keabuan (*grayscale*), dan citra biner. Citra berwarna (citra RGB) adalah jenis citra yang menyajikan warna dalam bentuk komponen R (merah), G (hijau), B (biru) dengan masing-masing komponen warna menggunakan 8 bit. Citra berskala keabuan (*grayscale*) menangani gradasi warna hitam dan putih yang dinyatakan dengan intensitas berkisar antara 0 dan 255, di mana 0 menyatakan hitam dan 255 menyatakan putih. Citra biner adalah citra dengan setiap piksel yang hanya dinyatakan dengan dua kemungkinan nilai yaitu 0 menyatakan warna hitam dan 1 menyatakan warna putih (Kadir dan Susanto, 2013).

Konversi jenis citra berwarna ke dalam bentuk citra berskala keabuan (*grayscale*) seringkali diperlukan karena banyak pemrosesan citra yang bekerja pada skala keabuan. Namun, terkadang citra berskala keabuan (*grayscale*) perlu dikonversikan ke citra biner. Citra berwarna dapat dikonversikan ke dalam bentuk citra berskala keabuan (*grayscale*) dengan rumus berikut:

$$I = a \times R + b \times G + c \times B, a + b + c = 1 \tag{2.2}$$

Salah satu rumus yang biasa digunakan untuk konversi ke citra berskala keabuan (*grayscale*) adalah sebagai berikut:

$$I = 0,2989 \times R + 0,5870 \times G + 0,1141 \times B \tag{2.3}$$

Keterangan:

- I = Nilai *grayscale* citra
- R = Nilai komponen merah
- G = Nilai komponen hijau
- B = Nilai komponen biru

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Konversi citra berskala keabuan (*grayscale*) ke citra biner menggunakan suatu nilai yang dikenal sebagai nilai ambang (*threshold*). Nilai tersebut digunakan untuk menentukan suatu intensitas yang akan dikonversikan menjadi 0 atau 1. Secara matematis, konversi dinyatakan dengan rumus:

$$b(i) = \begin{cases} 1, & i \geq a \\ 0, & i < a \end{cases} \quad (2.4)$$

Keterangan:

$b(i)$ = Nilai biner citra pada (baris, kolom)

i = Nilai intensitas citra pada (baris, kolom)

a = Nilai ambang (*threshold*)

2.1.3 Ekstraksi Fitur Tekstur

Fitur tekstur banyak digunakan sebagai fitur untuk temu kembali citra. Hal ini karena beberapa objek mempunyai pola-pola tertentu yang bagi manusia mudah untuk dibedakan. Oleh karena itu, komputer diharapkan juga dapat mengenali sifat-sifat tersebut (Kadir dan Susanto, 2013). Pada umumnya, aplikasi tekstur dibagi menjadi dua kategori yaitu untuk kepentingan segmentasi dan klasifikasi tekstur. Berikut adalah beberapa contoh aplikasi tekstur menurut (Tuceryan dan Jain, 1998).

1. Inspeksi secara otomatis pada industri kecil, pengecatan mobil, dan pemakaian karpet.
2. Analisis citra medis, sebagai contoh klasifikasi penyakit paru-paru, diagnosis leukemia, dan pembedaan tipe darah putih.
3. Analisis penginderaan jarak jauh, sebagai contoh klasifikasi area tanah.

Metode yang digunakan untuk memperoleh fitur tekstur dapat dibedakan menjadi tiga golongan yaitu metode statistis, metode struktural, dan metode spektral. Metode statistis menggunakan perhitungan statistika untuk membentuk fitur, seperti metode GLCM dan Tamura. Metode struktural menjabarkan susunan elemen ke dalam tekstur, seperti metode *Shape Grammar*. Metode spektral adalah metode yang didasarkan pada domain frekuensi-spasial, seperti metode distribusi energi domain *Fourier*, *Gabor*, dan filter *Laws*.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

2.1.4 Ekstraksi Fitur Bentuk

Fitur bentuk merupakan suatu fitur yang diperoleh melalui bentuk objek dan dapat dinyatakan melalui kontur, area, dan transformasi (Kadir dan Susanto, 2013). Fitur bentuk biasa digunakan untuk mengidentifikasi objek. Proses ekstraksi fitur bertujuan untuk memperoleh karakteristik utama yang melekat pada suatu citra atau objek yang dapat membedakan antara satu objek dengan objek lain. Fitur-fitur suatu objek mempunyai peran yang penting untuk berbagai aplikasi berikut (Kadir dan Susanto, 2013):

1. Pencarian citra, fitur digunakan untuk mencari objek-objek tertentu yang berada di dalam *database*.
2. Penyederhanaan dan hampiran bentuk, bentuk objek dapat dinyatakan dengan representasi yang lebih ringkas.
3. Pengenalan dan klasifikasi, sejumlah fitur digunakan untuk menentukan jenis objek. Sebagai contoh, fitur citra daun digunakan untuk menentukan nama tanaman.

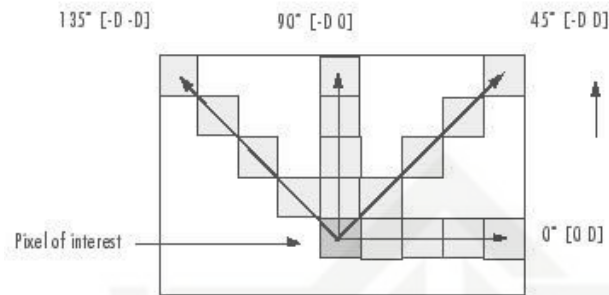
2.2 Gray Level Co-occurrence Matrix (GLCM)

Gray Level Co-occurrence Matrix (GLCM) pertama kali diusulkan oleh Haralick pada tahun 1973. GLCM menggunakan perhitungan tekstur pada orde kedua. Pengukuran tekstur pada orde pertama menggunakan perhitungan statistik yang didasarkan pada nilai piksel citra asli semata, seperti varians, dan tidak memperhatikan hubungan ketetanggaan piksel. Pada orde kedua, hubungan antar pasangan dua piksel citra asli diperhitungkan.

Misalkan, $f(x,y)$ adalah citra dengan ukuran N_x dan N_y yang memiliki piksel dengan kemungkinan hingga L level dan \vec{r} adalah vektor arah offset spasial. $GLCM_{\vec{r}}(i,j)$ didefinisikan sebagai jumlah piksel dengan $j \in 1, \dots, L$ yang terjadi pada offset \vec{r} terhadap piksel dengan nilai $i \in 1, \dots, L$ yang dapat dinyatakan dalam rumus (Newsam dan Kamath, 2005):

$$GLCM_{\vec{r}}(i,j) = \# \{ (x_1, y_1), (x_2, y_2) \in (N_x, N_y) \times (N_x, N_y) \mid f(x_1, y_1) = i, f(x_2, y_2) = j, \vec{r} = (x_2 - x_1, y_2 - y_1) \} \quad (2.5)$$

Dalam hal ini, offset \vec{r} dapat berupa sudut dan/atau jarak. Sebagai contoh, Gambar 2.2 berikut memperlihatkan empat arah untuk GLCM.



Gambar 2.2 Arah Untuk GLCM

Haralick mengusulkan beberapa besaran yang digunakan untuk mendapatkan fitur GLCM. Sebagai contoh, (Newsam dan Kamath, 2005) hanya menggunakan lima besaran untuk GLCM, berupa *Angular Second Moment (ASM)*, kontras, *Inverse Different Moment (IDM)*, entropi, dan korelasi.

ASM merupakan ukuran homogenitas citra dihitung dengan cara seperti berikut:

$$ASM = \sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^L (GLCM(i, j))^2 \quad (2.6)$$

Kontras merupakan ukuran keberadaan variasi aras keabuan piksel citra dihitung dengan cara sebagai berikut:

$$Kontras = \sum_{n=1}^L n^2 \{ \sum_{|i-j|=n} GLCM(i, j) \} \quad (2.7)$$

IDM digunakan untuk mengukur homogenitas dan dihitung dengan cara seperti berikut:

$$IDM = \sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^L \frac{(GLCM(i, j))^2}{1+(i-j)^2} \quad (2.8)$$

Entropi menyatakan ukuran ketidakteraturan aras keabuan di dalam citra. Nilai tinggi jika elemen GLCM mempunyai nilai yang relatif sama. Nilai rendah jika elemen GLCM dekat dengan nilai 0 atau 1. Rumus untuk menghitung entropi adalah sebagai berikut:

$$Entropi = - \sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^L (GLCM(i, j) \log(GLCM(i, j))) \quad (2.9)$$

Korelasi merupakan ukuran ketergantungan linear antar nilai aras keabuan dalam citra dihitung dengan cara sebagai berikut:

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

$$\text{Korelasi} = \frac{\sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^L (ij)GLCM(i,j) - \mu_i \mu_j}{\sigma_i \sigma_j} \quad (2.10)$$

dengan

$$\mu_i = \sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^L i \times GLCM(i, j) \quad (2.11)$$

$$\mu_j = \sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^L j \times GLCM(i, j) \quad (2.12)$$

$$\sigma_j^2 = \sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^L GLCM(i, j)(j - \mu_j)^2 \quad (2.13)$$

$$\sigma_i^2 = \sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^L GLCM(i, j)(i - \mu_i)^2 \quad (2.14)$$

Keterangan:

L = Jumlah level yang digunakan untuk komputasi

i = Baris

j = Kolom

$GLCM(i, j)$ = Nilai pada baris i dan kolom j pada matriks GLCM

n = Nilai absolut $i-j$

μ_i = Nilai *mean* baris ke- i

μ_j = Nilai *mean* kolom ke- j

σ_j = Nilai *varian* kolom ke- j

σ_i = Nilai *varian* baris ke- i

2.3 Fitur Morfologi Digital

Fitur morfologi digital merupakan proses untuk menghasilkan informasi morfologi dari nilai-nilai fitur berupa vektor fitur dari citra biner yang telah dilakukan deteksi tepi. Informasi morfologi digital ini merupakan informasi morfologi fisik atau bentuk dari citra objek. Ciri morfologi daun dapat diekstrak dari citra helai daun (Wu *et al.*, 2007). Ciri tersebut dapat dibedakan menjadi dua yaitu ciri dasar dan ciri turunan. Ciri dasar citra helai daun berdasarkan fitur geometris dasar, yaitu:

1. Diameter (D), didefinisikan sebagai jarak terjauh dari dua titik dari margin daun.
2. *Physiological length* (L_p), yaitu jarak antara ujung dan pangkal daun (panjang tulang daun primer).

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

3. *Physiological width* (W_p), yaitu jarak terpanjang dari garis yang memotong tegak lurus *physiological length* yang dibatasi tepi daun.
4. *Leaf area* (A), yaitu perhitungan jumlah piksel dari daerah yang dilingkupi tepi daun pada citra yang telah dihaluskan.
5. *Leaf perimeter* (P), yaitu perhitungan jumlah piksel yang terdapat pada tepi daun (keliling).

