



**PERAMALAN INDEKS HARGA KONSUMEN  
DENGAN JARINGAN SYARAF TIRUAN  
DAN ADAPTIVE NEURO-FUZZY  
INFERENCE SYSTEM (ANFIS)**

**SKRIPSI**

oleh

**Muhammad Yulio Tri Prakoso  
NIM 111810101051**

**JURUSAN MATEMATIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS JEMBER  
2015**



**PERAMALAN INDEKS HARGA KONSUMEN  
DENGAN JARINGAN SYARAF TIRUAN  
DAN ADAPTIVE NEURO-FUZZY  
INFERENCE SYSTEM (ANFIS)**

**SKRIPSI**

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat  
untuk menyelesaikan Program Studi Matematika (S1)  
dan mencapai gelar Sarjana Sains

oleh

**Muhammad Yulio Tri Prakoso  
NIM 111810101051**

**JURUSAN MATEMATIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS JEMBER  
2015**

## PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. kakek Almarhum Gufron dan Almarhum Dramun serta nenek Rohana dan Almarhumah Kapunah tercinta yang senantiasa memberi semangat dan inspirasi;
2. ayahanda Ngatman dan ibunda Eny Bariroh tercinta yang senantiasa memberi doa, semangat, dan kasing sayang;
3. kakakku Ika Febri Astuti Fajar Nurrachma dan Febriana Mustika Dwi Nurrachma yang senantiasa memberi semangat dan kasing sayang;
4. Dian Anggraeni, S. Si., M. Si selaku Dosen Pembimbing Utama dan Ahmad Kamsyakawuni S. Si., M. Kom selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah memberikan bantuan dan bimbingan secara intensif untuk penyempurnaan skripsi ini;
5. seluruh guru dan dosen sejak taman kanak-kanak hingga perguruan tinggi yang telah memberi banyak ilmu dan membimbing dengan tulus;
6. Almamater Jurusan Matematika FMIPA Universitas Jember;
7. seluruh warga KRAMAT'11 dan HIMATIKA "Geokompstat".

**MOTTO**

“Allah selalu ada pada setiap niat baik”

(Emha Ainun Nadjib) \*)

“Suro diro jayoningrat lebur dening pangastuti”

(Ronggowarsito) \*\*)

“Lebih baik dibenci tapi menjadi diri sendiri  
daripada disukai tapi menjadi orang lain”

(Kurt Cobain) \*\*\*)

---

\*) <https://youtube.com/watch?v=dIdeZriRKwg>.

\*\*) <https://jejaktapak.com/2014/03/12/asal-usul-kalimat-suro-diro-jayaningrat-lebur-dening-pangastuti/>.

\*\*\*) [https://goodreads.com/author/quotes/33041.Kurt\\_Cobain](https://goodreads.com/author/quotes/33041.Kurt_Cobain).

**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

nama : Muhammad Yulio Tri Prakoso

NIM : 111810101051

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Peramalan Indeks Harga Konsumen dengan Jaringan Syaraf Tiruan dan *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS)*” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan dalam institusi manapun dan juga bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, November 2015

Yang menyatakan,

Muhammad Yulio Tri Prakoso  
NIM 111810101051

**SKRIPSI**

**PERAMALAN INDEKS HARGA KONSUMEN  
DENGAN JARINGAN SYARAF TIRUAN  
DAN *ADAPTIVE NEURO-FUZZY  
INFERENCE SYSTEM (ANFIS)***

oleh

**Muhammad Yulio Tri Prakoso  
NIM 111810101051**

**Pembimbing**

Dosen Pembimbing Utama : Dian Anggraeni S. Si., M. Si  
Dosen Pembimbing Anggota : Ahmad Kamsyakawuni S. Si., M. Kom

**PENGESAHAN**

Skripsi berjudul “Peramalan Indeks Harga Konsumen dengan Jaringan Syaraf Tiruan dan *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS)*” telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal :

tempat : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas  
Jember.

Tim Penguji:

Ketua,

Sekretaris,

Dian Anggaraeni, S. Si., M. Si  
NIP. 198202162006042002

Ahmad Kamsyakawuni, S. Si., M. Kom  
NIP. 197211291998021001

Penguji I,

Penguji II,

Kosala Dwidja Purnomo, S. Si., M. Si  
NIP. 196908281998021001

M. Ziaul Arif, S. Si., M. Sc  
NIP. 198501112008121002

Mengesahkan

Dekan,

Prof. Drs. Kusno, DEA, Ph.D.  
NIP. 196101081986021001

## RINGKASAN

**Peramalan Indeks Harga Konsumen dengan Jaringan Syaraf Tiruan dan *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System* (ANFIS);** Muhammad Yulio Tri Prakoso, 111810101051; 2015; 56 Halaman; Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Inflasi merupakan suatu fenomena dalam dunia ekonomi. Di Indonesia, inflasi dihitung dari perubahan harga barang dan jasa yang dinyatakan dengan Indeks Harga Konsumen (IHK). Inflasi tinggi dapat berdampak negatif terhadap kondisi sosial ekonomi masyarakat. Oleh karena itu, diperlukan adanya peramalan IHK yang dapat digunakan sebagai acuan untuk menjaga stabilitas nilai IHK. Metode peramalan yang dapat digunakan adalah Jaringan Syaraf Tiruan (JST) dan *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System* (ANFIS). JST adalah alat pemodelan data statistik nonlinier. Salah satu algoritma yang dapat digunakan untuk melakukan peramalan adalah *backpropagation*. ANFIS adalah gabungan dari logika *fuzzy* dan JST. Salah satu algoritma yang dapat digunakan adalah *hybrid*, yaitu algoritma yang merupakan gabungan dari *Least Squares Estimator* (LSE) dan *Error Backpropagation* (EBP). Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan model peramalan IHK terbaik berdasarkan nilai *Mean Absolute Deviation* (MAD) dan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) pada tahap pengujian menggunakan metode JST dan ANFIS.

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder Indeks Harga Konsumen (IHK) interval bulanan periode Januari 2000 – Agustus 2015 dari Badan Pusat Statistika (BPS). Data IHK periode Januari 2000 – September 2011 digunakan sebagai data pelatihan, sedangkan data IHK periode Oktober 2011 – Agustus 2015 digunakan sebagai data pengujian. Data pelatihan dan pengujian terlebih dahulu dinormalisasi pada *range* [0,1 0,9] untuk menyesuaikan *range* data dengan fungsi aktivasi dan fungsi keanggotaan yang digunakan. Arsitektur JST yang digunakan terdiri dari 3 model, dimana setiap model

memiliki jumlah neuron lapisan tersembunyi masing-masing 2, 5, dan 10. Arsitektur ANFIS yang digunakan terdiri dari 3 model, dimana setiap model memiliki jumlah fungsi keanggotaan *input* sebanyak 2, 5, dan 10.

Pada tahap pengujian, ketiga model JST menghasilkan nilai MAD dan MAPE yang lebih stabil dengan selisih yang sangat kecil dengan rata-rata MAD sebesar 1,764 dan rata-rata MAPE sebesar 1,43 %. Hasil pengujian IHK menggunakan JST dengan algoritma *backpropagation* menunjukkan bahwa model 2 dengan jumlah neuron lapisan tersembunyi sebanyak 5 merupakan model peramalan terbaik menggunakan JST dengan menghasilkan nilai MAD dan MAPE terkecil sebesar 1,743 dan 1,42 %. Sementara itu, ketiga model pengujian ANFIS menghasilkan nilai MAD dan MAPE dengan selisih yang relatif besar dengan rata-rata MAD sebesar 2,115 dan rata-rata MAPE sebesar 1,61 %. Hasil pengujian IHK menggunakan ANFIS dengan algoritma *hybrid* menunjukkan bahwa model 1 dengan jumlah fungsi keanggotaan *input* sebanyak 2 merupakan model peramalan terbaik menggunakan ANFIS dengan menghasilkan nilai MAD dan MAPE terkecil sebesar 1,274 dan 0,97 %.

Secara garis besar, hasil pengujian dari JST dan ANFIS menghasilkan MAD dan MAPE yang sangat baik. Untuk menentukan model terbaik, hasil pengujian JST dibandingkan dengan hasil pengujian ANFIS. Diantara hasil pengujian model JST dan ANFIS, terlihat bahwa ANFIS model 1 memiliki MAD dan MAPE yang lebih kecil dibandingkan dengan model lain. Sehingga, dapat disimpulkan bahwa ANFIS dengan jumlah fungsi keanggotaan *input* sebanyak 2 merupakan model terbaik untuk peramalan IHK jangka panjang dengan akurasi 99,03 %.

## PRAKATA

Segala puji syukur kami panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan segala berkat, rahmat, serta hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Peramalan Indeks Harga Konsumen dengan Jaringan Syaraf Tiruan dan *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS)*”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan pendidikan strata 1 (S1) di Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, baik bantuan secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Dian Anggraeni S. Si., M. Si selaku Dosen Pembimbing Utama dan Ahmad Kamsyakawuni S. Si., M. Kom selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan perhatian dalam penulisan skripsi ini;
2. Kosala Dwidja Purnomo S. Si., M. Si dan M. Ziaul Arif, S. Si., M. Sc selaku Dosen Penguji yang telah memberikan kritik dan saran demi kesempurnaan skripsi ini;
3. seluruh dosen dan karyawan Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam yang telah memberikan ilmu serta nasehat selama proses perkuliahan;
4. kakek Almarhum Gufron dan Almarhum Dramun serta nenek Rohana dan Almarhumah Kapunah tercinta yang senantiasa memberi semangat dan inspirasi;
5. ayahanda Ngatman dan ibunda Eny Bariroh tercinta yang senantiasa memberi doa, semangat, dan kasing sayang;
6. kakakku Ika Febri Astuti Fajar Nurrachma, Febriana Mustika Dwi Nurrachma, Eko Wahyudi, serta keponakan tercinta Cyrania Martha Syafia yang senantiasa memberi semangat dan kasing sayang;

7. keluarga besar KRAMAT'11, Diskusi Akademisi (Haki, Emil, Ivan, Rian, Poty, Darul, Jefri, Rafi, Saipul, Hendri, Zulfi), KKN Kranjangan (Risa, Novita, Ipank, Fian, Yayak), dan sahabat terbaik (Keting, Duki, Agung) yang senantiasa saling mendukung untuk menjadi yang terbaik;
8. pengurus HIMATIKA “Geokompstat” periode 2013 – 2014, 2014 – 2015, dan 2015 – 2016 yang senantiasa mengajarkan banyak hal;
9. semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Skripsi ini juga tidak lepas dari kekurangan dan kesalahan baik isi maupun susunannya. Oleh karena itu, penulis menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberi manfaat bagi pembaca dan kehidupan.

Jember, November 2015

Muhammad Yulio Tri Prakoso

DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	ii
<b>HALAMAN MOTTO</b> .....	iii
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	iv
<b>HALAMAN PEMBIMBINGAN</b> .....	v
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	vi
<b>RINGKASAN</b> .....	vii
<b>PRAKATA</b> .....	ix
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xi
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xiii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xiv
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xv
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b> .....	1
<b>1.1 Latar Belakang</b> .....	1
<b>1.2 Rumusan Masalah</b> .....	3
<b>1.3 Batasan Masalah</b> .....	3
<b>1.4 Tujuan Penelitian</b> .....	3
<b>1.5 Manfaat Penelitian</b> .....	4
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
<b>2.1 Peramalan</b> .....	5
2.1.1 Definisi Peramalan .....	5
2.1.2 Jenis-jenis Peramalan .....	5
2.1.3 Jangka Waktu Peramalan .....	6
<b>2.2 Logika Fuzzy</b> .....	6
2.2.1 Himpunan <i>Fuzzy</i> .....	7
2.2.2 Fungsi Keanggotaan <i>Fuzzy</i> .....	8
2.2.3 Sistem Inferensi <i>Fuzzy</i> Sugeno .....	11
<b>2.3 Jaringan Syaraf Tiruan</b> .....	12

2.3.1	Komparasi Jaringan Syaraf Tiruan dengan Jaringan Syaraf Biologis .....	13
2.3.2	Model Jaringan Syaraf Tiruan .....	14
2.3.3	Arsitektur Jaringan Syaraf Tiruan .....	16
2.3.4	Komponen Jaringan Syaraf Tiruan .....	18
2.3.5	Fungsi Aktivasi <i>Sigmoid</i> Biner .....	19
2.3.6	Algoritma Pembelajaran <i>Backpropagation</i> .....	20
2.3.7	Inisialisasi Bobot Secara Acak .....	23
<b>2.4</b>	<b><i>Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS)</i></b> .....	<b>24</b>
2.4.1	Arsitektur ANFIS .....	24
2.4.2	Algoritma Pembelajaran <i>Hybrid</i> .....	27
<b>2.5</b>	<b>Kriteria Pemilihan Model Terbaik</b> .....	<b>29</b>
2.5.1	<i>Mean Absolute Deviation (MAD)</i> .....	29
2.5.2	<i>Mean Absolute Percentage Error (MAPE)</i> .....	29
<b>BAB 3.</b>	<b>METODE PENELITIAN</b> .....	<b>30</b>
3.1	Data .....	30
3.2	Analisis Data .....	30
3.3	Langkah-langkah Penelitian .....	31
<b>BAB 4.</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	<b>36</b>
4.1	Deskripsi Data Indeks Harga Konsumen (IHK) .....	36
4.2	Hasil Jaringan Syaraf Tiruan .....	38
4.3	Hasil <i>Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS)</i> .....	47
4.4	Pemilihan Model Terbaik .....	53
<b>BAB 5.</b>	<b>PENUTUP</b> .....	<b>54</b>
5.1	Kesimpulan .....	54
5.2	Saran .....	55
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	.....	<b>56</b>
<b>LAMPIRAN</b>	.....	<b>58</b>

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Representasi Kurva Segitiga .....	8
2.2 Representasi Kurva Trapesium .....	9
2.3 Representasi Kurva <i>Generalized Bell</i> .....	10
2.4 Representasi Kurva <i>Gaussian</i> .....	10
2.5 Skema Sistem Inferensi <i>Fuzzy</i> .....	11
2.6 Jaringan Syaraf Biologis .....	13
2.7 Kontruksi Dasar Jaringan Syaraf Tiruan .....	14
2.8 Struktur Neuron Jaringan Syaraf Tiruan .....	15
2.9 Jaringan Lapisan Tunggal ( <i>Single Layer Network</i> ) .....	16
2.10 Jaringan Lapisan Banyak ( <i>Multi Layer Network</i> ) .....	17
2.11 Jaringan Berulang ( <i>Recurrent Network</i> ) .....	17
2.12 Fungsi Aktivasi <i>Sigmoid Biner</i> .....	20
2.13 Arsitektur Jaringan <i>Backpropagation</i> .....	20
2.14 Arsitektur ANFIS Orde 1 dan 5 Lapisan .....	25
3.1 Diagram Alir Penelitian .....	35
4.1 Grafik Indeks Harga Konsumen Indonesia Periode Januari 2000 – Agustus 2015 .....	37
4.2 Korelasi <i>Output</i> Aktual dengan Hasil Pelatihan JST .....	42
4.3 Perbandingan <i>Output</i> Aktual dengan Hasil Pelatihan JST .....	43
4.4 Perbandingan <i>Output</i> Aktual dengan Hasil Pengujian JST .....	45
4.5 Perbandingan <i>Output</i> Aktual dengan Hasil Pelatihan ANFIS .....	49
4.6 Perbandingan <i>Output</i> Aktual dengan Hasil Pengujian ANFIS .....	51

**DAFTAR TABEL**

	Halaman
2.1 Analogi Jaringan Syaraf Tiruan dengan Jaringan Syaraf Biologis .....	14
2.2 Perbandingan antara Sistem <i>Fuzzy</i> dengan Jaringan Syaraf Tiruan .....	24
2.3 Proses Pembelajaran <i>Hybrid</i> .....	27
4.1 Kriteria Koefisien Korelasi .....	41
4.2 Kriteria Nilai Akurasi Peramalan .....	44
4.3 Nilai MAD, MAPE, dan Akurasi Hasil Pelatihan JST .....	44
4.4 Nilai MAD, MAPE, dan Akurasi Hasil Pengujian JST .....	46
4.5 Nilai MAD, MAPE, dan Akurasi Hasil Pelatihan ANFIS .....	50
4.6 Nilai MAD, MAPE, dan Akurasi Hasil Pengujian ANFIS .....	52

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
<b>A. DATA PENELITIAN</b> .....	58
A.1 Indeks Harga Konsumen (IHK) Indonesia Periode Januari 2000 – Agustus 2015 .....	58
A.2 Data Pelatihan (Indeks Harga Konsumen Periode Januari 2000 – September 2011) .....	59
A.3 Data Pengujian (Indeks Harga Konsumen Periode Oktober 2011 – Agustus 2015) .....	62
<b>B. SKRIP METODE JARINGAN SYARAF TIRUAN</b> .....	64
B.1 Model 1 dengan 2 Neuron Lapisan Tersembunyi .....	64
B.2 Model 2 dengan 5 Neuron Lapisan Tersembunyi .....	65
B.3 Model 3 dengan 10 Neuron Lapisan Tersembunyi .....	66
<b>C. TABEL PELATIHAN MODEL JARINGAN SYARAF TIRUAN</b> .....	67
C.1 Pelatihan Model 1 .....	67
C.2 Pelatihan Model 2 .....	71
C.3 Pelatihan Model 3 .....	75
<b>D. TABEL PENGUJIAN MODEL JARINGAN SYARAF TIRUAN</b> .....	79
D.1 Pengujian Model 1 .....	79
D.2 Pengujian Model 2 .....	81
D.3 Pengujian Model 3 .....	82
<b>E. TABEL NILAI <i>ERROR</i> HASIL PENGULANGAN JST</b> .....	84
E.1 Pengulangan Model 1 .....	84
E.2 Pengulangan Model 2 .....	84
E.3 Pengulangan Model 3 .....	85
<b>F. <i>RULE VIEWER</i> ANFIS</b> .....	85
<b>G. TABEL PELATIHAN MODEL ANFIS</b> .....	87
F.1 Pelatihan Model 1 .....	87
F.2 Pelatihan Model 2 .....	91
F.3 Pelatihan Model 3 .....	95

<b>G. TABEL PENGUJIAN MODEL ANFIS</b> .....	99
G.1 Pengujian Model 1 .....	99
G.2 Pengujian Model 2 .....	100
G.3 Pengujian Model 3 .....	102



## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Inflasi adalah suatu fenomena dalam dunia ekonomi. Inflasi dapat diartikan sebagai kenaikan harga barang dan jasa secara umum. Inflasi merupakan salah satu indikator yang dapat memperlihatkan stabilitas ekonomi suatu wilayah berdasarkan Indeks Harga Konsumen (IHK). IHK merupakan suatu indeks yang menunjukkan perkembangan harga barang dan jasa secara umum. Di Indonesia, IHK bersumber dari nilai konsumsi masyarakat terhadap masing-masing komoditas yang diperoleh melalui Survei Biaya Hidup (SBH). IHK dihitung berdasarkan rata-rata perubahan harga sekumpulan barang dan jasa yang dikonsumsi oleh masyarakat atau rumah tangga dalam kurun waktu tertentu (Badan Pusat Statistika, 2015).

IHK dan inflasi memiliki hubungan yang sangat erat karena perubahan IHK mencerminkan adanya perubahan harga barang dan jasa pada suatu komoditas. Jika harga komoditas tersebut mengalami kenaikan maka dapat dikatakan telah terjadi inflasi pada komoditas tersebut. Inflasi sangat mempengaruhi daya beli masyarakat berpenghasilan tetap dan produksi barang (Badan Pusat Statistika, 2015). Hal ini menunjukkan bahwa IHK harus dikendalikan karena inflasi tinggi dan tidak stabil berdampak negatif terhadap kondisi sosial dan ekonomi masyarakat (Bank Indonesia, 2015).

Harga barang dan jasa di pasar selalu mengalami fluktuasi setiap waktu. Perubahan harga ini dapat merugikan konsumen maupun produsen. Pemerintah berkewajiban menjaga tingkat inflasi dengan mengendalikan IHK melalui kebijakan pemerintah. Melalui kebijakan ekonomi, pemerintah diharapkan dapat menjaga stabilitas harga barang dan jasa. Peramalan IHK sangat bermanfaat bagi pemerintah untuk mengantisipasi inflasi yang akan terjadi dengan melakukan perencanaan yang efektif dan efisien di bidang ekonomi. Berdasarkan uraian di atas, peramalan IHK memiliki peran yang penting sebagai acuan pemerintah

dalam mengambil kebijakan. Peramalan IHK berdasarkan IHK yang diperoleh sebelumnya dapat dilakukan dengan analisis deret waktu.

Analisis deret waktu (*time series*) adalah suatu analisis terhadap pengamatan, pencacahan, dan penyusunan peristiwa dari waktu ke waktu secara beruntun dengan interval waktu yang tetap. Pada analisis deret waktu ini, model diidentifikasi dan dibangun dari pola kejadian yang terjadi di masa lampau. Kemudian dapat dilakukan peramalan (*forecasting*) dengan menggunakan model tersebut. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk peramalan adalah Jaringan Syaraf Tiruan (JST). Penggabungan dua metode juga dapat digunakan untuk peramalan. *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System* (ANFIS) adalah salah satu metode *hybrid* hasil penggabungan dua metode.

JST adalah sebuah alat pemodelan data statistik nonlinier. JST dapat digunakan untuk memodelkan hubungan yang kompleks antara *input* dan *output* untuk menemukan pola pada data. JST telah banyak dimanfaatkan di berbagai bidang, salah satunya di bidang kependudukan untuk penentuan pola pertumbuhan penduduk Kabupaten Jember (Cahyaningsih, 2006). JST juga dipallikasikan pada peramalan beban listrik jangka pendek di Kabupaten Karanganyar, Jawa Tengah dengan tingkat akurasi peramalan sebesar 97,65% (Binoto *et al.*, 2012).

ANFIS merupakan gabungan dari logika *fuzzy* dan jaringan syaraf tiruan. ANFIS merupakan metode yang menggunakan jaringan syaraf tiruan untuk mengimplementasikan sistem inferensi *fuzzy*. Penggabungan dua metode ini diharapkan menghasilkan peramalan dengan akurasi yang tinggi. ANFIS diaplikasikan dalam penentuan status aktivitas Gunung Merapi (Fatkhurrozi *et al.*, 2012) dan prakiraan beban puncak jangka panjang pada sistem kelistrikan Indonesia dengan tingkat akurasi peramalan sebesar 95,89% (Rahman *et al.*, 2012).

Pada penelitian ini, JST dan ANFIS digunakan sebagai metode peramalan IHK. Hal ini bertujuan untuk membandingkan hasil antara dua metode tersebut. Sehingga didapatkan model terbaik dengan akurasi peramalan yang tinggi. Kriteria pemilihan model terbaik dilakukan dengan membandingkan nilai *Mean Absolute Deviation* (MAD) dan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) yang

dihasilkan model tersebut. Model dengan nilai MAD dan MAPE terkecil dinyatakan sebagai model terbaik.