Berdasarkan lima ciri dasar di atas, dapat didefinisikan beberapa ciri morfologi digital turunan yang akan digunakan pada pengenalan daun yaitu sebagai berikut:

1. *Aspect ratio* adalah adalah rasio antara *physiological length* dan *physiological width*.

$$\text{Aspect ratio} = \frac{L_p}{W_p} \quad (2.15)$$

2. *Form factor* digunakan untuk mendeskripsikan perbedaan antara daun dan lingkaran. Ciri ini untuk mengukur seberapa bundar bentuk helai daun tersebut.

$$\text{Form factor} = \frac{4\pi A}{P^2} \quad (2.16)$$

3. *Rectangularity* digunakan untuk mendeskripsikan kemiripan antara daun dan empat persegi panjang.

$$\text{Rectangularity} = \frac{L_p W_p}{A} \quad (2.17)$$

4. *Narrow factor* adalah rasio antara diameter dan *physiological length*. Ciri ini digunakan untuk menentukan apakah bentuk helai daun tersebut tergolong simetri atau asimetri. Jika helai daun tersebut tergolong simetri maka bernilai 1, jika asimetri maka bernilai lebih dari 1.

$$\text{Narrow factor} = \frac{D}{L_p} \quad (2.18)$$

5. *Perimeter ratio of diameter* merupakan perbandingan antara perimeter daun dan diameter daun.

$$\text{Perimeter ratio of diameter} = \frac{P}{D} \quad (2.19)$$

6. *Perimeter ratio of physiological length and physiological width* adalah perbandingan perimeter daun dan total penjumlahan *physiological length* dan *physiological width*.

$$\text{Perimeter ratio of } L \text{ \& } W = \frac{P}{(L_p + W_p)} \quad (2.20)$$

Keterangan:

L_p = Nilai *physiological length* daun

W_p = Nilai *physiological width* daun

A = Nilai area daun

P = Nilai perimeter daun

D = Nilai diameter daun

π = Nilai pi (3,14)

2.4 Normalisasi Data

Normalisasi data adalah proses mengubah atau mentransformasikan data menjadi linear dengan rentang nilai dari 0 sampai 1 tanpa kehilangan karakteristik dari data tersebut. Persamaan yang digunakan untuk proses normalisasi data adalah sebagai berikut:

$$X' = \frac{X - \min(X)}{\max(X) - \min(X)} \quad (2.21)$$

Keterangan:

X' = Nilai setelah normalisasi

X = Nilai sebelum normalisasi

$\min(X)$ = Nilai minimum

$\max(X)$ = Nilai maksimum

2.5 Logika Fuzzy

Konsep logika *fuzzy* diperkenalkan oleh Prof. Lotfi Astor Zadeh pada 1962. Logika *fuzzy* adalah metodologi sistem kontrol pemecah masalah yang cocok digunakan pada sistem (Sutojo, Mulyanto dan Suhartono, 2011). Metodologi ini dapat diterapkan pada perangkat keras, perangkat lunak, atau kombinasi perangkat keras dan perangkat lunak. Hingga saat ini, *fuzzy* sudah diterapkan pada beragam sistem kontrol.

Logika klasik menyatakan segala sesuatu bersifat biner, yaitu hanya memiliki dua kemungkinan, “Ya atau Tidak”, “Benar atau Salah”, “Baik atau Buruk”, dan lain-lain. Oleh karena itu, semua ini hanya dapat mempunyai nilai keanggotaan 0 atau 1. Akan tetapi, logika *fuzzy* memungkinkan nilai keanggotaan yang berada di antara 0 dan 1. Hal ini berarti suatu keadaan bisa mempunyai dua nilai “Ya dan Tidak”, “Benar dan Salah”, “Baik dan Buruk” secara bersamaan, namun besar nilai tergantung pada bobot keanggotaan yang dimiliki.

2.5.1 Dasar-Dasar Logika Fuzzy

Konsep himpunan *fuzzy* harus diperhatikan terlebih dahulu sebelum memahami logika *fuzzy*. Himpunan *fuzzy* memiliki dua atribut yaitu:

1. Linguistik, yaitu nama suatu kelompok yang mewakili suatu keadaan tertentu dengan menggunakan bahasa alami.
2. Numeris, yaitu suatu nilai yang menunjukkan ukuran dari suatu variabel.

Berikut adalah beberapa hal yang harus diketahui dalam memahami logika *fuzzy*, yaitu:

1. Variabel *fuzzy*, yaitu variabel yang akan dibahas dalam suatu sistem *fuzzy*.
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*.
4. Domain himpunan *fuzzy*, yaitu seluruh nilai yang diizinkan dalam semesta pembicaraan dan dapat dioperasikan dalam suatu himpunan *fuzzy*.

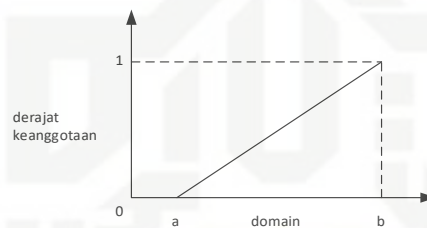
2.5.2 Fungsi Keanggotaan

Fungsi keanggotaan adalah grafik yang mewakili besar dari derajat keanggotaan masing-masing variabel *input* yang berada dalam interval antara 0 dan 1 (Sutojo, Mulyanto dan Suhartono, 2011). Derajat keanggotaan sebuah variabel x dilambangkan dengan simbol $\mu(x)$. Aturan-aturan menggunakan nilai keanggotaan sebagai faktor bobot untuk menggunakan pengaruh pada saat melakukan inferensi untuk menarik kesimpulan. Berikut adalah beberapa fungsi keanggotaan yang sering digunakan.

1. Grafik Keanggotaan Kurva Linear

Grafik keanggotaan linear menggambarkan suatu garis lurus pada sebuah variabel *input* yang memetakan derajat keanggotaan.

- a. Grafik keanggotaan kurva linear naik, yaitu kenaikan himpunan *fuzzy* dimulai pada nilai domain yang memiliki nilai derajat keanggotaan nol [0] bergerak ke kanan menuju ke nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan lebih tinggi.



Gambar 2.3 Grafik Keanggotaan Kurva Linear Naik

Fungsi keanggotaan:

$$\mu[x] = \begin{cases} 0; & x \leq a \\ (x - a)/(b - a); & a \leq x \leq b \\ 1; & x = b \end{cases} \quad (2.22)$$

Keterangan:

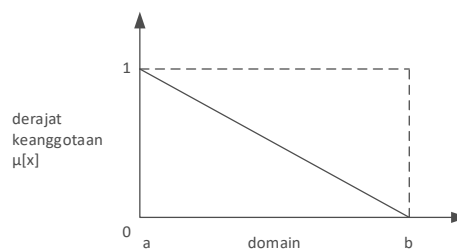
$\mu[x]$ = Nilai derajat keanggotaan variabel x

x = Nilai *input* yang akan diubah ke dalam bilangan *fuzzy*

a = Nilai domain dengan derajat keanggotaan 0

b = Nilai domain dengan derajat keanggotaan 1

- b. Grafik keanggotaan kurva linear turun, yaitu himpunan *fuzzy* dimulai dari nilai domain dengan derajat keanggotaan tertinggi pada sisi kiri, kemudian bergerak menurun ke nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan lebih rendah.



Gambar 2.4 Grafik Keanggotaan Kurva Linear Turun

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Fungsi keanggotaan:

$$\mu[x] = \begin{cases} (b - x)/(b - a); & a \leq x \leq b \\ 0; & x \geq b \end{cases} \quad (2.23)$$

Keterangan:

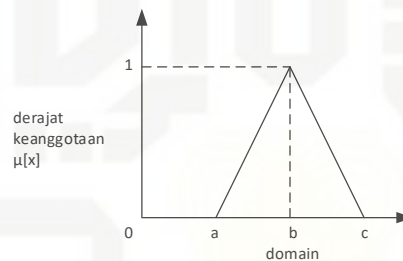
x = Nilai *input* yang akan diubah ke dalam bilangan *fuzzy*

a = Nilai domain dengan derajat keanggotaan 1

b = Nilai domain dengan derajat keanggotaan 0

2. Grafik Keanggotaan Kurva Segitiga

Grafik keanggotaan segitiga merupakan gabungan antara dua garis (linear).



Gambar 2.5 Grafik Keanggotaan Kurva Segitiga

Fungsi keanggotaan:

$$\mu[x] = \begin{cases} 0; & x \leq a \text{ atau } x \geq c \\ (x - a)/(b - a); & a \leq x \leq b \\ (b - x)/(c - b); & b \leq x \leq c \end{cases} \quad (2.24)$$

Keterangan:

x = Nilai *input* yang akan diubah ke dalam bilangan *fuzzy*

a = Nilai domain terkecil dengan derajat keanggotaan 0

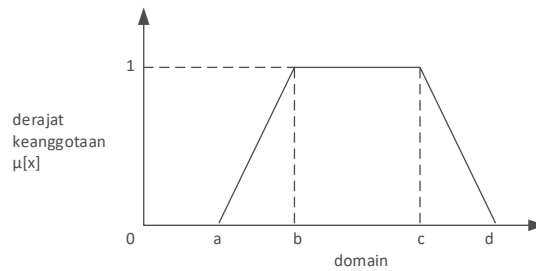
b = Nilai domain dengan derajat keanggotaan 1

c = Nilai domain terbesar dengan derajat keanggotaan 0

3. Grafik Keanggotaan Kurva Trapesium

Grafik keanggotaan kurva trapesium berbentuk seperti segitiga, hanya saja ada beberapa titik yang memiliki nilai keanggotaan 1.

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2.6 Grafik Keanggotaan Kurva Trapesium

Fungsi keanggotaan:

$$\mu[x] = \begin{cases} 0; & x \leq a \text{ atau } x \geq d \\ (x - a)/(b - a); & a \leq x \leq b \\ 1; & b \leq x \leq c \\ (d - x)/(d - c); & c \leq x \leq d \end{cases} \quad (2.25)$$

Keterangan:

x = Nilai *input* yang akan diubah ke dalam bilangan *fuzzy*

a = Nilai domain terkecil dengan derajat keanggotaan 0

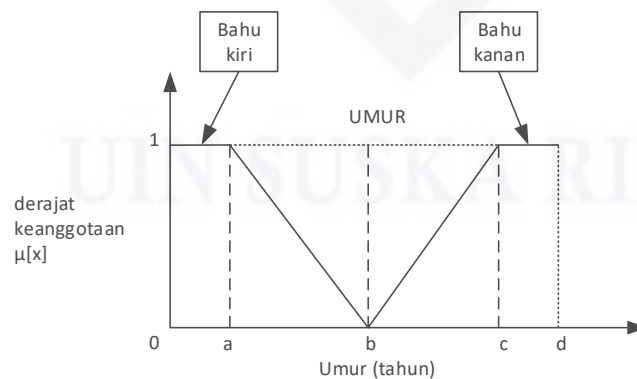
b = Nilai domain terkecil dengan derajat keanggotaan 1

c = Nilai domain terbesar dengan derajat keanggotaan 1

d = Nilai domain terbesar dengan derajat keanggotaan 0

4. Grafik Keanggotaan Kurva Bentuk Bahu

Grafik keanggotaan kurva “bahu” digunakan untuk mengakhiri variabel suatu daerah *fuzzy* yang memiliki nilai derajat keanggotaan konstan (biasanya 1).



Gambar 2.7 Grafik Keanggotaan Kurva "Bahu" pada Variabel Umur

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

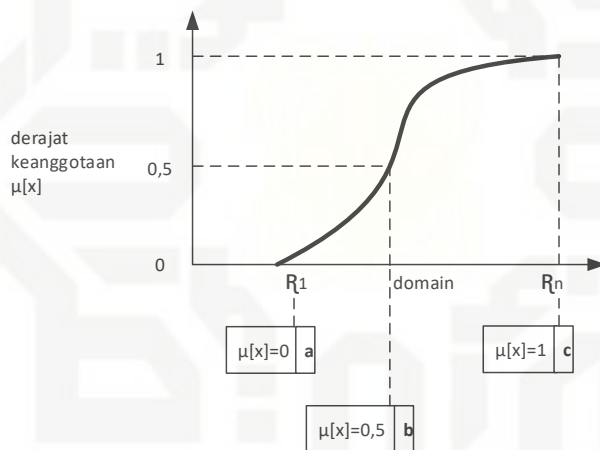
Fungsi keanggotaan:

$$\mu[x] = \begin{cases} 1; & 0 \leq x \leq a \text{ atau } c \leq x \leq d \\ (b-x)/(b-a); & a \leq x \leq b \\ (x-b)/(c-b); & b \leq x \leq c \end{cases} \quad (2.26)$$

5. Grafik Keanggotaan Kurva S (*Sigmoid*)

Grafik keanggotaan kurva S memiliki bentuk seperti huruf “S” yang mempunyai ukuran yang diletakkan oleh parameter a , b , dan c . Titik b disebut titik infleksi, yaitu titik yang mempunyai derajat keanggotaan 0,5.

- a. Kurva-S PERTUMBUHAN, yaitu kurva yang bergerak mulai dari kiri dengan derajat keanggotaan 0, menuju ke kanan dengan derajat keanggotaan 1.