### 1.2 Rumusan Masalah

Adapun beberapa rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Bagaimana hasil peramalan IHK menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan (JST) dengan algoritma pembelajaran *backpropagation*?
- b. Bagaimana hasil peramalan IHK menggunakan *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System* (ANFIS) dengan algoritma pembelajaran *hybrid*?
- c. Bagaimana perbandingan hasil peramalan IHK menggunakan JST dan ANFIS dan manakah model yang terbaik?

### 1.3 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini, terdapat beberapa batasan masalah yang digunakan, di antaranya:

- a. Data yang digunakan adalah data sekunder Indeks Harga Konsumen (IHK) Indonesia interval bulanan periode Januari 2000 – Agustus 2015 dari Badan Pusat Statistika (BPS).
- b. Metode peramalan pertama yang digunakan adalah Jaringan Syaraf Tiruan menggunakan fungsi aktivasi *sigmoid* biner dan satu lapisan tersembunyi dengan jumlah neuron sebanyak 2, 5, dan 10.
- c. Metode peramalan kedua yang digunakan adalah *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System* (ANFIS) model Sugeno menggunakan fungsi keanggotaan *generalized bell* dengan jumlah fungsi keanggotaan *input* sebanyak 2, 5, dan 10.

### 1.4 Tujuan Penelitian

Dari permasalahan di atas, tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Mengetahui hasil peramalan terbaik IHK menggunakan JST dengan algoritma pembelajaran *backpropagation*.

- b. Mengetahui hasil peramalan terbaik IHK menggunakan ANFIS dengan algoritma pembelajaran *hybrid*.
- c. Mengetahui perbandingan hasil peramalan IHK menggunakan JST dengan algoritma *backpropagation* dan ANFIS dengan algoritma *hybrid*.
- d. Mengetahui model peramalan IHK terbaik.

### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Mampu mengetahui hasil peramalan terbaik IHK menggunakan JST dengan algoritma pembelajaran *backpropagation*.
- b. Mampu mengetahui hasil peramalan terbaik IHK menggunakan ANFIS dengan algoritma pembelajaran *hybrid*.
- c. Mampu mengetahui perbandingan hasil peramalan IHK menggunakan JST dengan algoritma *backpropagation* dan ANFIS dengan algoritma *hybrid*.
- d. Mampu mengetahui model peramalan IHK terbaik.

## BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Peramalan

#### 2.1.1 Definisi Peramalan

Dalam Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI), peramalan didefinisikan suatu kegiatan untuk menduga hal yang akan terjadi. Terdapat beberapa definisi lain tentang peramalan, diantaranya:

- a. peramalan adalah penggunaan teknik-teknik statistik dalam bentuk gambaran masa depan berdasarkan pengolahan angka-angka historis (Buffa dan Rakesh, 1996);
- b. peramalan merupakan perpaduan antara seni dan ilmu dalam memperkirakan keadaan di masa yang akan datang dengan cara memproyeksikan data-data masa lampau ke masa yang akan datang dengan menggunakan model matematika maupun perkiraan yang subjektif (Heizer dan Render, 1996).

Metode peramalan merupakan cara memperkirakan apa yang akan terjadi pada masa depan secara sistematis dan pragmatis atas dasar data yang relevan pada masa yang lalu, sehingga diharapkan dapat memberikan objektivitas yang lebih besar. Selain itu, metode peramalan dapat memberikan cara pengerjaan yang teratur dan terarah serta dapat dimungkinkan melakukan analisis dengan menggunakan teknik-teknik yang lebih maju. Penggunaan teknik-teknik tersebut diharapkan dapat memberikan tingkat keakuratan yang lebih besar karena dapat diuji penyimpangan atau deviasi yang terjadi secara ilmiah (Makridakis, 1999).

#### 2.1.2 Jenis-jenis Peramalan

Makridakis *et al.* (1999) membagi peramalan berdasarkan sifatnya menjadi dua, yaitu:

- a. Peramalan Kualitatif

Peramalan kualitatif adalah peramalan yang didasarkan atas pendapat suatu pihak dan datanya tidak dapat direpresentasikan menjadi suatu nilai atau angka. Hasil peramalan sangat bergantung pada pendapat orang yang melakukan

peramalan. Hal ini penting karena hasil peramalan tersebut ditentukan berdasarkan pemikiran, pendapat, pengetahuan, dan pengalaman penyusunnya.

b. Peramalan Kuantitatif

Peramalan kuantitatif adalah peramalan yang didasarkan atas data kuantitatif masa lalu. Data kuantitatif merupakan data yang berupa nilai atau angka. Hasil peramalan sangat bergantung pada metode peramalan yang digunakan.

### 2.1.3 Jangka Waktu Peramalan

Jangka waktu peramalan dapat dikelompokkan menjadi tiga kategori, yaitu (Heizer dan Render, 1996):

a. Peramalan Jangka Pendek

Peramalan untuk jangka waktu kurang dari tiga bulan.

b. Peramalan Jangka Menengah

Peramalan untuk jangka waktu antara tiga bulan sampai tiga tahun.

c. Peramalan Jangka Panjang

Peramalan untuk jangka waktu lebih dari tiga tahun.

## 2.2 Logika Fuzzy

Logika *fuzzy* pertama kali dikemukakan oleh Lotfi A. Zadeh pada tahun 1965. Zadeh (1965) memberikan suatu pemecahan terhadap persoalan yang tidak pasti. Logika *fuzzy* adalah pengembangan dari konsep logika boolean. Logika benar dan salah dari logika boolean tidak dapat mengatasi masalah gradasi yang ada di dunia nyata. Zadeh memodifikasi teori himpunan dimana setiap anggotanya memiliki derajat keanggotaan yang bernilai kontinu dari 0 sampai 1, lalu himpunan tersebut dinamakan himpunan *fuzzy*. Maka dari itu, himpunan *fuzzy* berfungsi untuk mengatasi masalah gradasi tersebut. Kusumadewi dan Purnomo (2010) menjelaskan beberapa alasan digunakannya logika *fuzzy*, antara lain:

- konsep matematis yang menjadi dasar penalaran *fuzzy* sangat sederhana dan mudah dimengerti;
- logika *fuzzy* sangat fleksibel;
- logika *fuzzy* memiliki toleransi terhadap data yang tidak tepat;

- d. logika *fuzzy* mampu memodelkan fungsi-fungsi nonlinier yang sangat kompleks;
- e. logika *fuzzy* dapat membangun dan mengaplikasikan pengalaman para pakar secara langsung tanpa harus melalui proses pelatihan;
- f. logika *fuzzy* dapat bekerjasama dengan teknik-teknik kendali secara konvensional;
- g. logika *fuzzy* didasarkan pada bahasa alami.

### 2.2.1 Himpunan *Fuzzy*

Pada himpunan *crisp*, nilai keanggotaan bernilai 0 atau 1. Suatu vektor  $x$  dalam suatu himpunan  $A$ , yang sering ditulis dengan  $\mu_A[x]$ , memiliki 2 kemungkinan (Kusumadewi dan Purnomo, 2010), yaitu:

- a. satu (1), yang berarti bahwa suatu *item* menjadi anggota dalam suatu himpunan, atau;
- b. nol (0), yang berarti bahwa suatu *item* tidak menjadi anggota dalam suatu himpunan.

Sedangkan pada himpunan *fuzzy*, nilai keanggotaan bernilai kontinu dari 0 sampai 1. Nilai keanggotaan suatu *item* dinyatakan dengan derajat keanggotaan yang nilainya terletak pada interval  $[0,1]$ . Nilai keanggotaan *fuzzy* memberikan suatu ukuran terhadap pendapat atau keputusan.

Menurut Kusumadewi dan Purnomo (2010), ada beberapa hal yang perlu diketahui dalam memahami sistem *fuzzy*, yaitu:

- a. Variabel *fuzzy*

Variabel *fuzzy* merupakan variabel yang akan dibahas dalam suatu sistem *fuzzy*.

- b. Himpunan *fuzzy*

Himpunan *fuzzy* merupakan suatu grup yang mewakili suatu kondisi atau keadaan tertentu dalam suatu variabel *fuzzy*. Himpunan *fuzzy* memiliki 2 atribut, yaitu:

1. Linguistik, yaitu penamaan suatu grup yang mewakili suatu kondisi tertentu dengan menggunakan bahasa alami atau pendefinisian suatu kondisi dengan menggunakan kata-kata.

2. Numeris, yaitu suatu nilai (angka) yang menunjukkan ukuran dari suatu variabel atau pendefinisian suatu ukuran variabel menggunakan angka.

Misalnya pada kriteria nilai ujian mahasiswa, secara linguistik dapat dikelompokkan menjadi sangat buruk, buruk, cukup, baik, dan sangat baik. Sedangkan secara numeris dapat ditunjukkan dengan nilai 20, 40, 60, 70, dan 90.

c. Semesta Pembicaraan

Semesta pembicaraan adalah keseluruhan dari nilai yang diperbolehkan untuk dioperasikan dalam suatu variabel *fuzzy*. Ada kalanya nilai semesta pembicaraan ini tidak dibatasi batas atasnya.

d. Domain

Domain himpunan *fuzzy* adalah keseluruhan nilai yang diperbolehkan dalam semesta pembicaraan dan dapat dioperasikan dalam suatu himpunan *fuzzy*.

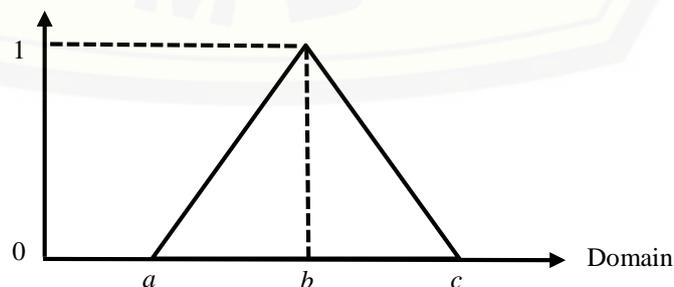
### 2.2.2 Fungsi Keanggotaan *Fuzzy*

Fungsi keanggotaan (*membership function*) adalah suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik-titik *input* data ke dalam derajat keanggotaan yang memiliki nilai interval  $[0,1]$ . Salah satu cara mendapatkan derajat keanggotaan adalah dengan melalui pendekatan fungsi. Ada beberapa jenis pendekatan fungsi yang biasa digunakan untuk mencari fungsi keanggotaan, antara lain:

a. Representasi Kurva Segitiga

Kurva segitiga merupakan gabungan antara 2 garis (Kusumadewi, 2010). Representasi kurva segitiga ditunjukkan pada Gambar 2.1.

Derajat Keanggotaan  $\mu(x)$



Gambar 2.1 Representasi Kurva Segitiga

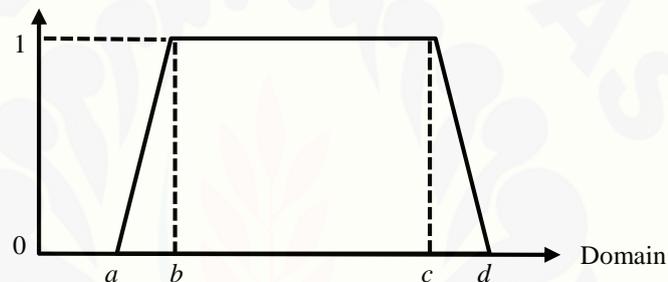
Fungsi keanggotaan segitiga dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$S(x; a, b, c) = \begin{cases} 0; & x < a \\ (x-a)/(b-a); & a \leq x \leq b \\ (c-x)/(c-b); & b < x \leq c \\ 0; & x > c \end{cases}$$

b. Representasi Kurva Trapesium

Kurva trapesium merupakan representasi kurva yang berbentuk trapesium. Pada kurva trapesium terdapat beberapa titik yang memiliki derajat keanggotaan bernilai 1. Representasi kurva trapesium ditunjukkan pada Gambar 2.2.