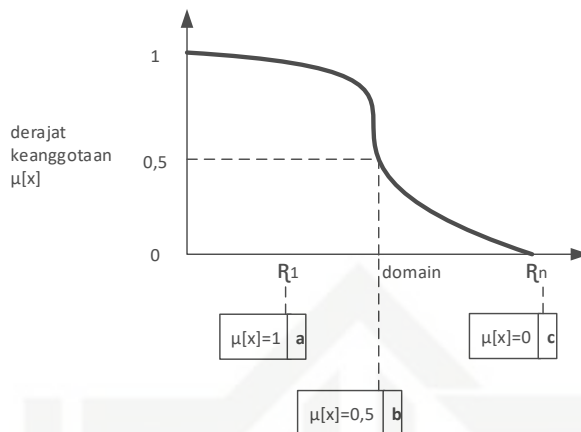
Gambar 2.8 Grafik Keanggotaan Kurva-S PERTUMBUHAN

Fungsi keanggotaan:

$$\mu(x; a, b, c) = \begin{cases} 0 & \rightarrow x \leq a \\ 2((x-a)/(c-a))^2 & \rightarrow a \leq x \leq b \\ 1 - 2((c-x)/(c-a))^2 & \rightarrow b \leq x \leq c \\ 1 & \rightarrow x \geq c \end{cases} \quad (2.27)$$

- b. Kurva-S PENYUSUTAN, yaitu kurva yang bergerak mulai dari kiri dengan derajat keanggotaan 1, menuju ke kanan dengan derajat keanggotaan 0.

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2.9 Grafik Keanggotaan Kurva-S PENYUSUTAN

Fungsi keanggotaan:

$$S(x; a, b, c) = \begin{cases} 1 & \rightarrow x \leq a \\ 1 - 2((x - a)/(c - a))^2 & \rightarrow a \leq x \leq b \\ 2((c - x)/(c - a))^2 & \rightarrow b \leq x \leq c \\ 0 & \rightarrow x \geq c \end{cases} \quad (2.28)$$

Keterangan:

x = Nilai *input* yang akan diubah ke dalam bilangan *fuzzy*

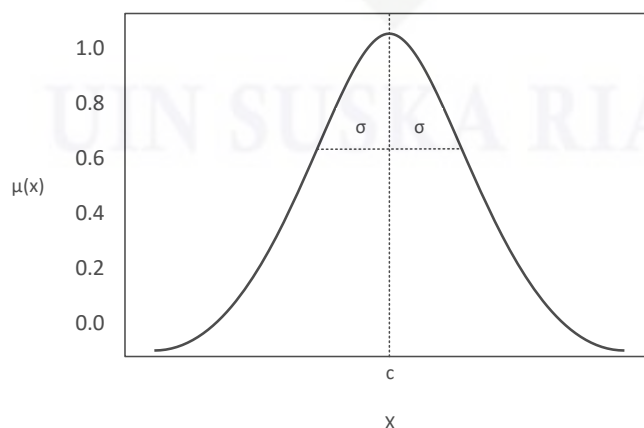
a = Nilai keanggotaan 0

b = Titik infleksi atau *crossover*

c = Nilai keanggotaan lengkap

6. Gaussian (*gaussmf*)

Fungsi keanggotaan gaussian (*gaussmf*) memiliki bentuk kurva seperti lonceng. Fungsi keanggotaan ini dicirikan oleh parameter c dan σ .



Gambar 2.10 Grafik Keanggotaan Gaussian

Fungsi keanggotaan:

$$f(x; c, \sigma) = e^{-\frac{(x-c)^2}{2\sigma^2}} \quad (2.29)$$

Keterangan:

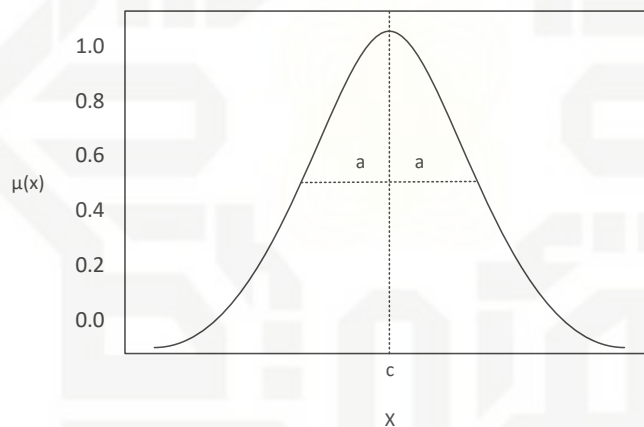
x = Nilai *input* yang akan diubah ke dalam bilangan *fuzzy*

c = Nilai tengah (*mean*)

σ = Simpangan baku (*spread*)

7. Generalisasi Kurva Lonceng (*gbellmf*)

Generalized bell-shaped membership function (gbellmf) memiliki bentuk yang hampir sama dengan fungsi keanggotaan gaussian. *Gbellmf* dicirikan oleh parameter a , b , dan c di mana b bernilai positif dan c menunjukkan pusat atau nilai tengah (Handoyo dan Prasojo, 2017).



Gambar 2.11 Grafik Keanggotaan Generalisasi Kurva Lonceng

Fungsi keanggotaan:

$$f(x; a, b, c) = \frac{1}{1 + \left|\frac{x-c}{a}\right|^{2b}} \quad (2.30)$$

Keterangan:

x = Nilai *input* yang akan diubah ke dalam bilangan *fuzzy*

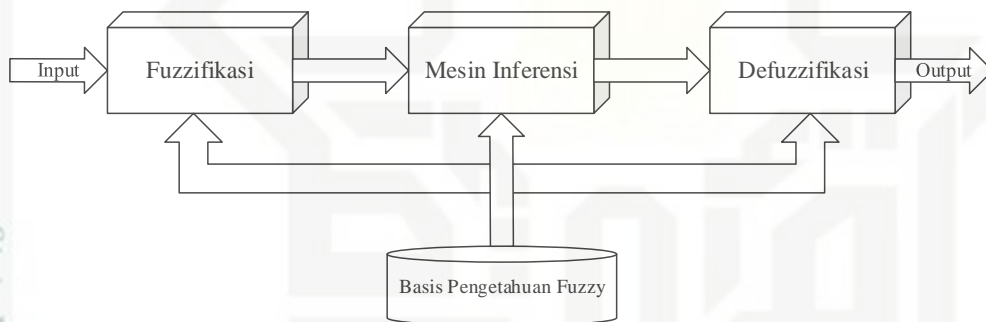
a = Lebar fungsi keanggotaan

b = Nilai bias

c = Nilai pusat fungsi keanggotaan

2.5.3 Cara Kerja Logika Fuzzy

Struktur elemen dasar sistem inferensi *fuzzy* terdiri dari basis pengetahuan *fuzzy*, fuzzyfikasi, mesin inferensi, dan defuzzyfikasi (Sutojo, Mulyanto dan Suhartono, 2011). Basis pengetahuan *fuzzy* adalah kumpulan aturan-aturan *fuzzy* dalam bentuk pernyataan *IF...THEN*. Fuzzyfikasi adalah proses untuk mengubah *input* sistem yang mempunyai nilai tegas menjadi variabel linguistik menggunakan fungsi keanggotaan yang disimpan dalam basis pengetahuan *fuzzy*. Mesin inferensi adalah proses untuk mengubah *input fuzzy* menjadi *output fuzzy* dengan cara mengikuti aturan-aturan (*IF-THEN Rules*) yang telah ditetapkan pada basis pengetahuan *fuzzy*. Defuzzyfikasi adalah proses mengubah *output fuzzy* yang diperoleh dari mesin inferensi menjadi nilai tegas menggunakan fungsi keanggotaan yang sesuai dengan saat dilakukan fuzzyfikasi. Gambar 2.12 berikut adalah struktur sistem inferensi *fuzzy*.



Gambar 2.12 Struktur Sistem Inferensi Fuzzy

Cara kerja logika *fuzzy* meliputi beberapa tahap berikut:

1. Fuzzyfikasi.
2. Pembentukan basis pengetahuan *fuzzy* (*rule* dalam bentuk *IF...THEN*).
3. Mesin inferensi (fungsi implikasi *Max-Min* atau *Dot-Product*).
4. Defuzzyfikasi, berikut contoh metode untuk melakukan defuzzyfikasi:
 - a. Metode Rata-rata (*Average*)

$$z^* = \frac{\sum \mu_i z_1}{\sum \mu_i} \quad (2.31)$$

- b. Metode Titik Tengah (*Center of Area*)

$$z^* = \frac{\int \mu(z)zdz}{\int \mu(z)dz} \quad (2.32)$$

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

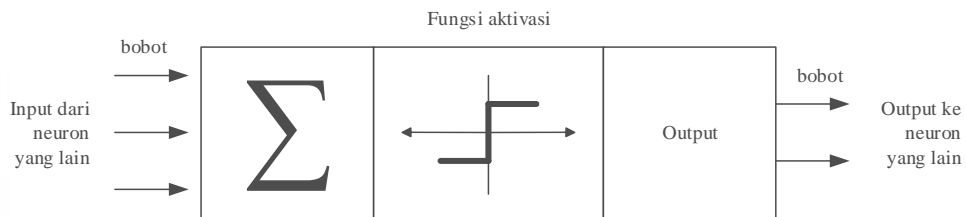
2.6 Jaringan Syaraf Tiruan

Jaringan Syaraf Tiruan (JST) merupakan suatu sistem pemrosesan informasi yang memiliki karakteristik-karakteristik menyerupai jaringan syaraf biologi (Fausett, 1994). Aplikasi JST memiliki kemampuan untuk menyimpan pengetahuan berdasarkan pengalaman dan menjadikan pengetahuan tersebut bermanfaat. Jaringan syaraf tiruan dapat melakukan komputasi terhadap semua fungsi yang dapat dihitung (*computable function*). Jaringan syaraf tiruan sangat berguna untuk klasifikasi dan permasalahan-permasalahan yang dapat menolerir ketidaktepatan, yang memiliki banyak data pelatihan, namun memiliki aturan-aturan yang tidak dapat diaplikasikan secara mudah (Desiani dan Arhami, 2006). Jaringan syaraf tiruan memiliki tiga karakteristik utama, yaitu:

1. Arsitektur jaringan, merupakan pola keterhubungan antar neuron. Keterhubungan antar neuron ini yang membentuk suatu jaringan.
2. Algoritma jaringan, merupakan metode untuk menentukan nilai bobot hubungan. Terdapat dua jenis metode yaitu metode pelatihan atau pembelajaran (memorasi) dan metode pengenalan atau aplikasi.
3. Fungsi aktivasi, merupakan fungsi untuk menentukan nilai keluaran berdasarkan nilai total masukan pada neuron. Fungsi aktivasi suatu algoritma jaringan dapat berbeda dengan fungsi aktivasi algoritma jaringan lain.

2.6.1 Komponen Jaringan Syaraf Tiruan

Jaringan syaraf tiruan terdiri dari beberapa neuron yang saling berhubungan seperti jaringan otak manusia. Neuron-neuron tersebut akan mentransformasikan informasi yang diterima melalui sambungan keluar menuju neuron yang lain. Pada JST, hubungan ini dikenal dengan nama bobot. Informasi tersebut disimpan pada suatu nilai tertentu pada bobot tersebut (Kusumadewi, 2003). Gambar 2.13 Berikut menunjukkan struktur neuron pada jaringan syaraf tiruan.



Gambar 2.13 Struktur Neuron Jaringan Syaraf Tiruan

Cara kerja neuron buatan mirip dengan sel neuron biologis. Informasi (*input*) akan dikirim ke neuron dengan bobot kedatangan tertentu. *Input* ini kemudian diproses oleh suatu fungsi perambatan yang akan menjumlahkan nilai-nilai semua bobot yang datang. Hasil penjumlahan ini kemudian akan dibandingkan dengan suatu nilai ambang (*threshold*) tertentu melalui fungsi aktivasi setiap neuron. Apabila *input* tersebut melewati suatu nilai ambang tertentu, maka neuron tersebut akan diaktifkan, namun jika tidak, maka neuron tersebut tidak diaktifkan. Apabila neuron tersebut diaktifkan, maka neuron tersebut akan mengirimkan *output* melalui bobot-bobot *output* ke semua neuron yang berhubungan.