Derajat Keanggotaan  $\mu(x)$



Gambar 2.2 Representasi Kurva Trapesium

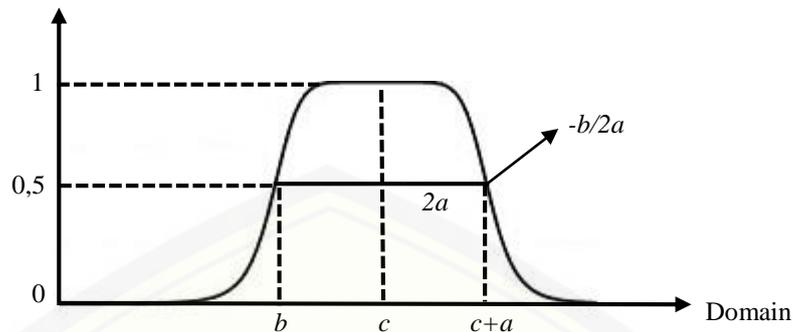
Fungsi keanggotaan trapesium dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$T(x; a, b, c, d) = \begin{cases} 0; & x < a \\ (x-a)/(b-a); & a \leq x \leq b \\ 1; & b < x \leq c \\ (d-x)/(d-c); & c < x \leq d \\ 0; & x > d \end{cases}$$

c. Representasi Kurva *Generalized Bell*

Kurva *generalized bell* merupakan representasi kurva yang menyerupai bentuk lonceng. Kurva *generalized bell* menggunakan  $c$  untuk menunjukkan nilai domain pada pusat kurva dan  $a$  untuk menunjukkan setengah lebar kurva. Representasi kurva *generalized bell* ditunjukkan pada Gambar 2.3.

Derajat Keanggotaan  $\mu(x)$



Gambar 2.3 Representasi Kurva *Generalized Bell*

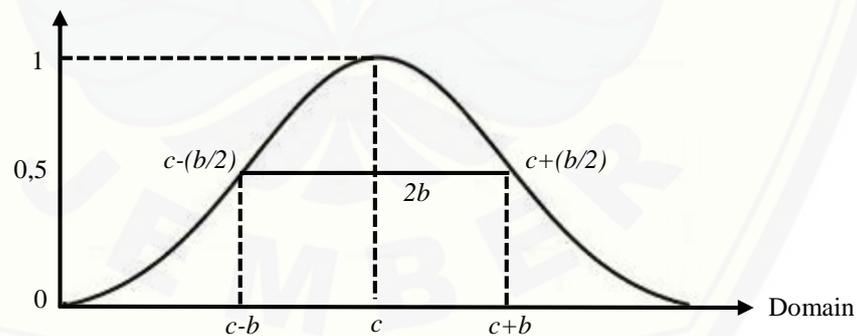
Fungsi keanggotaan *generalized bell* dinyatakan dengan persamaan berikut:

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

d. Representasi Kurva *Gaussian*

Kurva *gaussian* menggunakan  $c$  untuk menunjukkan nilai domain pada pusat kurva (titik pusat domain) dan  $b$  untuk menunjukkan setengah lebar kurva (standar deviasi pada himpunan *fuzzy*). Representasi kurva *gaussian* dapat dilihat pada Gambar 2.4.

Derajat Keanggotaan  $\mu(x)$



Gambar 2.4 Representasi Kurva *Gaussian*

Fungsi keanggotaan *gaussian* dinyatakan dengan persamaan berikut (Kusumadewi, 2004):

$$G(x; b, c) = e^{-\frac{(x-c)^2}{2b^2}}$$

### 2.2.3 Sistem Inferensi *Fuzzy* Sugeno

Sistem inferensi *fuzzy* Sugeno pertama kali dikemukakan oleh Takagi, Sugeno, dan Kang pada tahun 1985. Sistem ini juga biasa disebut sistem inferensi *fuzzy* TSK. *Output* dari metode Sugeno tidak berupa himpunan *fuzzy*, melainkan berupa konstanta atau persamaan linier (Kusumadewi, 2010). Secara skematik, sistem inferensi *fuzzy* dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Skema Sistem Inferensi *Fuzzy*

Sistem inferensi *fuzzy* Sugeno menggunakan aturan IF-THEN dimana *output* metode ini berupa konstanta atau persamaan linier. Sistem ini memiliki beberapa tahapan untuk mengolah *input* yang ada untuk menghasilkan *output*, di antaranya adalah:

a. Tahap fuzzifikasi

Pada tahap ini, data penelitian yang berupa himpunan *crisp* akan ditransformasi menjadi bentuk himpunan *fuzzy* (Jang *et al.*, 1997).

b. Tahap pembentukan aturan dasar

Aturan dasar *fuzzy* menggambarkan hubungan antara fungsi keanggotaan *input* dengan fungsi keanggotaan *output*. Menurut Cox (1994), metode Sugeno terdiri dari dua jenis, yaitu:

1. Sugeno Orde Nol

Model ini memiliki aturan sebagai berikut:

IF  $(x_1 \text{ is } A_1) \circ (x_2 \text{ is } A_2) \circ (x_3 \text{ is } A_3) \circ \dots \circ (x_n \text{ is } A_n)$  THEN  $z = k$ .

Dengan  $A_i$  merupakan himpunan *fuzzy* ke- $i$  sebagai antesenden dan  $k$  merupakan suatu konsekuen berupa konstanta.

2. Sugeno Orde Satu

Model ini memiliki aturan sebagai berikut:

IF  $(x_1 \text{ is } A_1) \circ (x_2 \text{ is } A_2) \circ \dots \circ (x_n \text{ is } A_n)$  THEN  $z = p_1 * x_1 + \dots + p_n * x_n + q$ .

Dengan  $A_i$  merupakan himpunan *fuzzy* ke- $i$  sebagai antesenden dan  $p_i$  merupakan konstanta ke- $i$  dan  $q$  merupakan suatu konsekuen berupa konstanta.

c. Tahap komposisi aturan

Jika sistem terdiri dari beberapa aturan, maka inferensi diperoleh dari kumpulan dan korelasi antar aturan. Proses komposisi aturan dilakukan dengan cara menjumlahkan hasil perkalian antara *fire strength* ( $\alpha$ ) dengan nilai *output* ( $z$ ) seperti persamaan berikut:

$$\sum_{r=1}^R \alpha_r z_r$$

dimana:

$\alpha_r = \text{fire strength}$  aturan ke- $r$ ;

$z_r = \text{output}$  konsekuen aturan ke- $r$ ;

$R = \text{banyaknya}$  aturan.

d. Tahap defuzzifikasi

Pada tahap ini, *output* yang dihasilkan ditransformasikan kembali menjadi nilai *crisp*. Kusumadewi (2010) menjelaskan bahwa defuzzifikasi dapat dilakukan dengan mencari nilai rata-rata terbobot (*weighted average*) menggunakan persamaan berikut:

$$z = \frac{\sum_{r=1}^R \alpha_r z_r}{\sum_{r=1}^R \alpha_r}$$

### 2.3 Jaringan Syaraf Tiruan

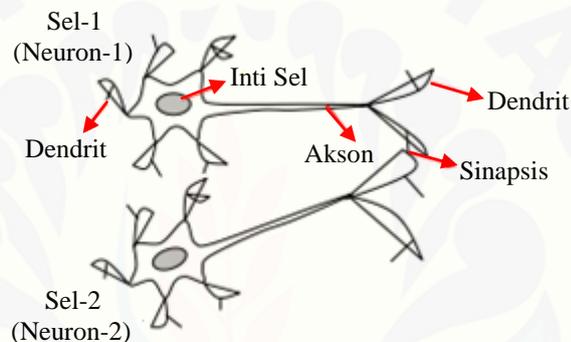
Jaringan syaraf tiruan pertama kali dikemukakan oleh Waren McCulloch dan Walter Pits (1943). Jaringan Syaraf Tiruan merupakan implementasi dari teknologi kecerdasan buatan (*artificial intelligence*). Jaringan syaraf tiruan adalah bentuk tiruan dari jaringan syaraf biologis, karena jaringan syaraf tiruan meniru cara kerja jaringan syaraf biologis. Suatu jaringan syaraf tiruan memproses sejumlah besar

informasi secara paralel dan terdistribusi, hal ini terinspirasi oleh model kerja jaringan syaraf biologis (Haykin, 1999).

### 2.3.1 Komparasi Jaringan Syaraf Tiruan dengan Jaringan Syaraf Biologis

Jaringan syaraf merupakan kumpulan dari sel-sel syaraf. Sel-sel syaraf (neuron) berfungsi untuk memberikan sebuah tanggapan atas sebuah rangsangan yang didapatnya. Komponen utama dari neuron adalah:

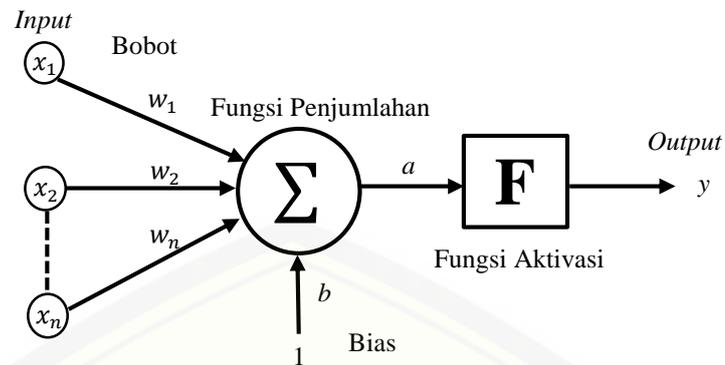
- dendrit, berfungsi untuk menerima rangsangan;
- badan sel (soma), berfungsi sebagai tempat pengolahan rangsangan;
- akson (neurit), berfungsi mengirimkan impuls-impuls ke sel syaraf lainnya.



Gambar 2.6 Jaringan Syaraf Biologis

Menurut Siang (2004), asumsi kesamaan jaringan syaraf tiruan dengan jaringan syaraf biologis adalah sebagai berikut:

- pengolahan informasi terjadi pada beberapa elemen pemroses sederhana yang disebut neuron;
- sinyal antara dua buah neuron diteruskan melalui *link-link* koneksi yang terhubung dan menciptakan jaringan koneksi;
- setiap *link* koneksi mempunyai bobot yang dapat ditentukan;
- setiap neuron menggunakan fungsi aktivasi terhadap *input* jaringan (jumlah sinyal *input* berbobot), yang bertujuan untuk menentukan sinyal *output*. Fungsi aktivasi yang digunakan adalah fungsi nonlinier.



Gambar 2.7 Kontruksi Dasar Jaringan Syaraf Tiruan

Analogi jaringan syaraf tiruan dengan jaringan syaraf biologis dapat dilihat pada Tabel 2.1 sebagai berikut:

Tabel 2.1 Analogi Jaringan Syaraf Tiruan dengan Jaringan Syaraf Biologis

Jaringan Syaraf Tiruan	Jaringan Syaraf Biologis
<i>Node</i> (unit)	Badan sel (soma)
<i>Input</i>	Dendrit
<i>Output</i>	Akson
Bobot	Sinapsis
Informasi	Rangsangan

Cara belajar jaringan syaraf tiruan adalah dengan memasukkan informasi yang telah diketahui outputnya ke dalam jaringan syaraf tiruan. Informasi masuk ke dalam jaringan syaraf tiruan melalui *node input*. Bobot-bobot antar koneksi diberikan nilai awal kemudian jaringan syaraf tiruan akan dijalankan. Perubahan bobot dilakukan terus-menerus dengan menggunakan kriteria tertentu hingga diperoleh hasil yang diharapkan (Cahyarini, 2008).

### 2.3.2 Model Jaringan Syaraf Tiruan

Neuron yang terdapat pada jaringan syaraf tiruan dikumpulkan pada suatu lapisan-lapisan yang disebut lapisan neuron (*neuron layer*). Ada tiga macam lapisan pada jaringan syaraf tiruan, yaitu:

- Lapisan *input* (*input layer*)

Lapisan *input* merupakan lapisan pertama pada jaringan syaraf tiruan. *Node* (unit *input*) menerima *input* ( $x_i$ ) yang merupakan penggambaran suatu informasi dari luar.

b. Lapisan tersembunyi (*hidden layer*)

Lapisan ini akan terhubung dengan lapisan sebelum dan sesudahnya. *Output* dari lapisan tersembunyi tidak dapat langsung diamati.

c. Lapisan *output* (*output layer*)

Lapisan *output* merupakan lapisan akhir pada jaringan syaraf tiruan. *Output* pada lapisan ini merupakan *output* dari jaringan.

Informasi dirambatkan dari lapisan ke lapisan, mulai dari lapisan *input* sampai lapisan *output* dengan melalui lapisan-lapisan lain yang biasa disebut lapisan tersembunyi. Suatu lapisan tersembunyi akan dihubungkan dengan lapisan-lapisan sebelum dan sesudahnya, kecuali lapisan *input* dan *output*.

Jaringan syaraf terdiri dari beberapa neuron dan terdapat hubungan antara neuron-neuron tersebut. Neuron akan mentransformasikan informasi yang diterima melalui sambungan *output*nya menuju ke neuron lain. Pada jaringan syaraf tiruan, hubungan ini dikenal dengan istilah bobot (*weight*). Informasi tersebut disimpan pada nilai tertentu pada bobot tersebut. Gambar 2.8 menunjukkan struktur neuron jaringan syaraf tiruan.



Gambar 2.8 Struktur Neuron Jaringan Syaraf Tiruan

Kusumadewi (2004) menjelaskan secara rinci mengenai prosedur kerja jaringan syaraf tiruan sebagai berikut:

- input* berupa informasi dikirim ke neuron dengan bobot awal tertentu;
- input* diproses dengan suatu fungsi perambatan yang akan menjumlahkan nilai-nilai semua bobot;

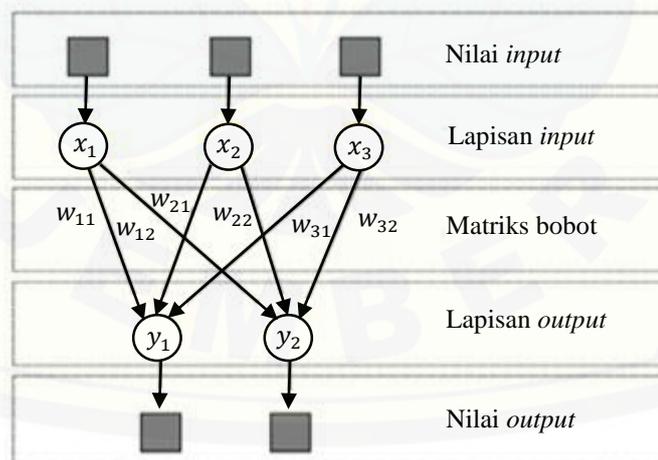
- c. hasil penjumlahan dibandingkan dengan nilai ambang (*threshold*) tertentu;
- d. jika *input* lebih besar dari nilai ambang, maka neuron akan diaktifkan. Jika *input* tidak lebih besar dari nilai ambang, maka neuron akan dinonaktifkan;
- e. apabila neuron diaktifkan, maka neuron akan mengirimkan *output* ke semua neuron yang berhubungan dengannya melalui bobot-bobot outputnya.

### 2.3.3 Arsitektur Jaringan Syaraf Tiruan

Arsitektur jaringan menggambarkan pola keterhubungan neuron antar lapisan. Neuron yang terletak pada lapisan yang sama akan memiliki keadaan yang sama. Suatu neuron harus ditentukan fungsi aktivasi dan pola bobotnya. Setiap neuron pada lapisan yang sama juga memiliki fungsi aktivasi yang sama. Ada beberapa macam arsitektur jaringan syaraf tiruan, antara lain (Haykin, 1994):

#### a. Jaringan Lapisan Tunggal (*Single Layer Network*)

Jaringan ini hanya memiliki satu lapisan dengan bobot terhubung. Jaringan ini hanya terdiri dari lapisan *input* dan *output*. Jaringan ini menerima *input* yang kemudian secara langsung akan mengolahnya menjadi *output* tanpa harus melalui lapisan tersembunyi. Jaringan lapisan tunggal ditunjukkan pada Gambar 2.9.

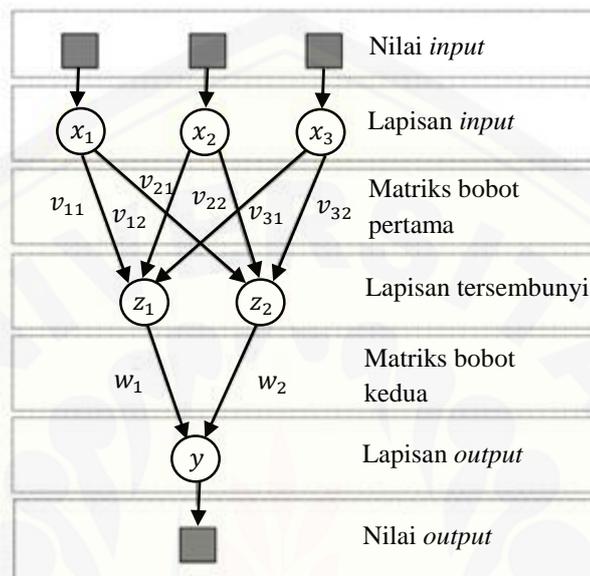


Gambar 2.9 Jaringan Lapisan Tunggal (*Single Layer Network*)

#### b. Jaringan Lapisan Banyak (*Multi Layer Network*)

Jaringan ini memiliki satu atau lebih lapisan tersembunyi yang terletak di antara lapisan *input* dan *output*. Jaringan dengan banyak lapisan ini dapat

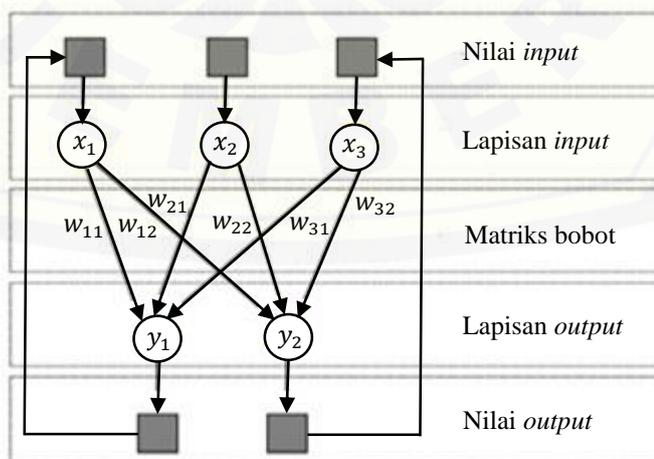
menyelesaikan permasalahan yang lebih sulit dari pada jaringan lapisan tunggal, tetapi proses pembelajarannya lebih rumit. Jaringan ini pada banyak kasus lebih sukses dalam menyelesaikan masalah. Jaringan lapisan banyak dapat dilihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Jaringan Lapisan Banyak (*Multi Layer Network*)

c. Jaringan Berulang (*Recurrent Network*)

Jaringan berulang memiliki paling sedikit satu putaran arus balik (*feedback loop*) dimana adanya koneksi umpan balik dari *output* ke *input*. Putaran arus balik ini yang membedakan jaringan berulang dengan jaringan lapisan tunggal dan jaringan lapisan banyak. Gambar 2.11 menunjukkan jaringan berulang.



Gambar 2.11 Jaringan Berulang (*Recurrent Network*)

### 2.3.4 Komponen Jaringan Syaraf Tiruan

Proses informasi jaringan syaraf tiruan disesuaikan dengan arsitektur jaringan. Ada 6 komponen utama dalam proses informasi jaringan syaraf tiruan, yaitu:

a. Masukan (*Input*)

*Input* dalam jaringan syaraf tiruan dinotasikan vektor  $x$ , misal  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ , dimana  $n$  adalah banyaknya *input*. Setiap *input* bersesuaian dengan suatu atribut tunggal. Sinyal-sinyal *input* tersebut akan diteruskan ke lapisan selanjutnya.

b. Keluaran (*Output*)

*Output* adalah hasil pemahaman jaringan terhadap data *input*. *Output* berupa suatu solusi atau pemecahan masalah. *Output* dinotasikan vektor  $y$ , misal  $y_1, y_2, y_3, \dots, y_j$ , dimana  $j$  adalah banyaknya elemen pemroses.

c. Bobot (*Weight*)

Bobot menggambarkan nilai matematis *input* awal dari satu lapisan ke lapisan lainnya. Pemberian bobot dilakukan berulang-ulang agar jaringan syaraf tiruan melakukan proses belajar. Bobot dinotasikan dengan  $w$ , misal  $w_{11}, w_{12}, w_{1j}, \dots, w_{nj}$ , dimana  $n$  adalah banyaknya *input* dan  $j$  adalah banyaknya elemen pemroses.

d. Fungsi Penjumlahan (*Summation Function*)

Fungsi penjumlahan digunakan untuk mencari rata-rata bobot dari setiap elemen *input*. Fungsi ini mengalikan setiap *input* ( $x_i$ ) dengan bobot ( $w_{ij}$ ) dan kemudian menjumlahkannya. Fungsi jumlahan dinotasikan dengan  $A$ .

$$A = x_1w_{11} + x_1w_{12} + \dots + x_1w_{1j} + x_2w_{21} + \dots + x_nw_{nj}$$

e. Bias

Bias merupakan nilai yang dapat ditambahkan dalam suatu jaringan syaraf tiruan. Bias dapat dipandang sebagai *input* yang nilainya 1. Bias berfungsi untuk mengubah nilai ambang (*threshold*) menjadi sama dengan nol. Bias dapat mempercepat pelatihan karena bias berfungsi sebagai faktor koreksi terhadap *input* yang ditetapkan. Bias dinotasikan dengan  $b$ . Jika menggunakan bias, maka *output* fungsi penjumlahan dapat ditulis sebagai berikut:

$$net = b + A$$

f. Fungsi Aktivasi (*Activation Function*)

Fungsi yang menghitung stimulasi tingkat aktivasi internal (fungsi jumlahan) dari syaraf (Siang, 2004), yaitu:

$$y = F(net)$$

### 2.3.5 Fungsi Aktivasi *Sigmoid* Biner

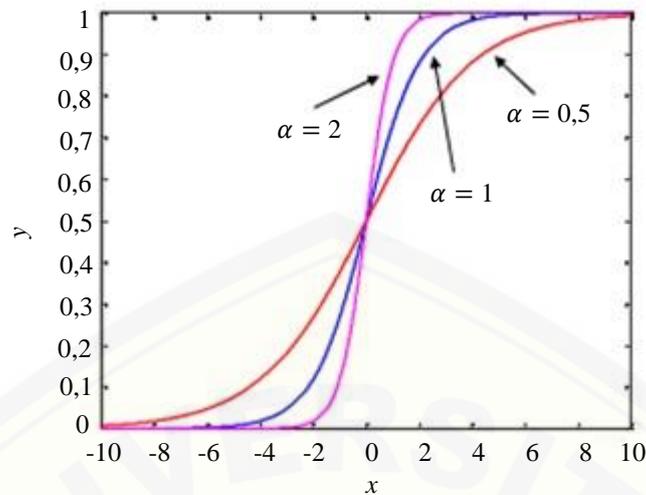
Fungsi aktivasi merupakan suatu fungsi berupa persamaan matematis yang memungkinkan jaringan syaraf tiruan mengenali pola data pada lapisan *output*. Ada beberapa fungsi aktivasi dalam jaringan syaraf tiruan. Salah satu fungsi aktivasi yang biasa digunakan adalah fungsi *sigmoid* biner. *Sigmoid* biner merupakan fungsi aktivasi nonlinier. Fungsi ini dinamakan *sigmoid* karena bentuk kurvanya menyerupai huruf S. Fungsi aktivasi yang digunakan dalam *backpropagation* harus memenuhi beberapa syarat, yaitu kontinu, terdiferensiasi dengan mudah, dan merupakan fungsi yang tidak turun (Siang, 2004).