2.6.2 Arsitektur Jaringan Syaraf Tiruan

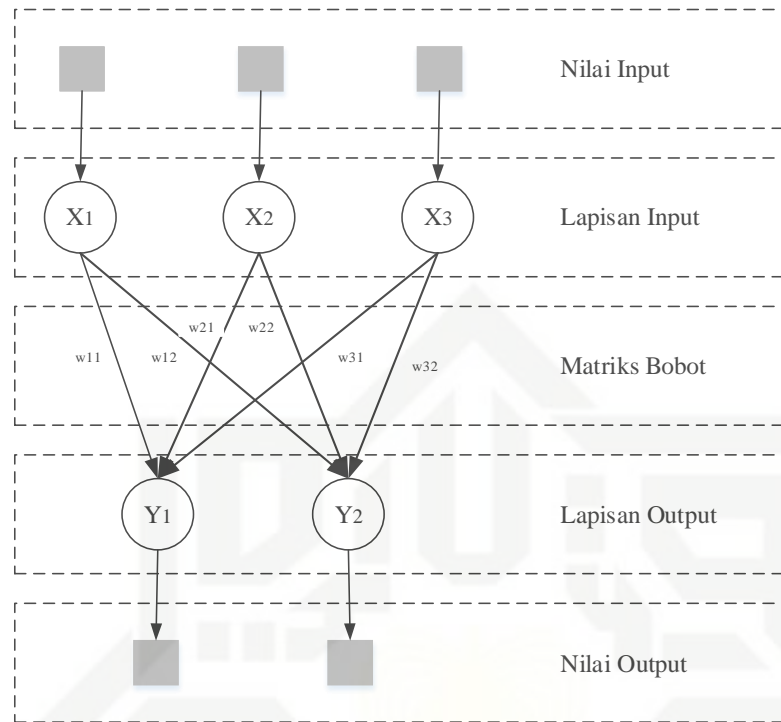
Secara umum, arsitektur JST terdiri dari beberapa lapisan, yaitu lapisan masukan (*input layer*), lapisan tersembunyi (*hidden layer*), dan lapisan keluaran (*output layer*). Masing-masing lapisan mempunyai jumlah node atau neuron yang berbeda-beda. Beberapa arsitektur jaringan syaraf tiruan antara lain:

1. Jaringan dengan Lapisan Tunggal (*Single Layer Net*)

Jaringan dengan lapisan tunggal hanya memiliki satu lapisan dengan bobot-bobot terhubung. Jaringan ini hanya menerima *input* yang kemudian secara langsung akan diolah dan menjadi *output* tanpa melalui lapisan tersembunyi.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

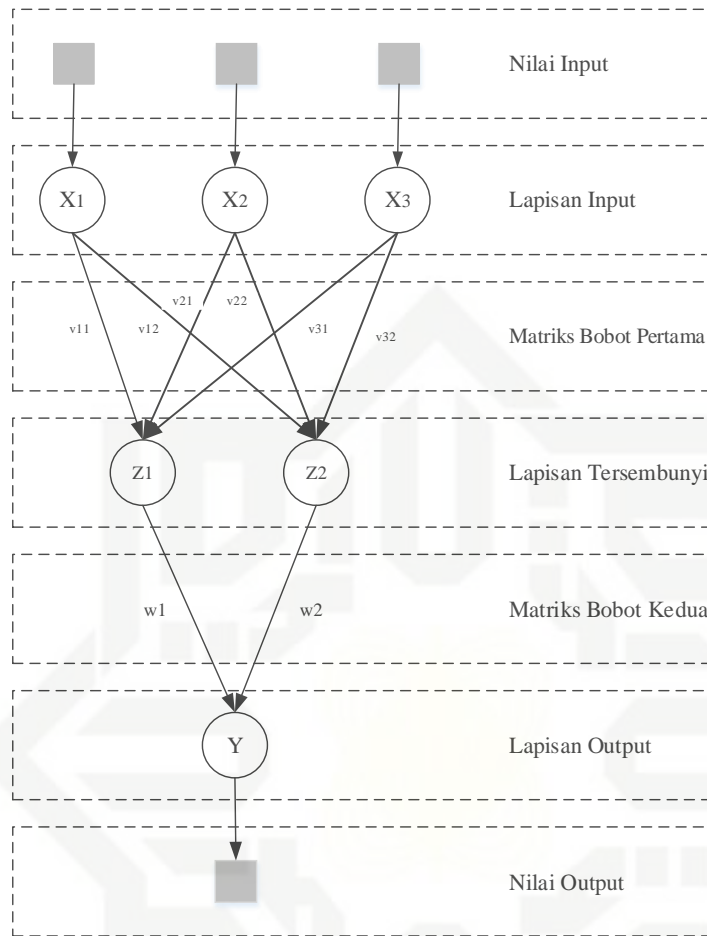


Gambar 2.14 Arsitektur *Single Layer Net*

2. Jaringan dengan Banyak Lapisan (*Multi Layer Net*)

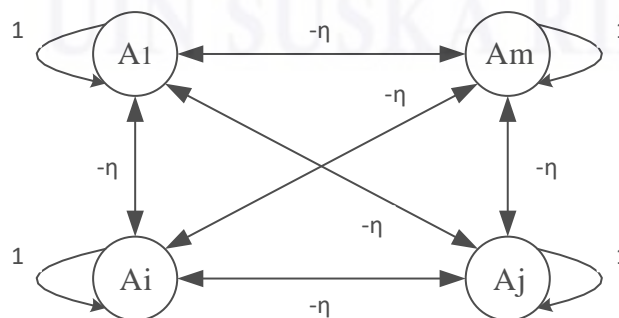
Jaringan dengan banyak lapisan memiliki satu atau lebih lapisan yang terletak di antara lapisan *input* dan lapisan *output*, dapat disebut dengan lapisan tersembunyi. Arsitektur ini dapat menyelesaikan permasalahan yang lebih sulit daripada jaringan dengan lapisan tunggal karena pembelajaran yang lebih rumit.

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
 2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2.15 Arsitektur *Multi Layer Net*

3. Jaringan dengan Lapisan Kompetitif (*Competitive Layer Net*)
 Hubungan antar neuron pada lapisan kompetitif ini seringkali tidak diperlihatkan pada diagram arsitektur. Gambar 2.16 berikut menunjukkan contoh arsitektur jaringan dengan lapisan kompetitif yang memiliki bobot $-\eta$.



Gambar 2.16 Arsitektur *Competitive Layer Net*

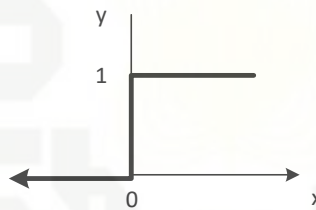
2.6.3 Fungsi Aktivasi Jaringan Syaraf Tiruan

Sebuah sinyal aktivasi diperlukan oleh suatu neuron untuk menyalakan atau mematikan penjalaran sinyal dari neuron tersebut. Sinyal aktivasi dalam jaringan syaraf tiruan ditentukan oleh suatu fungsi aktivasi (Desiani dan Arhami, 2006). Berikut adalah rangkuman beberapa fungsi aktivasi yang sering digunakan dalam jaringan syaraf tiruan (Kusumadewi, 2003).

1. Fungsi Undak Biner (*Hard Limit*)

Jaringan dengan lapisan tunggal sering menggunakan fungsi undak (*step function*) untuk mengkonversikan *input* dari suatu variabel yang bernilai kontinu ke suatu *output* biner (0 atau 1). Fungsi undak biner (*hard limit*) dirumuskan sebagai:

$$y = \begin{cases} 0, & \text{jika } x \leq 0 \\ 1, & \text{jika } x > 0 \end{cases} \quad (2.33)$$

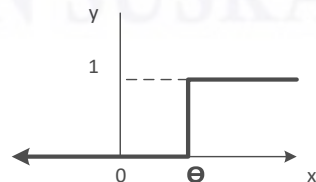


Gambar 2.17 Fungsi Aktivasi Undak Biner (*Hard Limit*)

2. Fungsi Undak Biner (*Threshold*)

Fungsi undak biner dengan menggunakan nilai ambang sering juga disebut dengan nama fungsi nilai ambang (*threshold*) atau fungsi Heaviside. Fungsi undak biner dengan nilai ambang (θ) dirumuskan sebagai:

$$y = \begin{cases} 0, & \text{jika } x < \theta \\ 1, & \text{jika } x \geq \theta \end{cases} \quad (2.34)$$



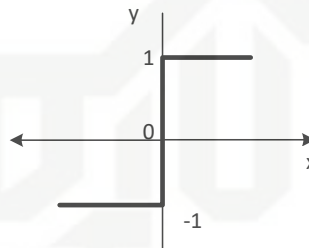
Gambar 2.18 Fungsi Aktivasi Undak Biner (*Threshold*)

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

3. Fungsi Bipolar (*Symmetric Hard Limit*)

Fungsi bipolar hampir sama dengan fungsi undak biner, hanya saja *output* yang dihasilkan berupa 1, 0 atau -1. Fungsi *symetric hard limit* dirumuskan sebagai:

$$y = \begin{cases} 1, & \text{jika } x > 0 \\ 0, & \text{jika } x = 0 \\ -1, & \text{jika } x < 0 \end{cases} \quad (2.35)$$

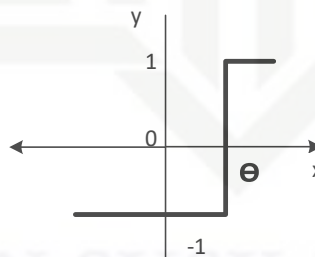


Gambar 2.19 Fungsi Aktivasi Bipolar (*Symmetric Hard Limit*)

4. Fungsi Bipolar (dengan *Threshold*)

Fungsi bipolar hampir sama dengan fungsi undak biner dengan *threshold*, hanya saja *output* yang dihasilkan berupa 1, 0 atau -1. Fungsi bipolar dengan nilai ambang (θ) dirumuskan sebagai:

$$y = \begin{cases} 1, & \text{jika } x \geq \theta \\ -1, & \text{jika } x < \theta \end{cases} \quad (2.36)$$

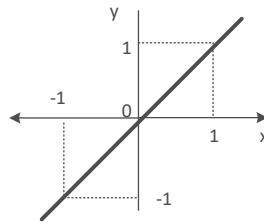


Gambar 2.20 Fungsi Aktivasi Bipolar (dengan *Threshold*)

5. Fungsi Linear (Identitas)

Fungsi linear memiliki nilai *output* yang sama dengan nilai *input*. Fungsi linear dirumuskan sebagai:

$$y = x \quad (2.37)$$

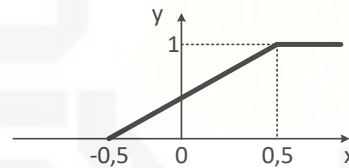


Gambar 2.21 Fungsi Aktivasi Linear (Identitas)

6. Fungsi *Saturating Linear*

Fungsi ini akan bernilai 0 jika *input* kurang dari -0,5, dan akan bernilai 1 jika *input* lebih dari 0,5. Sedangkan jika nilai *input* terletak diantara -0,5 dan 0,5, maka *output* akan bernilai sama dengan nilai *input* ditambah 0,5. Fungsi *saturating linear* dirumuskan sebagai:

$$y = \begin{cases} 1, & \text{jika } x \geq 0,5 \\ x + 0,5, & \text{jika } -0,5 \leq x \leq 0,5 \\ 0, & \text{jika } x \leq -0,5 \end{cases} \quad (2.38)$$

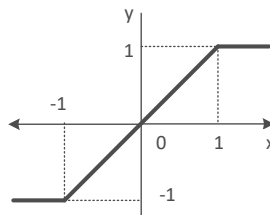


Gambar 2.22 Fungsi Aktivasi Saturating Linear

7. Fungsi *Symetric Saturating Linear*

Fungsi ini akan bernilai -1 jika *input* kurang dari -1, dan akan bernilai 1 jika *input* lebih dari 1. Sedangkan jika nilai *input* terletak diantara -1 dan 1, maka *output* akan bernilai sama dengan nilai *input*. Fungsi *symetric saturating linear* dirumuskan sebagai:

$$y = \begin{cases} 1, & \text{jika } x \geq 1 \\ x, & \text{jika } -1 \leq x \leq 1 \\ -1, & \text{jika } x \leq -1 \end{cases} \quad (2.39)$$



Gambar 2.23 Fungsi Aktivasi Symetric Saturating Linear

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

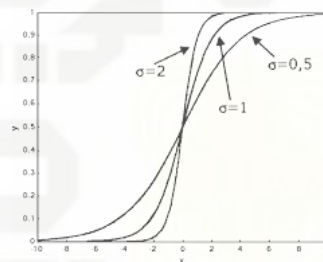
8. Fungsi Sigmoid Biner

Fungsi ini digunakan untuk jaringan syaraf tiruan yang dilatih dengan metode *backpropagation*. Fungsi sigmoid biner memiliki nilai pada *range* 0 sampai 1. Oleh karena itu, fungsi ini sering digunakan untuk jaringan syaraf tiruan yang membutuhkan nilai *output* yang terletak pada interval 0 sampai 1. Namun, fungsi ini juga dapat digunakan oleh jaringan syaraf tiruan yang memiliki nilai *output* 0 atau 1. Fungsi sigmoid biner dirumuskan sebagai:

$$y = f(x) = \frac{1}{1+e^{-\sigma x}} \quad (2.40)$$

dengan:

$$f'(x) = \sigma f(x)[1 - f(x)] \quad (2.41)$$



Gambar 2.24 Fungsi Aktivasi Sigmoid Biner

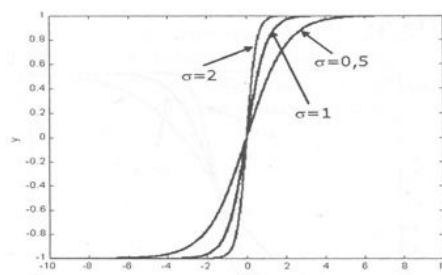
9. Fungsi Sigmoid Bipolar

Fungsi sigmoid bipolar hampir sama dengan fungsi sigmoid biner, hanya saja *output* dari fungsi ini memiliki *range* antara 1 sampai -1. Fungsi sigmoid bipolar dirumuskan sebagai:

$$y = f(x) = \frac{1-e^{-x}}{1+e^{-x}} \quad (2.42)$$

dengan:

$$f'(x) = \frac{\sigma}{2} [1 + f(x)][1 - f(x)] \quad (2.43)$$



Gambar 2.25 Fungsi Aktivasi Sigmoid Bipolar

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

2.6.4 Algoritma Pembelajaran

Proses belajar pada JST merupakan suatu proses di mana parameter-parameter bebas JST diadaptasikan melalui suatu proses perangsangan berkelanjutan oleh lingkungan di mana jaringan berada (Desiani dan Arhami, 2006). Proses pembelajaran atau pelatihan merupakan proses perubahan bobot antar neuron sehingga sebuah jaringan dapat menyelesaikan suatu masalah. Semakin besar bobot keterhubungan, maka akan semakin cepat dalam menyelesaikan suatu masalah. Proses pembelajaran dalam JST dapat diklasifikasikan menjadi dua, yaitu:

1. Pembelajaran Terawasi (*Supervised Learning*)

Metode pembelajaran yang menggunakan sejumlah pasangan data masukan dan keluaran yang diharapkan. Pada pembelajaran ini, apabila terjadi perbedaan antara pola *output* hasil pembelajaran dengan pola target, maka akan muncul *error*. Apabila nilai *error* masih cukup besar, maka harus dilakukan lebih banyak pembelajaran.

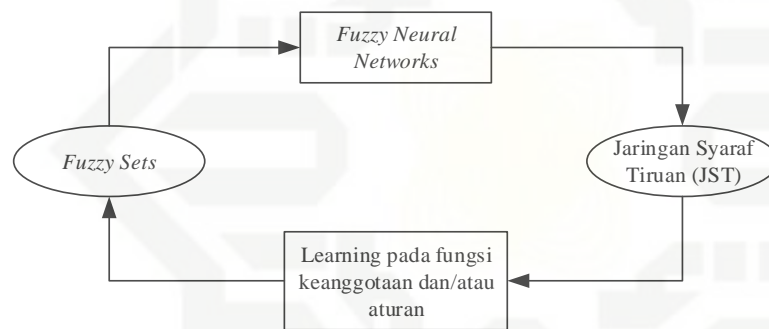
2. Pembelajaran Tak Terawasi (*Unsupervised Learning*)

Metode ini tidak memerlukan target *output*. Pada pembelajaran ini, tidak dapat ditentukan hasil yang diharapkan selama proses pembelajaran. Selama proses pembelajaran, nilai bobot disusun dalam suatu *range* tertentu tergantung pada nilai *input* yang diberikan. Tujuan dari pembelajaran ini adalah mengelompokkan unit-unit yang hampir sama dalam suatu area tertentu, sangat cocok digunakan untuk pengelompokan (klasifikasi) pola.

2.7 Neuro Fuzzy

Jaringan syaraf tiruan (JST) dan sistem *fuzzy* memiliki karakteristik yang bertolak belakang dalam hal kemampuan belajar (*learning*) dan kemampuan menjelaskan proses penalaran. JST memiliki kemampuan belajar namun tidak dapat menjelaskan proses penalaran yang dilakukan karena pengetahuan yang dimiliki hanya berupa bobot-bobot sinapsis yang bernilai *real*. Berbanding terbalik dengan sistem *fuzzy* yang tidak memiliki kemampuan belajar namun dapat menjelaskan proses penalaran yang dilakukan berdasarkan aturan-aturan dalam basis pengetahuan yang dimiliki (Suyanto, 2008).

Penentuan kemiringan fungsi keanggotaan dan aturan-aturan *fuzzy* pada sistem *fuzzy* biasanya dilakukan oleh pakar yang memiliki pengetahuan mengenai karakteristik setiap variabel masukan dan keluar serta penalarannya. Namun, kelebihan yang dimiliki JST yaitu kemampuan untuk belajar dapat digunakan untuk mengatur kemiringan fungsi keanggotaan dan/atau *fuzzy rules* yang paling optimum. Pengetahuan yang dimiliki JST berupa bobot-bobot sinaptik yang stabil dan bisa digunakan untuk melakukan penalaran untuk masukan numerik, namun JST tidak memiliki aturan penalaran (*rules*). Dalam hal ini, *fuzziness* dapat digunakan untuk membangun JST dengan membangun neuron dan jaringan berdasarkan konsep *fuzzy*. Interaksi antara JST dan sistem *fuzzy* dapat dilihat pada Gambar 2.26 berikut.



Gambar 2.26 Interaksi JST dan Sistem *Fuzzy*

Menurut (Tettamanzi dan Tomassini, 2001), terdapat tiga macam kombinasi yang bisa dibuat antara JST dan sistem *fuzzy*, antara lain:

1. *Co-operative*
 - a. *Off-line*, yaitu JST mempelajari fungsi keanggotaan dan/atau aturan sistem *fuzzy* hanya sekali untuk selamanya.
 - b. *On-line*, yaitu JST mempelajari fungsi keanggotaan dan/atau aturan sistem *fuzzy* ketika sistem sedang berjalan.
2. *Concurrent* (Sekuensial)
 JST digunakan sebagai *pre-processing* atau *post-processing*.
3. *Hybrid*
 Sistem *fuzzy* direpresentasikan sebagai struktur jaringan seperti JST yang dapat belajar. Kombinasi ini sering disebut sebagai *Fuzzy Neural Networks* (FNN).

2.8 Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS)

Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) merupakan kombinasi JST dan *fuzzy inference system* yang menggunakan model inferensi Sugeno atau TSK (Tettamanzi dan Tomassini, 2001).

2.8.1 Arsitektur ANFIS

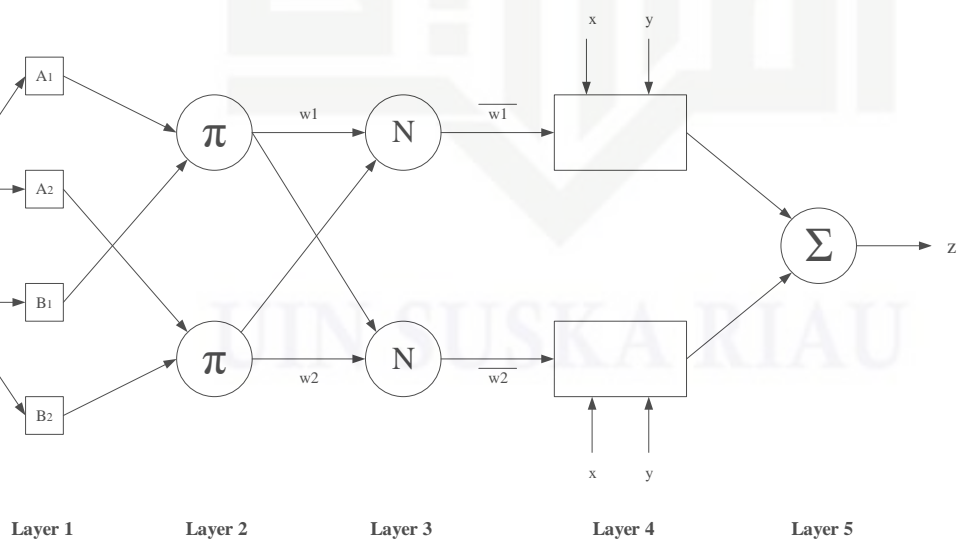
Pada penelitian ini, model inferensi Sugeno yang digunakan adalah Sugeno orde nol dengan pertimbangan kesederhanaan dan kemudahan komputasi (Ersyad, 2018). Diasumsikan *fuzzy inference system* hanya memiliki dua *input*, x dan y , serta satu *output* yang dilambangkan z . Pada model Sugeno orde nol, himpunan aturan memiliki konsekuen berupa konstanta dari masukan yang ada dan dapat diekspresikan sebagai

$$\begin{aligned} \text{IF } x \text{ is } A_1 \text{ AND } y \text{ is } B_1 \text{ THEN } f_1 &= k \\ \text{IF } x \text{ is } A_2 \text{ AND } y \text{ is } B_2 \text{ THEN } f_2 &= k \end{aligned} \quad (2.44)$$

Mekanisme penalaran pada metode ini adalah

$$f = \frac{w_1 f_1 + w_2 f_2}{w_1 + w_2} = \bar{w}_1 f_1 + \bar{w}_2 f_2 \quad (2.45)$$

Arsitektur ANFIS untuk kasus dua masukan, x dan y , serta satu *output* yang dilambangkan z diilustrasikan pada Gambar 2.27 di bawah ini.



Gambar 2.27 Arsitektur ANFIS

Layer 1

Berfungsi sebagai proses *fuzzyfication*. *Ouput* dari *node x* pada *layer 1* dinotasikan sebagai $O_{1,i}$. Setiap *node* pada *layer 1* bersifat *adaptive* dengan *output*:

$$\begin{aligned} O_{1,i} &= \mu_{A_i}(x), \quad i=1,2 \\ O_{1,i} &= \mu_{B_i}(x), \quad i=3,4 \end{aligned} \quad (2.46)$$

di mana x dan y adalah nilai-nilai *input* untuk *node* tersebut dan A_i atau B_i adalah himpunan *fuzzy*. Jadi, masing-masing *node* pada *layer 1* berfungsi membangkitkan derajat keanggotaan (bagian premis).

Layer 2

Dinotasikan dengan π . Setiap *node* pada *layer* ini berfungsi untuk menghitung kekuatan aktivasi (*firing strength*) pada setiap *rule* sebagai produk dari semua *input* yang masuk atau sebagai operator *t-norm* (*triangular norm*):

$$O_{2,i} = w_i = \mu_{A_i}(x) \mu_{B_i}(y), \quad i = 1,2 \quad (2.47)$$

sehingga

$$\begin{aligned} w_1 &= \mu_{A_1}(x) \text{ AND } \mu_{B_1}(y) \\ w_2 &= \mu_{A_2}(x) \text{ AND } \mu_{B_2}(y) \end{aligned} \quad (2.48)$$

Layer 3

Dilambangkan dengan N . Setiap *node* pada *layer* ini bersifat non-adaptif yang berfungsi hanya untuk menghitung rasio antara *firing strength* pada *rule ke-i* terhadap total *firing strength* dari semua *rule*:

$$O_{3,i} = \bar{w}_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2}, \quad i = 1,2 \quad (2.49)$$

Layer 4

Setiap *node* pada *layer* ini bersifat adaptif sebagai fungsi

$$O_{4,i} = \bar{w}_i f_i = \bar{w}_i(f) \quad (2.50)$$

di mana \bar{w}_i adalah *output* dari *layer 3* dan f adalah parameter konsekuen pada *fuzzy* model Sugeno orde nol.

Layer 5

Satu *node* tunggal yang dilambangkan Σ pada lapisan ini berfungsi mengagregasikan seluruh *output* dari *layer 4* (didefinisikan sebagai penjumlahan dari semua sinyal yang masuk):

$$O_{5,i} = \sum_i \bar{w}_i f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i} \quad (2.51)$$

Dengan demikian, kelima lapisan tersebut akan membangun suatu *adaptive-network* yang secara fungsional ekuivalen dengan *fuzzy* model Sugeno orde nol.