Fungsi *sigmoid* biner memiliki nilai pada *range* (0,1). Maka dari itu, fungsi ini banyak digunakan untuk jaringan syaraf tiruan yang memiliki *output* pada *range* 0 sampai 1. Namun, fungsi ini juga dapat digunakan untuk jaringan syaraf tiruan yang nilai outputnya 0 atau 1. Kelebihan dari fungsi *sigmoid* biner adalah adanya hubungan sederhana antara nilai fungsi pada suatu titik dengan nilai turunannya sehingga dapat mengurangi biaya dan menghemat waktu komputasi.

Pada jaringan syaraf tiruan, fungsi *sigmoid* biner juga biasa disebut fungsi *logistic sigmoid* (*logsig*). Fungsi *sigmoid* biner dapat dituliskan menggunakan persamaan berikut:

$$y = f(x) = \frac{1}{1+e^{-\alpha x}} \quad (2.1)$$

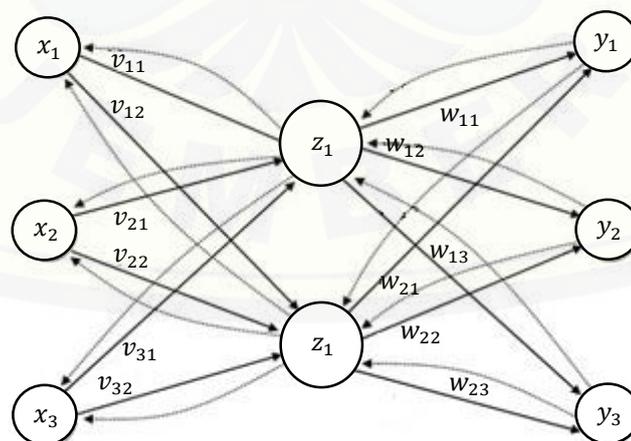
dimana  $\alpha$  merupakan parameter bentuk dari fungsi *sigmoid biner*. Nilai  $\alpha$  yang biasa digunakan adalah 1. Fungsi *sigmoid* biner dengan beberapa nilai  $\alpha$  ditunjukkan pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Fungsi Aktivasi Sigmoid Biner

### 2.3.6 Algoritma Pembelajaran *Backpropagation*

Algoritma *backpropagation* pertama kali dikemukakan oleh Paul Werbos pada tahun 1974. *Backpropagation* merupakan salah satu algoritma belajar terawasi (*supervised*). Jika hasil *output* jaringan tidak sesuai dengan *output* target, maka bobot dapat dimodifikasi agar dapat memperkecil *error* dan mendekati hasil yang benar. Arsitektur *backpropagation* terdiri dari tiga jenis lapisan, yaitu lapisan *input*, lapisan tersembunyi, dan lapisan *output*. *Backpropagation* digunakan pada jaringan lapisan banyak untuk mengubah bobot-bobot terhubung yang terdapat pada lapisan tersembunyi. Gambar 2.13 menunjukkan arsitektur jaringan *backpropagation*.

Gambar 2.13 Arsitektur Jaringan *Backpropagation*

Menurut Fausset (1994), algoritma ini diawali dengan melakukan inisialisasi bobot dan bias awal secara acak. Ada 3 tahap yang terdapat pada algoritma *backpropagation*, yaitu:

a. Tahap Maju (*Feedforward*)

Pada tahap ini, setiap sinyal *input* dihitung maju ke lapisan tersembunyi sampai lapisan *output* dengan menggunakan fungsi aktivasi yang ditentukan. Jumlah total *input* unit ke-*j* pada lapisan tersembunyi adalah:

$$z_{net_j} = b_{0j} + \sum_{i=1}^n x_i v_{ij} \quad (2.2)$$

dimana:

$x_i$  = unit *input* ke-*i*;

$v_{ij}$  = nilai bobot antara lapisan *input* dan lapisan tersembunyi;

$b_{0j}$  = nilai bobot bias pada lapisan tersembunyi;

$i = 1, 2, 3, \dots, n$  dan  $j = 1, 2, 3, \dots, m$ .

Fungsi keanggotaan yang digunakan adalah fungsi keanggotaan *sigmoid* biner. Dengan menggunakan fungsi *sigmoid* biner, maka *output* yang dihasilkan adalah:

$$z_j = f(z_{net_j}) = \frac{1}{1 + e^{(-z_{net_j})}} \quad (2.3)$$

Kemudian *output* dari lapisan tersembunyi ini akan diteruskan ke lapisan *output*. Jumlah total *input* ke-*k* pada lapisan *output* adalah:

$$y_{net_k} = b_{0k} + \sum_{j=1}^m z_j w_{jk} \quad (2.4)$$

dimana:

$z_j$  = *input* ke-*j* pada lapisan *output*;

$w_{jk}$  = nilai bobot antara lapisan tersembunyi dengan lapisan *output*;

$b_{0k}$  = nilai bobot bias pada lapisan *output*;

$j = 1, 2, 3, \dots, m$  dan  $k = 1, 2, 3, \dots, p$ .

Maka didapatkan *output* jaringan menggunakan fungsi keanggotaan *sigmoid* biner sebagai berikut:

$$y_k = f(y_{net_k}) = \frac{1}{1 + e^{-(y_{net_k})}} \quad (2.5)$$

b. Tahap Mundur (*Backforward*)

Pada tahap ini, *output* jaringan dibandingkan dengan *output* target dan menghasilkan *error*. *Error* yang didapatkan berfungsi untuk memperbaiki bobot. Nilai *error* pada lapisan *output* dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\delta_k = (t_k - y_k) \cdot f'(y_{net_k}) \quad (2.6)$$

dimana:

$\delta_k$  = nilai *error* yang diperoleh;

$t_k$  = nilai *output* target;

$y_k$  = nilai *output* jaringan.

Setiap unit lapisan tersembunyi menjumlahkan delta masukan dari lapisan *output* dengan persamaan berikut:

$$\delta_{net_j} = \sum_{k=1}^m \delta_k w_{jk} \quad (2.7)$$

Kemudian nilai *error* pada lapisan tersembunyi dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\delta_j = \delta_{net_j} \cdot f'(z_{net_j}) \quad (2.8)$$

c. Tahap Modifikasi Bobot

Pada tahap ini, modifikasi bobot dilakukan dengan cara memperbarui nilai bobot yang bertujuan untuk memperkecil *error* yang akan terjadi. Modifikasi bobot dilakukan dengan menggunakan kombinasi laju pembelajaran (*learning rate*) dengan momentum. Setelah mendapatkan nilai *error*, nilai bobot dari lapisan tersembunyi ke lapisan *output* dapat diperbarui dengan persamaan berikut:

$$w_{jk}(t+1) = w_{jk}(t) + \alpha \cdot \delta_k \cdot z_j + \mu(w_{jk}(t) - w_{jk}(t-1)) \quad (2.9)$$

Nilai bobot bias dari lapisan tersembunyi ke lapisan *output* dapat diperbarui dengan persamaan berikut:

$$b_{0k}(t+1) = b_{0k}(t) + \alpha \cdot \delta_k + \mu(b_{0k}(t) - b_{0k}(t-1)) \quad (2.10)$$

dimana laju pembelajaran ( $\alpha$ ) dan momentum ( $\mu$ ) berfungsi untuk mengatur laju perubahan bobot. Nilai  $\alpha$  dan  $\mu$  bernilai dari 0 sampai 1. Variabel  $t$

menunjukkan waktu. Nilai bobot dari lapisan *input* ke lapisan tersembunyi dapat diperbarui dengan persamaan berikut:

$$v_{ij}(t + 1) = v_{ij}(t) + \alpha \cdot \delta_j \cdot x_i + \mu(v_{ij}(t) - v_{ij}(t - 1)) \quad (2.11)$$

Nilai bobot bias dari lapisan *input* ke lapisan tersembunyi dapat diperbarui dengan persamaan berikut:

$$b_{0j}(t + 1) = b_{0j}(t) + \alpha \cdot \delta_j + \mu(b_{0j}(t) - b_{0j}(t - 1)) \quad (2.12)$$

Ada 2 tahap yang harus dilakukan untuk mendapatkan *output* yang optimal pada jaringan syaraf tiruan, yaitu:

a. Tahap Pelatihan

Pelatihan bertujuan untuk melakukan pembelajaran terhadap pola yang digunakan sebagai *input*. Proses ini menggunakan data pelatihan dan berhenti jika *error* lebih kecil dari *error tolerance* yang ditetapkan atau mencapai jumlah *epoch* yang telah ditentukan. Jika memenuhi salah satu syarat tersebut, maka proses pelatihan berhenti dan menghasilkan bobot-bobot neuron. Konvergensi dan kecepatan pelatihan sangat bergantung pada arsitektur jaringan. Arsitektur jaringan dipengaruhi oleh jumlah lapisan tersembunyi dan jumlah neuron lapisan tersembunyi. Jaringan dengan satu lapisan tersembunyi sudah cukup untuk mengenali pola *input - output* data. Salah satu parameter yang dapat mengoptimalkan jaringan adalah jumlah neuron lapisan tersembunyi. Arsitektur jaringan yang optimal akan menghasilkan pelatihan yang cepat dan nilai *error* yang kecil. Beberapa *epoch* diperlukan untuk memperkecil *error* sehingga *error* mendekati nol (Siang, 2004).

b. Tahap Pengujian

Pada tahap ini, bobot yang didapat dari tahap pelatihan digunakan untuk menguji data pengujian. Tahap ini akan menunjukkan seberapa besar keakuratan model yang diperoleh dari tahap pelatihan.