Keterangan:

x dan y = Variabel *input*

A = Himpunan *fuzzy* untuk x

B = Himpunan *fuzzy* untuk y

f = Parameter aturan *fuzzy* bernilai konstan

w = Nilai *firing strength*

O = *Output* pada setiap *layer*

μ = Nilai derajat keanggotaan

\bar{w} = Nilai normalisasi *firing strength*

2.8.2 Pembelajaran pada ANFIS

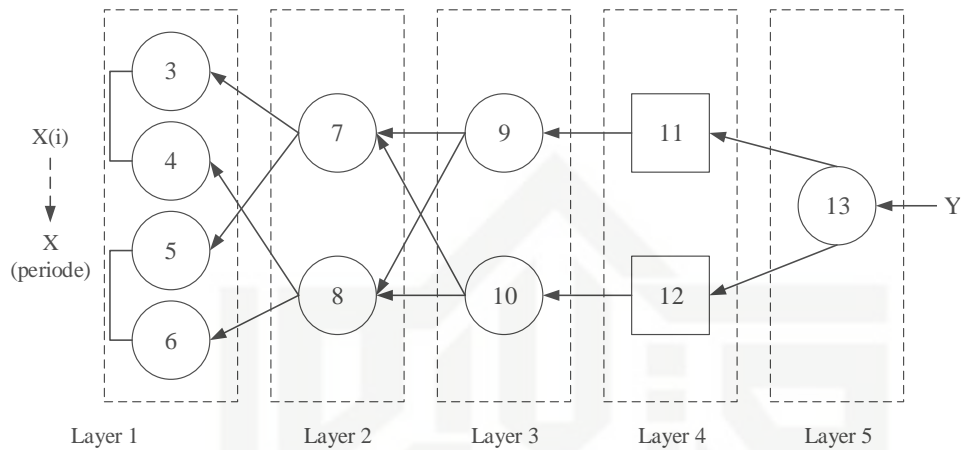
Proses belajar dari jaringan syaraf untuk memperbarui parameter-parameter ANFIS memerlukan proses pembelajaran atau pelatihan. Tahap pelatihan tersebut terdiri dari tahap maju dan tahap mundur. Pada arah maju (*forward*), parameter pada lapisan keempat diperoleh dari konsekuen aturan pada sistem inferensi *fuzzy* dan kemudian dilakukan penjumlahan pada lapisan kelima. Kemudian pada arah mundur (*backward*), parameter konsekuen dibuat tetap. Kesalahan antara keluaran jaringan adaptif dan target dipropagasikan balik menggunakan *gradient descent* untuk memperbarui parameter premis. Satu tahap pembelajaran ini maju-mundur ini dinamakan satu *epoch*.

Pada tahap mundur (*backward*), jaringan adaptif tersebut dapat dilatih untuk mendapatkan nilai parameter a dan c pada Persamaan (2.30). Dengan mengambil nilai $b = 1$, maka persamaan tersebut menjadi:

$$\mu(x) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x-c}{a} \right|^2} \quad (2.52)$$

Model propagasi *error gradient descent* digunakan untuk melakukan perbaikan terhadap nilai a dan c . Pada proses ini dilakukan algoritma EBP (*Error Backpropagation*) di mana pada setiap *layer* akan dilakukan perhitungan *error*

untuk melakukan *update* parameter-parameter ANFIS. Sistemika alur mundur sistem ANFIS diilustrasikan pada Gambar 2.28 di bawah ini.



Gambar 2.28 Diagram Alur Mundur ANFIS

Error pada Lapisan 5

Apabila jaringan adaptif hanya memiliki 1 neuron pada lapisan *output* (neuron ke 13), maka propagasi *error* yang menuju lapisan 5 dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\epsilon_{13} = \frac{\partial E_p}{\partial x_{13}} = -2(y_p - y'_p) \quad (2.53)$$

dengan y_p adalah target *output* data pelatihan ke- p dan y'_p adalah *output* jaringan pada data pelatihan ke- p .

Error pada Lapisan 4

Propagasi *error* yang menuju pada lapisan 4, yaitu neuron 11 dan neuron 12 dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\epsilon_{11} = \left(\frac{\partial E_p}{\partial x_{13}}\right) \left(\frac{\partial f_{13}}{\partial x_{11}}\right) = \epsilon_{13} \left(\frac{\partial f_{13}}{\partial x_{11}}\right) = \epsilon_{13}(1) = \epsilon_{13} \quad (2.54)$$

karena $f_{13} = \bar{w}_1 f_1 + \bar{w}_2 f_2$, maka $\frac{\partial f_{13}}{\partial (\bar{w}_1 f_1)} = 1$

$$\epsilon_{12} = \left(\frac{\partial E_p}{\partial x_{13}}\right) \left(\frac{\partial f_{13}}{\partial x_{12}}\right) = \epsilon_{13} \left(\frac{\partial f_{13}}{\partial x_{12}}\right) = \epsilon_{13}(1) = \epsilon_{13} \quad (2.55)$$

karena $f_{13} = \bar{w}_1 f_1 + \bar{w}_2 f_2$, maka $\frac{\partial f_{13}}{\partial (\bar{w}_2 f_2)} = 1$

Error pada Lapisan 3

Propagasi *error* yang menuju lapisan 3, yaitu neuron 9 dan neuron 10 dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\mathcal{E}_{11} = \left(\frac{\partial E_p}{\partial x_{13}} \right) \left(\frac{\partial f_{13}}{\partial x_{11}} \right) \left(\frac{\partial f_{11}}{\partial x_9} \right) = \mathcal{E}_{11} \left(\frac{\partial f_{11}}{\partial x_9} \right) = \mathcal{E}_{11} f_1 \quad (2.56)$$

karena $f_{11} = \bar{w}_1 f_1$, maka $\frac{\partial f_{11}}{\partial (\bar{w}_1)} = f_1$

$$\mathcal{E}_{10} = \left(\frac{\partial E_p}{\partial x_{13}} \right) \left(\frac{\partial f_{13}}{\partial x_{12}} \right) \left(\frac{\partial f_{12}}{\partial x_{10}} \right) = \mathcal{E}_{11} \left(\frac{\partial f_{12}}{\partial x_{10}} \right) = \mathcal{E}_{12} f_2 \quad (2.57)$$

karena $f_{12} = \bar{w}_2 f_2$, maka $\frac{\partial f_{12}}{\partial (\bar{w}_2)} = f_2$

Error pada Lapisan 2

Propagasi *error* yang menuju lapisan 2, yaitu neuron 7 dan neuron 8 dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_7 &= \left(\frac{\partial E_p}{\partial x_{13}} \right) \left(\frac{\partial f_{13}}{\partial x_{11}} \right) \left(\frac{\partial f_{11}}{\partial x_9} \right) \left(\frac{\partial f_9}{\partial x_7} \right) + \left(\frac{\partial E_p}{\partial x_{13}} \right) \left(\frac{\partial f_{13}}{\partial x_{12}} \right) \left(\frac{\partial f_{12}}{\partial x_{10}} \right) \left(\frac{\partial f_{10}}{\partial x_7} \right) \\ &= \mathcal{E}_9 \left(\frac{\partial f_9}{\partial x_7} \right) + \mathcal{E}_{10} \left(\frac{\partial f_{10}}{\partial x_7} \right) \\ &= \mathcal{E}_9 \left(\frac{w_2}{(w_1 + w_2)^2} \right) + \mathcal{E}_{10} \left(-\frac{w_2}{(w_1 + w_2)^2} \right) \\ &= \frac{w_2}{(w_1 + w_2)^2} (\mathcal{E}_9 - \mathcal{E}_{10}) \end{aligned} \quad (2.58)$$

karena $f_9 = \frac{w_2}{w_1 + w_2}$, maka $\frac{\partial f_9}{\partial w_1} = \frac{w_2}{(w_1 + w_2)^2}$; dan $f_{10} = \frac{w_2}{w_1 + w_2}$, maka $\frac{\partial f_{10}}{\partial w_1} = \frac{w_2}{(w_1 + w_2)^2}$

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_8 &= \left(\frac{\partial E_p}{\partial x_{13}} \right) \left(\frac{\partial f_{13}}{\partial x_{12}} \right) \left(\frac{\partial f_{12}}{\partial x_{10}} \right) \left(\frac{\partial f_{10}}{\partial x_8} \right) + \left(\frac{\partial E_p}{\partial x_{13}} \right) \left(\frac{\partial f_{13}}{\partial x_{11}} \right) \left(\frac{\partial f_{11}}{\partial x_9} \right) \left(\frac{\partial f_9}{\partial x_8} \right) \\ &= \mathcal{E}_{10} \left(\frac{\partial f_{10}}{\partial x_8} \right) + \mathcal{E}_9 \left(\frac{\partial f_9}{\partial x_8} \right) \\ &= \mathcal{E}_{10} \left(\frac{w_1}{(w_1 + w_2)^2} \right) + \mathcal{E}_9 \left(-\frac{w_1}{(w_1 + w_2)^2} \right) \\ &= \frac{w_1}{(w_1 + w_2)^2} (\mathcal{E}_{10} - \mathcal{E}_9) \end{aligned} \quad (2.59)$$

karena $f_9 = \frac{w_1}{w_1 + w_2}$, maka $\frac{\partial f_9}{\partial w_2} = \frac{w_1}{(w_1 + w_2)^2}$; dan $f_{10} = \frac{w_1}{w_1 + w_2}$, maka $\frac{\partial f_{10}}{\partial w_2} = \frac{w_1}{(w_1 + w_2)^2}$

Error pada Lapisan 1

Propagasi *error* yang menuju lapisan 1, yaitu neuron 3, 4, 5, dan 6 dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\mathcal{E}_3 = \mathcal{E}_7 \left(\frac{\partial f_7}{\partial x_3} \right) = \mathcal{E}_7 \mu_{B1}(x_2) \quad (2.60)$$

$$\mathcal{E}_4 = \mathcal{E}_8 \left(\frac{\partial f_8}{\partial x_4} \right) = \mathcal{E}_8 \mu_{B2}(x_2) \quad (2.61)$$

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

$$\varepsilon_5 = \varepsilon_7 \left(\frac{\partial f_7}{\partial x_5} \right) = \varepsilon_7 \mu_{A1}(x_1) \quad (2.62)$$

$$\varepsilon_6 = \varepsilon_8 \left(\frac{\partial f_8}{\partial x_6} \right) = \varepsilon_8 \mu_{A1}(x_1) \quad (2.63)$$

karena $f_7 = (\mu_{A1}(x_1))(\mu_{B1}(x_2))$, maka $\frac{\partial f_7}{\partial(\mu_{A1}(x_1))} = \mu_{B1}(x_2)$ dan $\frac{\partial f_7}{\partial(\mu_{B1}(x_2))} = \mu_{A1}(x_1)$; dan karena $f_8 = (\mu_{A2}(x_1))(\mu_{B2}(x_2))$, maka $\frac{\partial f_8}{\partial(\mu_{A2}(x_1))} = \mu_{B2}(x_2)$ dan $\frac{\partial f_8}{\partial(\mu_{B2}(x_2))} = \mu_{A2}(x_1)$

Selanjutnya, *error* tersebut digunakan untuk mencari informasi *error* terhadap parameter a dan (a_{11} dan a_{12} untuk A_1 dan A_2 ; a_{21} dan a_{22} untuk B_1 dan B_2) dan c (c_{11} dan c_{12} untuk A_1 dan A_2 ; c_{21} dan c_{22} untuk B_1 dan B_2) sebagai berikut:

Karena $\frac{\partial f}{\partial a_{ik}} = \frac{2(x_i - c_{ik})^2}{a_{ik}^3 \left(1 + \left(\frac{x_i - c_{ik}}{a_{ik}} \right)^2 \right)^2}$, maka

$$\begin{aligned} \varepsilon_{a_{11}} &= \varepsilon_3 \left(\frac{\partial f_3}{\partial a_{11}} \right) + \varepsilon_4 \left(\frac{\partial f_4}{\partial a_{11}} \right) \\ &= (\varepsilon_3) \frac{2(x_1 - c_{11})^2}{a_{11}^3 \left(1 + \left(\frac{x_1 - c_{11}}{a_{11}} \right)^2 \right)^2} + \varepsilon_4(0) \\ &= (\varepsilon_3) \frac{2(x_1 - c_{11})^2}{a_{11}^3 \left(1 + \left(\frac{x_1 - c_{11}}{a_{11}} \right)^2 \right)^2} \end{aligned} \quad (2.64)$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_{a_{12}} &= \varepsilon_3 \left(\frac{\partial f_3}{\partial a_{12}} \right) + \varepsilon_4 \left(\frac{\partial f_4}{\partial a_{12}} \right) \\ &= \varepsilon_3(0) + (\varepsilon_4) \frac{2(x_1 - c_{12})^2}{a_{11}^3 \left(1 + \left(\frac{x_1 - c_{12}}{a_{12}} \right)^2 \right)^2} \\ &= (\varepsilon_4) \frac{2(x_1 - c_{12})^2}{a_{11}^3 \left(1 + \left(\frac{x_1 - c_{12}}{a_{12}} \right)^2 \right)^2} \end{aligned} \quad (2.65)$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_{a_{21}} &= \varepsilon_5 \left(\frac{\partial f_5}{\partial a_{21}} \right) + \varepsilon_6 \left(\frac{\partial f_6}{\partial a_{21}} \right) \\ &= (\varepsilon_5) \frac{2(x_2 - c_{21})^2}{a_{21}^3 \left(1 + \left(\frac{x_2 - c_{21}}{a_{21}} \right)^2 \right)^2} + \varepsilon_6(0) \\ &= (\varepsilon_5) \frac{2(x_2 - c_{21})^2}{a_{21}^3 \left(1 + \left(\frac{x_2 - c_{21}}{a_{21}} \right)^2 \right)^2} \end{aligned} \quad (2.66)$$

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

$$\begin{aligned}\mathcal{E}_{a22} &= \mathcal{E}_5 \left(\frac{\partial f_5}{\partial a_{22}} \right) + \mathcal{E}_6 \left(\frac{\partial f_6}{\partial a_{22}} \right) \\ &= \mathcal{E}_5(0) + (\mathcal{E}_6) \frac{2(x_2 - c_{22})^2}{a_{22}^3 \left(1 + \left(\frac{x_2 - c_{22}}{a_{22}} \right)^2 \right)^2} \\ &= (\mathcal{E}_6) \frac{2(x_2 - c_{22})^2}{a_{22}^3 \left(1 + \left(\frac{x_2 - c_{22}}{a_{22}} \right)^2 \right)^2}\end{aligned}\quad (2.67)$$

Karena $\frac{\partial f}{\partial c_{ik}} = \frac{2(x_i - c_{ik})}{a_{ik}^2 \left(1 + \left(\frac{x_i - c_{ik}}{a_{ik}} \right)^2 \right)^2}$, maka

$$\begin{aligned}\mathcal{E}_{c11} &= \mathcal{E}_3 \left(\frac{\partial f_3}{\partial c_{11}} \right) + \mathcal{E}_4 \left(\frac{\partial f_4}{\partial c_{11}} \right) \\ &= (\mathcal{E}_3) \frac{2(x_1 - c_{11})}{a_{11}^2 \left(1 + \left(\frac{x_1 - c_{11}}{a_{11}} \right)^2 \right)^2} + \mathcal{E}_4(0) \\ &= (\mathcal{E}_3) \frac{2(x_1 - c_{11})}{a_{11}^2 \left(1 + \left(\frac{x_1 - c_{11}}{a_{11}} \right)^2 \right)^2}\end{aligned}\quad (2.68)$$

$$\begin{aligned}\mathcal{E}_{c12} &= \mathcal{E}_3 \left(\frac{\partial f_3}{\partial c_{12}} \right) + \mathcal{E}_4 \left(\frac{\partial f_4}{\partial c_{12}} \right) \\ &= \mathcal{E}_3(0) + (\mathcal{E}_4) \frac{2(x_1 - c_{12})}{a_{11}^2 \left(1 + \left(\frac{x_1 - c_{12}}{a_{12}} \right)^2 \right)^2} \\ &= (\mathcal{E}_4) \frac{2(x_1 - c_{12})}{a_{11}^2 \left(1 + \left(\frac{x_1 - c_{12}}{a_{12}} \right)^2 \right)^2}\end{aligned}\quad (2.69)$$

$$\begin{aligned}\mathcal{E}_{c21} &= \mathcal{E}_5 \left(\frac{\partial f_5}{\partial c_{21}} \right) + \mathcal{E}_6 \left(\frac{\partial f_6}{\partial c_{21}} \right) \\ &= (\mathcal{E}_5) \frac{2(x_2 - c_{21})}{a_{21}^2 \left(1 + \left(\frac{x_2 - c_{21}}{a_{21}} \right)^2 \right)^2} + \mathcal{E}_6(0) \\ &= (\mathcal{E}_5) \frac{2(x_2 - c_{21})}{a_{21}^2 \left(1 + \left(\frac{x_2 - c_{21}}{a_{21}} \right)^2 \right)^2}\end{aligned}\quad (2.70)$$

$$\begin{aligned}\mathcal{E}_{c22} &= \mathcal{E}_5 \left(\frac{\partial f_5}{\partial c_{22}} \right) + \mathcal{E}_6 \left(\frac{\partial f_6}{\partial c_{22}} \right) \\ &= \mathcal{E}_5(0) + (\mathcal{E}_6) \frac{2(x_2 - c_{22})}{a_{22}^2 \left(1 + \left(\frac{x_2 - c_{22}}{a_{22}} \right)^2 \right)^2} \\ &= (\mathcal{E}_6) \frac{2(x_2 - c_{22})}{a_{22}^2 \left(1 + \left(\frac{x_2 - c_{22}}{a_{22}} \right)^2 \right)^2}\end{aligned}\quad (2.71)$$

Dari sini, dapat ditentukan perubahan nilai parameter a_{ij} dan c_{ij} (Δa_{ij} dan Δc_{ij}) sebagai berikut:

$$\Delta a_{ij} = \eta \varepsilon_{a_{ij}} x_i \quad (2.72)$$

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

$$\Delta c_{ij} = \eta \varepsilon_{cij} x_i \quad (2.73)$$

dengan η adalah laju pembelajaran yang terletak pada interval $[0,1]$. Sehingga nilai a_{ij} dan c_{ij} yang baru adalah:

$$a_{ij} = a_{ij}(\text{lama}) + \Delta a_{ij} \quad (2.74)$$

$$c_{ij} = c_{ij}(\text{lama}) + \Delta c_{ij} \quad (2.75)$$

Keterangan:

ε = Nilai *error* neuron pada setiap *layer*

E = Jumlah kuadrat *error*

p = Data pelatihan

y = Target *output* data pelatihan

y' = *Output* jaringan pada data pelatihan

f = Fungsi konstan atau linear variabel *input*

w = Nilai *firing strength*

\bar{w} = Nilai normalisasi *firing strength*

a = Parameter a pada fungsi keanggotaan *gbell*

c = Parameter c pada fungsi keanggotaan *gbell*

η = Laju pembelajaran

2.8.3 Pengujian pada ANFIS

Setelah tahap pembelajaran selesai dilakukan maka akan terbentuk suatu sistem inferensi *fuzzy* yang berisi aturan-aturan *fuzzy* seperti pada Persamaan (2.44). Aturan-aturan *fuzzy* yang telah terbentuk tersebut kemudian digunakan untuk tahap pengujian sehingga didapatkan hasil klasifikasi. Tahap pengujian hanya terdiri dari tahap maju (*forward*) saja. Perhitungan pada *layer* 1 menggunakan rumus fungsi keanggotaan *gbellmf* pada Persamaan (2.30), perhitungan pada *layer* 2 berdasarkan Persamaan (2.48), perhitungan pada *layer* 3 berdasarkan Persamaan (2.49), perhitungan pada *layer* 4 berdasarkan Persamaan (2.50), dan perhitungan *layer* 5 berdasarkan Persamaan (2.51).

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

2.9 Tanaman Herbal

Tanaman herbal adalah aneka tanaman khusus yang berkhasiat sebagai obat dan memang dikenali sebagai tanaman obat-obatan (Suparni dan Wulandari, 2012). Tanaman ini banyak terdapat di lingkungan rumah dan biasa disebut sebagai apotek hidup. Penggunaan tanaman herbal sebagai obat sudah dikenal sejak zaman dahulu. Di Indonesia, tanaman herbal sudah digunakan sejak ribuan tahun lalu dan diwariskan secara turun temurun. Tanaman herbal dapat digolongkan menjadi beberapa jenis berdasarkan bahan yang dimanfaatkan, yaitu:

1. Tanaman herbal yang diambil daunnya, seperti daun salam, daun sirih, daun randu, dan lain-lain.
2. Tanaman herbal yang diambil batangnya, seperti kayu manis, brotowali, pulasari, dan lain-lain.
3. Tanaman herbal yang diambil buahnya, seperti jeruk nipis, ketumbar, belimbing wuluh, dan lain-lain.
4. Tanaman herbal yang diambil bijinya, seperti kecubung, pinang, pala, dan lain-lain.
5. Tanaman herbal yang diambil akarnya, seperti pepaya, aren, pulai pandak, dan lain-lain.
6. Tanaman herbal yang diambil umbi atau rimpangnya, seperti kencur, jahe, dan lain-lain.

Banyak faktor yang menjadi alasan penggunaan tanaman herbal sebagai obat-obatan di kalangan masyarakat. Selain alasan tanaman herbal lebih mudah didapatkan dan efek samping dari penggunaan tanaman herbal yang hampir tidak ada, faktor lain penggunaan tanaman herbal sebagai obat adalah harga obat-obatan kimia yang semakin mahal. Selain itu, keyakinan empiris masyarakat bahwa penggunaan obat herbal lebih aman dan ampuh juga menjadi alasan lain penggunaan tanaman herbal sebagai obat. Namun, biasanya pengobatan dengan menggunakan tanaman herbal memakan waktu yang cukup lama sehingga hasilnya tidak langsung terlihat.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

2.9.1 Binahong (*Anredera Cordifolia*)

Tanaman binahong adalah tanaman merambat yang memiliki daun berbentuk hati dan umbi tebal berdaging. Tumbuhan ini dapat menjalar hingga 5 meter dan memiliki daun tunggal, berwarna hijau, dan bertangkai pendek. Daun tanaman ini mengandung flavonoid, asam oleanolik, protein, asam askorbat, dan saponin (Hidayat dan Napitupulu, 2015).



Gambar 2.29 Tanaman Binahong

Daun binahong berkhasiat untuk menyembuhkan radang usus, melancarkan dan menormalkan peredaran darah serta tekanan darah, mencegah *stroke*, asam urat, *maag*, menambah vitalitas tubuh, dan mengatasi diabetes.

2.9.2 Cincau Hijau (*Cyclea Barbata Miers*)

Tanaman ini termasuk dalam famili *menispermaceae* yang dapat tumbuh di dataran rendah hingga 800 meter di bawah permukaan laut. Tanaman ini tumbuh merayap ke atas dan membelit ke kiri. Daun cincau berbentuk perisai dengan bagian tengah melebar berbentuk bulat telur, bagian pangkal berlekuk, dan bagian ujung meruncing sehingga bentuk keseluruhan menyerupai jantung. Permukaan bawah daun berbulu halus sedangkan permukaan atas berbulu kasar dan jarang. Daun cincau banyak mengandung karbohidrat, polifenol, saponin, flavonoida, kardioplegikum, tetradine, isotetradine, dimetiltetradine, dan lemak (IPB dan Ulung, 2014).

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2.30 Tanaman Cincau Hijau

Daun cincau yang telah diolah menjadi gel dapat digunakan sebagai makanan diet rendah kalori. Selain itu juga dapat digunakan untuk mengobati radang lambung, disentri, keracunan udang, dan tekanan darah tinggi.

2.9.3 Keji Beling (*Strobilanthes Crispus*)

Tanaman keji beling adalah salah satu jenis tanaman herbal yang banyak tumbuh liar di hutan, tepi sungai, tebing, dan juga sering ditanam sebagai tanaman pagar di pekarangan atau taman. Tumbuhan ini memiliki tinggi 0,5 hingga 1 meter, memiliki batang beruas, berbentuk bulat, bercabang, berambut kasar, dan berwarna hijau. Daun tanaman ini tunggal, bertangkai pendek, tepi daun bergerigi, ujung daun meruncing, dan kedua permukaan daun kasar (Dalimartha, 2006).



Gambar 2.31 Tanaman Keji Beling

Daun keji beling ini berkhasiat peluruh kencing (diuretik) dan pencahar. Selain itu, daun ini juga digunakan sebagai obat batu saluran kencing, batu kandung empedu, kencing kurang lancar, wasir, sembelit, dan kencing manis.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

2.9.4 Sambung Nyawa (*Gymnora Procumbens*)

Sambung nyawa adalah tanaman herbal yang umumnya ditanam di pekarangan. Tumbuhan ini berasal dari Myanmar dan China. Tumbuhan ini memiliki panjang hingga 6 meter dan berbau harum. Helaian daun tanaman sambung nyawa berbentuk bulat telur sampai memanjang, ujung dan pangkal daun runcing, tepi bergerigi, dan berwarna hijau muda (Dalimartha, 2006).

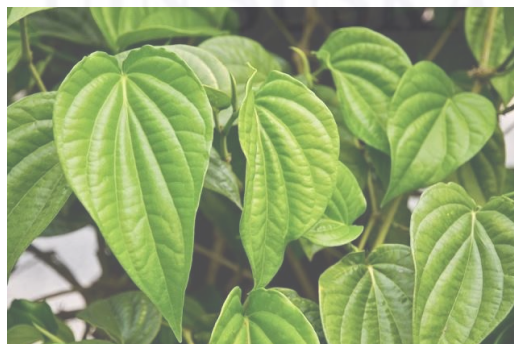


Gambar 2.32 Tanaman Sambung Nyawa

Daun sambung nyawa bersifat dingin, sedikit toksik, berkhasiat anti radang, dan melancarkan sirkulasi darah. Daun tanaman ini dapat digunakan untuk pengobatan hipertensi, kencing manis, kolesterol darah tinggi, demam, radang tenggorokan, kista, dan lain-lain.

2.9.5 Sirih (*Piper Betle*)

Sirih adalah tanaman yang sering ditanam di halaman atau kebun. Tumbuhan ini memiliki batang yang lemah. Helaian daun sirih berbentuk jantung dengan ujung runcing, tepi daun rata, dan daun melengkung. Masyarakat tradisional biasa mengunyah sirih dengan pinang, kapur sirih, dan tembakau.



Gambar 2.33 Tanaman Sirih

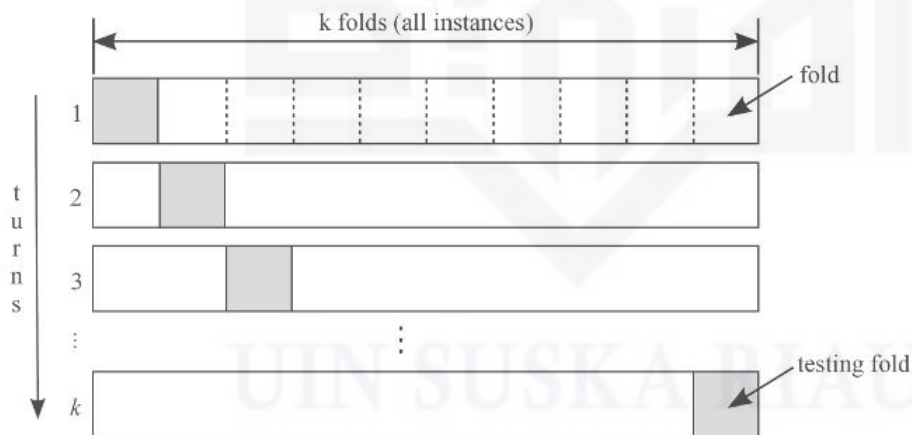
Daun sirih dapat digunakan untuk pengobatan batuk, asma, bronkitis, maag, pegal linu, menurunkan kolesterol, keputihan, lepra, hingga bau badan dan bau mulut. Di China, daun, akar, dan buah sirih digunakan sebagai tonik ringan untuk menenangkan lambung (Dalimartha, 2006).

2.10 Pengukuran Akurasi

Pengukuran terhadap kinerja sistem klasifikasi merupakan hal yang penting untuk dilakukan. Pengukuran terhadap sistem klasifikasi dapat dilakukan secara subjektif dan objektif. Pengukuran secara subjektif yaitu penilaian yang dilakukan berdasarkan persepsi manusia, sedangkan pengukuran secara objektif yaitu melalui pengukuran kuantitatif (Andono, Sutojo dan Muljono, 2017).

2.10.1 K-fold Cross Validation

Metode *k-fold cross validation* membagi data menjadi *k* buah *subset*, sebanyak *k-1* buah *subset* digunakan sebagai data latih dan 1 buah data set sebagai data uji (Han, Kamber dan Pei, 2012). Pelatihan dan pengujian dilakukan sebanyak *k* kali. Ilustrasi pembagian data dengan menggunakan *k-fold cross validation* ditunjukkan pada Gambar 2.34 di bawah ini.



Gambar 2.34 K-fold Cross Validation

Nilai akurasi setiap *fold* menggunakan rumus di bawah ini, di mana S_k menyatakan *subset* ke-*k*.

$$S_k = \frac{\Sigma \text{Data benar } S_k}{\Sigma \text{Seluruh Data } S} \quad (2.76)$$

Sedangkan nilai akurasi rata-rata dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$Akurasi = \frac{\sum Akurasi S_k}{k} \times 100\% \quad (2.77)$$

2.11 Penelitian Terkait

Terdapat beberapa penelitian yang terkait dengan penelitian ini baik secara topik maupun metode yang digunakan yaitu sebagai berikut:

Tabel 2.1 Penelitian Terkait

No	Penulis dan Tahun	Judul	Hasil
1.	(Ni'mah, Sutojo dan Setiadi, 2018)	Identifikasi Tumbuhan Obat Herbal Berdasarkan Citra Daun Menggunakan Algoritma <i>Gray Level Co-occurrence Matrix</i> dan <i>K-Nearest Neighbor</i>	Analisis tekstur citra daun menggunakan GLCM dengan mengekstrak nilai kontras, korelasi, energi, dan homogenitas. Klasifikasi dilakukan dengan KNN. Hasil percobaan menunjukkan akurasi identifikasi menggunakan metode <i>9-fold cross validation</i> mencapai 83,33%.
2.	(Saputra dan Wahyuni, 2018)	Identifikasi Jenis Tanaman Berdasarkan Ekstraksi Fitur Morfologi Daun Menggunakan <i>K-Nearest Neighbor</i>	Penelitian ini melakukan proses klasifikasi tanaman dengan cara mengidentifikasi gambar bentuk daun tanaman. Ekstraksi fitur dihitung berdasarkan fitur morfologi daun seperti area, perimeter, <i>solidity</i> , dan <i>eccentricity</i> . Model terbaik untuk klasifikasi menggunakan KNN didapatkan pada nilai $k = 5$ dengan hasil akurasi sebesar 92%.
3.	(Rahmayanti, 2017)	Penerapan Jaringan Syaraf Tiruan Untuk Pengenalan Pola Daun Tanaman Obat Menggunakan Metode <i>Backpropagation</i>	Penelitian ini menggunakan bagian belakang daun sebagai pengenalan 10 jenis tanaman obat dengan metode klasifikasi <i>backpropagation</i> . Metode ekstraksi bentuk menggunakan <i>moment invariant</i> dan metode ekstraksi tekstur menggunakan GLCM. Akurasi tertinggi didapat pada pengujian 90%:10% yaitu sebesar 85%.
4.	(Andri, 2016)	Deteksi Cacat Ubin Keramik Menggunakan Teknik Pengolahan Citra Dan <i>Adaptive Neural Fuzzy</i>	Penelitian ini menggabungkan teknik pengolahan citra digital dan ANFIS untuk meningkatkan klasifikasi produk pabrik keramik yang berhubungan dengan pendeteksian cacat. Hasil penelitian dan pengujian

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

		<i>Inference System (ANFIS)</i>	menyimpulkan ANFIS sangat layak dijadikan model inferensi kecerdasan buatan dalam sistem berbasis inspeksi otomatis. <i>Hybrid trapesium mf</i> pada ANFIS memiliki kesalahan 0,172737 dan akurasi pengujian data sebesar 99%.
5.	(Syaban dan Harjoko, 2016)	Klasifikasi Varietas Cabai Berdasarkan Morfologi Daun Menggunakan <i>Backpropagation Neural Network</i>	Penelitian ini menggunakan morfologi daun untuk mengenali varietas tanaman cabai. Ekstraksi ciri menggunakan metode <i>moment-invariant</i> dan fitur dasar geometris. Proses pengenalan berdasarkan ciri-ciri yang telah diekstrak menggunakan <i>backpropagation neural network</i> . Hasil pengujian <i>cross-validation</i> dengan metode <i>k-fold</i> menghasilkan rata-rata akurasi klasifikasi sebesar 97,92% dengan nilai $k = 4$.
6.	(Zahro, 2016)	Analisis Tekstur Untuk Identifikasi Tumbuhan Obat Menggunakan Klasifikasi <i>Support Vector Machine</i>	Penelitian ini menggunakan GLCM, LBPV, dan entropi untuk mengidentifikasi tumbuhan obat. Hasil akurasi rata-rata semula untuk entropi adalah 7,14%, GLCM adalah 41,27%, dan LBPV adalah 68,65%. Hasil ini kemudian meningkat setelah dilakukan penggabungan. Akurasi GLCM dan LBPV adalah 80,56% dan akurasi GLCM, LBPV, dan entropi adalah 82,41%.
7.	(Kusanti dan Hartati, 2015)	Identifikasi Gangguan Neurologis Menggunakan Metode <i>Adaptive Neural Fuzzy Inference System (ANFIS)</i>	Penelitian ini menggunakan ANFIS dalam proses identifikasi <i>stroke ischemic</i> dari hasil <i>ct scan</i> . Ekstraksi citra yang digunakan adalah histogram dan peningkatan hasil citra menggunakan <i>threshold Otsu</i> . Hasil RMSE yang didapat pada proses pelatihan sebesar 0,0432053 dan pada proses pengujian dihasilkan tingkat akurasi sebesar 98,66%.
8.	(Liantoni dan Nugroho, 2015)	Klasifikasi Daun Herbal Menggunakan Metode <i>Naive Bayes Classifier</i> dan <i>K-Nearest Neighbor</i>	Pada penelitian ini klasifikasi tanaman herbal dilakukan dengan mengidentifikasi bentuk citra daun. Ekstraksi fitur yang digunakan adalah fitur <i>invariant moment</i> dan fitur geometri. Berdasarkan hasil uji coba, metode <i>Naive Bayes Classifier</i> mendapatkan akurasi sebesar 75% dan KNN sebesar 70,83%.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

9.	(Agmalaro, Kustiyo dan Akbar, 2013)	Identifikasi Tanaman Buah Tropika Berdasarkan Tekstur Permukaan Daun Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan	Penelitian ini mengidentifikasi tanaman buah tropika dengan menggunakan daun dan diukur berdasarkan tekstur. Ekstraksi fitur GLCM dari tekstur citra permukaan daun digunakan sebagai <i>input</i> dari pelatihan JST. Hasil akurasi terbaik sebesar 90% didapatkan pada pengujian dengan 7 <i>hidden neuron</i> .
10.	(Herdiyeni <i>et al.</i> , 2013)	Pemanfaatan Teknologi Tepat Guna Identifikasi Tanaman Obat Berbasis Citra	Penelitian ini menggunakan fitur morfologi, tekstur, dan bentuk untuk mengidentifikasi tumbuhan obat. Spesies tumbuhan obat dikelompokkan menggunakan <i>Probabilistic Neural Network</i> . Hasil percobaan menunjukkan akurasi identifikasi mencapai 74,67%.
11.	(Whidhiasih, A.W. dan Supriyanto, 2012)	Identifikasi Buah Belimbing Berdasarkan Citra <i>Red-Green-Blue</i> Menggunakan <i>Adaptive Neural Fuzzy Inference System</i> (ANFIS)	Pemutuan buah belimbing dapat dilakukan secara nondestruktif, yaitu dengan mengukur korelasi nilai RGB citra buah belimbing dengan Total Padatan Terlarut (TPT) belimbing. Klasifikasi buah dilakukan dengan menggunakan ekstraksi citra RGB dan ANFIS. Percobaan menghasilkan akurasi kelas asam sebesar 100%, sedang sebesar 100%, dan manis sebesar 67%. Akurasi rata-rata yang didapatkan adalah sebesar 89%.