### 2.3.7 Inisialisasi Bobot Secara Acak

Penentuan bobot awal sangat penting untuk mempercepat proses pelatihan menuju kekonvergenan dan mencapai minimum global maupun lokal terhadap nilai *error*. Jika nilai bobot awal terlalu besar, maka *input* ke setiap lapisan tersembunyi

atau lapisan outputnya berada di daerah dimana turunan sigmoidnya akan sangat kecil. Jika nilai bobot awal terlalu kecil, maka pelatihan akan berjalan lambat dan *input* ke setiap lapisan tersembunyi atau lapisan *output* akan sangat kecil. Secara acak, bobot awal diinisialisasi dengan nilai antara -0,5 sampai 0,5 atau -1 sampai 1 atau interval lainnya (Kusumadewi, 2004).

#### 2.4 Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS)

*Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System* (ANFIS) pertama kali dikemukakan oleh J. S. R. Jang (1992). ANFIS adalah gabungan dari logika *fuzzy* dengan jaringan syaraf tiruan. ANFIS merupakan implementasi jaringan adaptif yang berbasis pada sistem inferensi *fuzzy* (Kusumadewi dan Hartati, 2006). Penggabungan dua metode ini menghasilkan ANFIS yang memiliki semua kelebihan dari logika *fuzzy* dan jaringan syaraf tiruan. Dibawah ini diberikan tabel perbandingan antara sistem inferensi *fuzzy* dengan jaringan syaraf tiruan (Kusumadewi, 2010):

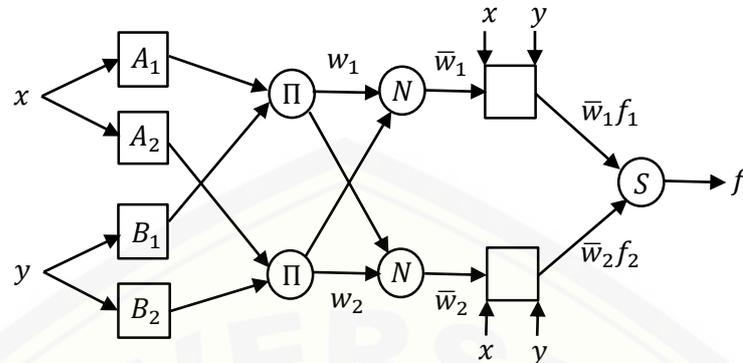
Tabel 2.2 Perbandingan antara Sistem Inferensi *Fuzzy* dengan Jaringan Syaraf Tiruan

Masalah	Penyelesaian	
	Sistem Inferensi <i>Fuzzy</i>	Jaringan Syaraf Tiruan
Model Matematika	Cukup Baik	Buruk
Kemampuan Pembelajaran	Buruk	Baik
Representasi Pengetahuan	Baik	Buruk
Pengetahuan Pakar	Baik	Buruk
Non-linieritas	Baik	Baik
Kemampuan Optimasi	Buruk	Cukup Baik
Toleransi Kegagalan	Baik	Baik
Toleransi Ketidakpastian	Baik	Baik
Operasi Waktu	Baik	Cukup Baik

##### 2.4.1 Arsitektur *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System* (ANFIS)

Arsitektur ANFIS menggunakan sistem inferensi *fuzzy* Sugeno orde satu. Sistem inferensi *fuzzy* Sugeno orde satu digunakan karena memiliki kesederhanaan dan kemudahan komputasi. Arsitektur ANFIS terdiri dari 5 lapisan, 2 *input*, 2

aturan, dan 1 *output*. Arsitektur ANFIS dapat dilihat pada Gambar 2.14 (Jang *et al.*, 1997).



Gambar 2.14 Arsitektur ANFIS Orde 1 dan 5 Lapisan

Pada gambar 2.14 terdapat 5 lapisan yang memiliki fungsi yang berbeda pada tiap lapisannya. Lambang kotak adalah simpul adaptif yang berarti nilai parameternya dapat berubah pada tahap pembelajaran. Sedangkan lambang lingkaran adalah simpul non-adaptif yang berarti nilai parameternya tetap. Skema jaringan syaraf tiruan dengan fungsi-fungsi pada setiap bagiannya disamakan dengan sistem inferensi *fuzzy*, sehingga kita bisa sebut skema di atas sebagai skema ANFIS.

Menurut Kusumadewi dan Hartati (2006), ada 5 lapisan (*layers*) yang terdapat dalam arsitektur ANFIS, yaitu:

a. Lapisan 1 (Lapisan *fuzzy*)

Setiap simpul yang berada pada lapisan 1 adalah simpul adaptif yang artinya nilai parameter dapat berubah dengan fungsi simpul sebagai berikut:

$$O_{1,i} = \mu_{A_i}(x); i = 1,2$$

$$O_{1,i} = \mu_{B_{i-2}}(y); i = 3,4$$

Dengan  $x$  dan  $y$  adalah *input* pada simpul ke- $i$ . Sedangkan  $A_i$  dan  $B_{i-2}$  adalah fungsi keanggotaan masing-masing simpul.  $O_{1,i}$  berfungsi menyatakan suatu derajat keanggotaan setiap *input* terhadap himpunan *fuzzy* A dan B dengan  $A_1, A_2, B_1, B_2$  merupakan variabel linguistik. Fungsi keanggotaan yang digunakan adalah fungsi keanggotaan *generalized bell*. Fungsi keanggotaan *generalized bell* dapat ditulis sebagai berikut:

$$f(x; a_i, b_i, c_i) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x-c_i}{a_i} \right|^{2b_i}} \quad (2.13)$$

dimana  $a_i, b_i$  dan  $c_i$  merupakan himpunan parameter yang disebut parameter premis. Dengan mengambil nilai  $b_i = 1$ , maka hanya parameter  $a_i$  dan  $c_i$  yang akan mengalami perubahan selama proses pembelajaran. Jika nilai dari parameter ini berubah, maka kurva *generalized bell* juga akan berubah.

b. Lapisan 2 (Lapisan produk)

Setiap simpul yang berada pada lapisan 2 adalah simpul non-adaptif yang artinya nilai parameternya tetap. Fungsi simpul ini mengalikan setiap sinyal *input* yang datang sebagai berikut:

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

Setiap simpul *output* menyatakan derajat pengaktifan pada setiap aturan *fuzzy*. Banyaknya aturan yang dibentuk mengikuti banyaknya simpul pada lapisan ini.

c. Lapisan 3 (Lapisan normalisasi)

Setiap simpul yang berada pada lapisan ini adalah simpul non-adaptif yang menyatakan fungsi derajat ternormalisasi yang merupakan rasio *output* simpul ke- $i$  pada lapisan sebelumnya sebagai berikut:

$$O_{3,i} = \bar{w}_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2}; i = 1,2$$

Jika terdapat lebih dari 2 aturan, maka fungsi dapat diperluas dengan membagi  $\bar{w}_i$  dengan jumlah total  $w$  untuk semua aturan.

d. Lapisan 4 (Lapisan defuzzifikasi)

Setiap simpul pada lapisan ini adalah simpul adaptif dengan fungsi simpul sebagai berikut:

$$O_{4,i} = \bar{w}_i f_i = \bar{w}_i (p_i x + q_i y + r_i)$$

Dengan  $\bar{w}_i$  dalah derajat pengaktifan normalisasi yang dihasilkan dari lapisan 3 dan  $p_i, q_i, r_i$  adalah parameter konsekuen yang adaptif.

e. Lapisan 5 (Lapisan total *output*)

Lapisan ini adalah lapisan terakhir yang berfungsi menjumlahkan seluruh *input* dengan fungsi simpul sebagai berikut:

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

### 2.3.2 Algoritma Pembelajaran *Hybrid*

Proses pembelajaran dalam ANFIS menggunakan algoritma pembelajaran *hybrid*. Algoritma belajar *hybrid* adalah gabungan metode *Least Squares Estimator* (LSE) dan metode *Error Backpropagation* (EBP). Pada lapisan 1, parameter dari fungsi keanggotaan himpunan *fuzzy* bersifat nonlinier terhadap *output* sistem. Metode *Error Backpropagation* (EBP) digunakan untuk memperbaiki nilai parameter dalam proses belajar, sedangkan pada lapisan 4, parameter yang digunakan adalah parameter linier terhadap *output* sistem. Proses belajar dilakukan dengan memperbaiki parameter dengan menggunakan *Least Squares Estimator* (LSE). Proses pembelajaran ANFIS dapat dilihat pada Tabel 2.3 sebagai berikut (Jang *et al.*, 1997):

Tabel 2.3 Proses Pembelajaran ANFIS

	Alur Maju	Alur Mundur
Parameter Premis	Tetap	EBP
Parameter Konsekuen	LSE	Tetap
Sinyal	Keluaran Simpul	Sinyal Kesalahan

Ada 2 jenis alur yang digunakan proses pembelajaran pada ANFIS, yaitu:

a. Alur Maju

Proses ini dilakukan dari lapisan 1 sampai ke lapisan 5. Pada lapisan 1 akan dilakukan proses fuzzifikasi terhadap data *input* pada setiap periode. Proses ini memetakan *input* kedalam himpunan *fuzzy* sesuai klasifikasi. Kemudian dilakukan perhitungan fungsi keanggotaan *fuzzy* untuk mentransformasi *input* himpunan *crisp* ke derajat tertentu. Pada lapisan 2 dan 3 dilakukan proses sistem inferensi *fuzzy* dan ditentukan aturan *fuzzy* untuk melakukan proses perhitungan. Pada lapisan 4 dilakukan proses defuzzifikasi dengan mentransformasikan hasil *fuzzy* ke bentuk *output crisp*. Kemudian dilakukan penghitungan LSE (*Least Squares Estimator*) untuk mendapatkan nilai parameter konsekuen. Pada lapisan 5 dilakukan penarikan kesimpulan dari 2 *output* lapisan 4.

b. Alur Mundur

Proses ini dilakukan dari lapisan 5 sampai ke lapisan 1. Pada proses ini digunakan algoritma *Error Backpropagation* (EBP) dengan menghitung *error* pada setiap lapisan untuk memperbarui parameter ANFIS. Pada lapisan 5 dilakukan penghitungan *error* dengan rumus sebagai berikut:

$$\varepsilon_5(i) = \partial \left[ \frac{(yd-y)^2}{2} \right] = yd - y$$

dimana:

$yd$  = *output* aktual;

$y$  = *output* ANFIS.

Pada lapisan 4 tidak dilakukan penghitungan *error* karena pada alur mundur ini tidak terdapat pembaruan nilai parameter konsekuen di lapisan 4. Pada lapisan 3 dilakukan penghitungan *error* dengan rumus sebagai berikut:

$$\varepsilon_3(i) = \varepsilon_5(i) \cdot O_4(i) ; i = 1, 2$$

Pada lapisan 2 dilakukan perhitungan *error* dengan rumus sebagai berikut:

$$\varepsilon_2(i) = \varepsilon_3(i) \cdot \frac{w_i}{(w_1+w_2)^2} ; i = 1, 2$$

Pada lapisan 1 dilakukan *error* menggunakan rumus berikut:

$$\varepsilon_1(i) = \varepsilon_2(i) \cdot O_1(i) ; i = 1, 2$$

Setelah dilakukan perhitungan *error* pada setiap lapisan, maka dapat dilakukan pembaruan nilai parameter dengan mendiferensialkan masing-masing parameter premis terhadap fungsi keanggotaan yang digunakan dengan menginputkan nilai *error* sebelumnya.

Rumus perhitungan perubahan parameter  $a$  adalah sebagai berikut:

$$\Delta a_{ij} = \eta \cdot \varepsilon_{a(i,j)} \cdot x_i$$

dimana  $\eta$  merupakan laju pembelajaran yang nilainya antara 0 sampai 1. Nilai parameter  $a$  baru dapat diperoleh dengan cara menjumlahkan nilai delta parameter  $a$  dengan nilai  $a$  sebelumnya seperti rumus berikut ini:

$$a_{ij}(t+1) = a_{ij}(t) + \Delta a_{ij} \quad (2.14)$$

Rumus perhitungan perubahan parameter  $c$  adalah sebagai berikut:

$$\Delta c_{ij} = \eta \cdot \varepsilon_{c(i,j)} \cdot x_i$$

Nilai parameter  $c$  baru dapat diperoleh dengan cara menjumlahkan nilai delta parameter  $c$  dengan nilai  $c$  sebelumnya seperti rumus berikut ini:

$$c_{ij}(t + 1) = c_{ij}(t) + \Delta c_{ij} \quad (2.15)$$

Selama proses pembelajaran ANFIS, parameter fungsi keanggotaan *input* dan *output* mengalami perubahan sehingga menghasilkan aturan (*rule*) yang optimal. Semakin banyak jumlah fungsi keanggotaan *input* yang digunakan, maka semakin banyak jumlah aturan yang dihasilkan dari tahap pembelajaran. Satu *epoch* terdiri dari satu kali tahap maju dan tahap mundur. Perhitungan akan berhenti jika nilai *error* kurang dari *error tolerance* yang ditentukan.

## 2.5 Kriteria Pemilihan Model Terbaik

Dalam analisis runtun waktu, data yang lalu dapat digunakan untuk meramalkan data di masa depan. Akurasi hasil peramalan dapat dihitung dari selisih hasil peramalan dengan nilai data aktual. Dengan menghitung selisih tersebut akan dihasilkan sebuah ukuran kesalahan (*error*). Untuk menguji keakuratan hasil peramalan digunakan *Mean Absolute Deviation* (MAD) dan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE).

### 2.5.1 Mean Absolute Deviation (MAD)

*Mean Absolute Deviation* (MAD) adalah rata-rata yang dihitung dengan menjumlahkan nilai absolut masing-masing *error* dan membaginya dengan jumlah observasi ( $n$ ). *Error* didapatkan dari mencari selisih nilai aktual ( $y_t$ ) dengan nilai hasil peramalan ( $\hat{y}_t$ ). Berikut rumus menghitung MAD:

$$MAD = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |y_t - \hat{y}_t| \quad (2.16)$$

### 2.5.2 Mean Absolute Percentage Error (MAPE)

*Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) adalah rata-rata presentase yang dihitung dengan menjumlahkan presentase nilai absolut masing-masing *error* dan membaginya dengan jumlah observasi ( $n$ ). *Error* didapatkan dari mencari selisih nilai aktual ( $y_t$ ) dengan nilai hasil peramalan ( $\hat{y}_t$ ). Berikut rumus menghitung MAPE:

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{y_t - \hat{y}_t}{y_t} \right| 100\% \quad (2.17)$$

### BAB 3. METODE PENELITIAN

Pada bab ini, akan dijelaskan mengenai metode penelitian sebagai konsep dasar. Adapun metode yang digunakan dalam penelitian ini meliputi data, analisis data, dan langkah-langkah penerapan Jaringan Syaraf Tiruan (JST) dan *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System* (ANFIS) pada data Indeks Harga Konsumen (IHK) menggunakan *toolbox Neural Network* dan *ANFIS Editor*.

#### 3.1 Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data kuantitatif. Data yang digunakan merupakan data sekunder Indeks Harga Konsumen (IHK) Indonesia interval bulanan periode Januari 2000 – Agustus 2015. Sumber data berasal dari Badan Pusat Statistik (BPS) yang diperoleh melalui <https://bps.go.id/>. Pada penelitian ini, nilai IHK pada periode  $t$  digunakan sebagai *output*, sedangkan nilai IHK pada periode  $t - 1$  dan  $t - 2$  digunakan sebagai *input*. Adapun data IHK Indonesia periode Januari 2000 – Agustus 2015 disajikan pada Lampiran A.1.

#### 3.2 Analisis Data

Dalam penelitian ini, data diimplementasikan menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan (JST) dan *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System* (ANFIS). Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan *toolbox* MATLAB R2009a. *Toolbox* merupakan alat pengolahan data berupa *Graphical User Interface* (GUI). GUI adalah media tampilan grafis sebagai pengganti perintah teks untuk menjalankan program. GUI membuat interaksi antara pengguna dengan program lebih efektif dan interaktif. Referensi untuk menggunakan *toolbox* dapat diperoleh melalui <https://mathworks.com/>.

Adapun *toolbox* MATLAB yang digunakan dalam penelitian ini adalah *toolbox Neural Network* dan *ANFIS Editor*. *Neural Network* digunakan untuk mengimplementasikan jaringan syaraf tiruan, sedangkan *ANFIS Editor* digunakan untuk mengimplementasikan ANFIS.

### 3.3 Langkah-langkah Penelitian

Langkah-langkah penelitian yang dilakukan dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

a. Studi Literatur

Studi literatur bertujuan untuk memahami secara teoritis mengenai Jaringan Syaraf Tiruan (JST) menggunakan algoritma *backpropagation* dan *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System* (ANFIS) menggunakan algoritma *hybrid* serta permasalahan tentang Indeks Harga Konsumen (IHK) di Indonesia. Studi pustaka yang digunakan berasal dari buku, jurnal, dan internet yang dapat mendukung penelitian ini.

b. Pengumpulan Data

Data yang akan diolah adalah data sekunder dari Badan Pusat Statistika (BPS). Data yang digunakan merupakan data deret waktu interval bulanan. Data yang dikumpulkan adalah data Indeks Harga Konsumen (IHK) Indonesia periode Januari 2000 – Agustus 2015.

c. Pembagian Data

Data penelitian dibagi menjadi 2 jenis, yaitu data pelatihan dan data pengujian. Data pelatihan merupakan data yang digunakan untuk melatih jaringan yang telah disusun. Sementara itu, data pengujian merupakan data yang digunakan untuk menguji keakuratan jaringan yang telah melalui tahap pelatihan. Data IHK periode Januari 2000 – September 2011 digunakan sebagai data pelatihan, sedangkan data IHK periode Oktober 2011 – Agustus 2015 digunakan sebagai data pengujian.

d. Normalisasi Data

Data penelitian dinormalisasi pada *range* [0,1 0,9] menggunakan persamaan (3.1) dengan bantuan *software* MATLAB. Normalisasi dilakukan agar nilai *input* sama dengan *range* dari fungsi keanggotaan dan fungsi aktivasinya. Normalisasi akan mempermudah proses perhitungan data. Data pelatihan dan pengujian dinormalisasi dengan menggunakan persamaan berikut:

$$x' = \frac{0,8(x-a)}{c-a} + 0,1 \quad (3.1)$$

dimana:

$x$  = nilai data asli;

$a$  = nilai data terkecil;

$c$  = nilai data terbesar (Siang, 2004).

e. Penerapan Jaringan Syaraf Tiruan (JST)

Langkah-langkah yang dilakukan untuk pengolahan data Indeks Harga Konsumen (IHK) dengan JST menggunakan *toolbox Neural Network* adalah sebagai berikut:

1. Memasukkan pasangan data pelatihan. Data *input* pelatihan sebagai *input* jaringan dan *output* data pelatihan sebagai target jaringan.
2. Menyusun jaringan syaraf tiruan dengan beberapa tahap berikut:
  - a) Menentukan algoritma pembelajaran, fungsi pelatihan, dan fungsi pembelajaran;
  - b) Menentukan jumlah lapisan tersembunyi dan jumlah neuron lapisan tersembunyi dimana jumlah neuron lapisan tersembunyi model 1 sebanyak 2, model 2 sebanyak 5, sedangkan model 3 sebanyak 10;
  - c) Menentukan fungsi aktivasi.
3. Melakukan pelatihan jaringan syaraf tiruan dengan beberapa tahap berikut:
  - a) Inisialisasi bobot secara acak dengan nilai antara -1 sampai 1;
  - b) Menentukan beberapa parameter pelatihan yaitu jumlah *epoch* dan *error tolerance*;
  - c) Menentukan laju pembelajaran ( $\alpha$ ) dan momentum ( $\mu$ ) dengan nilai antara 0 sampai 1;
  - d) Denormalisasi *output* jaringan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$y = \frac{(c-a)(y'-0,1)}{0,8} + a \quad (3.2)$$

dimana:

$y'$  = nilai *output* jaringan;

$a$  = nilai data terkecil;

$c$  = nilai data terbesar.

- e) Menghitung selisih antara *output* jaringan dengan target jaringan pelatihan sebagai *error*;
  - f) Menghitung nilai MAD menggunakan persamaan (2.16) dan MAPE menggunakan persamaan (2.17) pada hasil pelatihan.
4. Melakukan pengujian jaringan syaraf tiruan dengan beberapa tahap berikut:
- a) Memasukkan *input* data pengujian sebagai *input*;
  - b) Denormalisasi *output* jaringan dengan menggunakan persamaan (3.2);
  - c) Menghitung selisih antara *output* jaringan dengan *output* data aktual;
  - d) Menghitung nilai MAD menggunakan persamaan (2.16) dan MAPE menggunakan persamaan (2.17) pada hasil pengujian.
- f. Penerapan *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System* (ANFIS)
- Langkah-langkah yang dilakukan untuk pengolahan data Indeks Harga Konsumen (IHK) dengan metode ANFIS menggunakan *toolbox ANFIS Editor* adalah sebagai berikut:
1. Memasukkan data *input* – *output* pelatihan.
  2. Menyusun sistem inferensi *fuzzy* dengan beberapa tahap berikut:
    - a) Menentukan jenis sistem inferensi *fuzzy* dan jenis *output* jaringan;
    - b) Menentukan fungsi keanggotaan dan jumlah fungsi keanggotaan *input* dimana jumlah fungsi keanggotaan *input* model 1 sebanyak 2, model 2 sebanyak 5, sedangkan model 3 sebanyak 10.
  3. Melakukan pelatihan ANFIS dengan menentukan beberapa tahap berikut:
    - a) Menentukan algoritma pembelajaran;
    - b) Menentukan beberapa parameter pelatihan yaitu jumlah *epoch* dan *error tolerance*;
    - c) Denormalisasi *output* jaringan dengan menggunakan persamaan (3.2);
    - d) Menghitung selisih antara *output* jaringan dengan *output* target sebagai *error*;
    - e) Menghitung nilai MAD menggunakan persamaan (2.16) dan MAPE menggunakan persamaan (2.17) pada hasil pelatihan.

4. Melakukan tahap pengujian ANFIS dengan beberapa tahap berikut:
  - a) Memasukkan data pengujian;
  - b) Denormalisasi *output* jaringan dengan menggunakan persamaan (3.2);
  - c) Menghitung selisih antara *output* jaringan dengan *output* data aktual;
  - d) Menghitung nilai *error* dengan menggunakan MAD menggunakan persamaan (2.16) dan MAPE menggunakan persamaan (2.17) pada hasil pengujian.

g. Analisis dan Pembahasan

Pada tahap ini akan dilakukan analisis dan pembahasan pada hasil pelatihan dan pengujian data IHK menggunakan JST dan ANFIS. Kemudian hasil pengujian menggunakan JST dibandingkan dengan hasil pengujian menggunakan ANFIS.

h. Penarikan Kesimpulan

Tahap akhir ini akan menentukan model peramalan IHK terbaik berdasarkan nilai MAD dan MAPE yang diperoleh dari tahap pengujian. Model dengan nilai MAD dan MAPE terkecil dinyatakan sebagai model terbaik.

Secara skematik, langkah-langkah penelitian di atas dapat ditunjukkan dalam Gambar 3.1.