

## DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
KATA PENGANTAR ..	iii
PERNYATAAN PROMOVENDUS ..	v
DAFTAR ISI ..	vii
DAFTAR TABEL ..	xi
DAFTAR GAMBAR ..	xiii
DAFTAR LAMPIRAN ..	xvi
LAMBANG DAN ARTI LAMBANG ..	xviii
INTISARI ..	xxi
ABSTRACT ..	xxii
 BAB I     PENDAHULUAN.....	 1
1.1     Latar Belakang ..	1
1.2     Perumusan Masalah.....	5
1.3     Batasan Penelitian ..	8
1.4     Keaslian Penelitian ..	9
1.5     Tujuan dan Manfaat Penelitian.....	12
1.6     Tinjauan Pustaka ..	13
1.7     Kerangka Disertasi ..	20
1.8     Publikasi ..	21

BAB II	LANDASAN TEORI .....	22
2.1	Time Series .....	22
2.1.1	Konsep Time Series .....	22
2.1.2	Kestasioneran Data .....	22
2.1.3	Model Time Series .....	24
2.2	Neural Network .....	27
2.2.1	Konsep Neural Network .....	27
2.2.2	Fungsi Aktivasi .....	29
2.2.3	Arsitektur Neural Network .....	31
2.2.4	Model Pelatihan .....	33
2.3	Sistem Fuzzy .....	35
2.3.1	Himpunan Fuzzy .....	35
2.3.2	Operasi pada Himpunan Fuzzy .....	37
2.3.3	Relasi pada Himpunan Fuzzy.....	38
2.3.4	Himpunan $\alpha$ – cut .....	38
2.3.5	Bilangan Fuzzy .....	39
2.3.6	Logika Fuzzy .....	42
2.3.7	Variabel Linguistik.....	43
2.3.8	Aturan Inferensi .....	44
2.3.9	Metode Pengklasteran Data.....	53
2.4	Wavelet .....	62
2.4.1	Ruang $L^2(\mathbb{R})$ , Transformasi Fourier, dan Ruang Hilbert.....	62
2.4.2	Konsep Wavelet .....	76

2.4.3	Transformasi Wavelet .....	77
2.4.4	Analisis Multiresolusi (AMR) .....	79
2.4.5	Beberapa Contoh Wavelet .....	85
2.5	Kriteria Akaike Information Criterion (AIC) .....	90
<b>BAB III</b>	<b>DESAIN MODEL WAVELET NEURAL NETWORK.....</b>	<b>92</b>
3.1	<i>Pre-processing</i> Data .....	93
3.1.1	Konsep <i>Pre-processing</i> Data.....	93
3.1.2	Wavelet dan <i>Pre-processing</i> Data.....	93
3.2	Neural Network dan Wavelet .....	96
3.3	Wavelet dan Fungsi Aktivasi .....	98
3.4	Neural Network dan Algoritma Pembelajaran .....	100
3.5	Model Wavelet Neural Network yang Dikembangkan.	109
3.5.1	Arsitektur Wavelet Neural Network .....	109
3.5.2	Parameter Pembelajaran untuk Model WNN ...	117
3.6	Algoritma Model Wavelet Neural Network .....	124
3.7	Kriteria AIC ( <i>Akaike Information Criterion</i> ) untuk Mo- del WNN.....	128
<b>BAB IV</b>	<b>METODE FUZZY UNTUK MENGESTIMASI PARAMETER MODEL WAVELET NEURAL NETWORK .....</b>	<b>131</b>
4.1	Metode Fuzzy dan Performa Model Wavelet Neural Network-Fuzzy .....	131
4.2	Arsitektur Model Wavelet Neural Network-Fuzzy .....	139

4.3	Parameter Pembelajaran untuk Model WNN-F .....	143
4.4	Algoritma Model Wavelet Neural Network-Fuzzy .....	147
4.5	Kriteria AIC ( <i>Akaike Information Criterion</i> ) untuk Model WNN-F. ....	151
BAB V	HASIL EMPIRIS .....	153
5.1	Studi Simulasi .....	153
5.1.1	Data Sistem Dinamik Banakar dan Azeem.....	154
5.1.2	Data Penumpang Pesawat Internasional ( <i>Air- line Data</i> ) .....	157
5.2	Studi Kasus .....	161
5.3	Perbandingan Model WNN/WNN-F dengan Metode Klasik .....	167
BAB VI	KESIMPULAN DAN MASALAH TERBUKA .....	171
6.1	Kesimpulan .....	171
6.2	Masalah Terbuka .....	175
	DAFTAR PUSTAKA .....	177
	LAMPIRAN-LAMPIRAN .....	187

## DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
1.1	Perbandingan antara penelitian disertasi ini dengan penelitian-penelitian sebelumnya yang terkait .....	18
2.1	Pola input dan output : (i) Operasi “AND” dan (ii) Operasi “XOR” .....	33
2.2	Data Pelatihan yang terdiri atas variabel, $X_1$ dan $X_2$ .....	59
2.3	Kecenderungan data masuk klaster C1 atau C2 .....	60
2.4	Keanggotaan himpunan $A_1$ , $A_2$ , $B_1$ , dan $B_2$ .....	61
3.1	Perbandingan Beberapa Karakteristik Fungsi Wavelet.	95
3.2	Banyaknya parameter yang diestimasi untuk model WNN .....	130
4.1	Banyaknya parameter yang diestimasi untuk model WNN-F.....	152
5.1	Parameter-parameter yang terkait dengan penentuan nilai AIC berdasarkan model yang dievaluasi .....	154
5.2	Ringkasan hasil simulasi data ARIMA(3,1,0) menggunakan model NN, WNN, dan WNN-F.....	155
5.3	Perbandingan Performa model NN, WNN, dan WNN-F terhadap data sistem dinamik Banakar dan Azeem (2006).....	156
5.4	Perbandingan waktu eksekusi Model WNN dan WNN-F dalam aplikasi data sistem dinamik Banakar dan Azem.....	156
5.5	Ringkasan hasil simulasi data ARIMA(0,1,1)(0,1,1) <sup>12</sup> menggunakan model NN, WNN, dan WNN-F.....	159
5.6	Perbandingan Performa model NN, WNN dan WNN-F terhadap Airline Data.....	159

---

5.7	Perbandingan waktu eksekusi Model WNN dan WNN-F dalam simulasi <i>Airline Data</i> .....	160
5.8	Perbandingan Performa model NN, WNN dan WNN-F dalam peramalan jumlah wisatawan yang berkunjung ke Provinsi NTB.....	162
5.9	Perbandingan beberapa parameter antara model WNN dan WNN-F terkait dengan data volume kunjungan wisatawan ke Provinsi NTB.....	164

---

## DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
2.1	Model Neural Network Sederhana.....	28
2.2	Fungsi Step .....	29
2.3	Fungsi Linier Sepotong-Sepotong.....	30
2.4	Fungsi Ambang Batas $\varphi(au) = \frac{1}{1+\exp(-au)}$ dengan nilai $a$ untuk grafik <i>dash</i> , <i>solid</i> , dan <i>dash dot</i> berturut-turut adalah 0.2, 0.5 dan 1.....	31
2.5	Arsitektur Model Layer Tunggal.....	31
2.6	Arsitektur Model Layer Ganda.....	32
2.7	Arsitektur Model <i>Recurrent</i> .....	32
2.8	Model Jaringan NN untuk Operasi “AND” dan “XOR”	34
2.9	Grafik keanggotaan himpunan fuzzy B, $\mu_B(x)$ .....	36
2.10	Ilustrasi sifat 1 dari Himpunan $\alpha$ -cut .....	39
2.11	Ilustrasi himpunan fuzzy A sebagai himpunan konveks, dan ilustrasi himpunan fuzzy B bukan himpunan konveks.....	40
2.12	Ilustrasi himpunan fuzzy normal dan subnormal .....	41
2.13	Bilangan Fuzzy M .....	41
2.14	Fungsi keanggotaan untuk kelompok pemuda .....	44
2.15	Ilustrasi Metode Mamdani .....	45
2.16	Ilustrasi Metode Tsukamoto .....	46
2.17	Ilustrasi metode Sugeno (TSK) .....	47
2.18	Grafik fungsi keanggotaan variabel suhu.....	48
2.19	Grafik fungsi keanggotaan variabel keadaan langit.....	49
2.20	Grafik fungsi keanggotaan variabel kecepatan.....	50

2.21	Proses inferensi menggunakan metode Mamdani .....	51
2.22	Hasil agregat menggunakan metode Mamdani.....	51
2.23	Perbedaan antara (i) gelombang ( <i>wave</i> ) dan (ii) <i>wavelet</i>	76
2.24	Grafik wavelet Haar $\psi(t)$ .....	85
2.25	Grafik fungsi skala (kiri) dan fungsi wavelet (kanan) DbN berturut-turut dari atas ke bawah, $N = 2,3,5,7, 9$	86
2.26	Wavelet Mexican Hat.....	87
2.27	Wavelet Morlet .....	88
2.28	Grafik wavelet B-spline berturut-turut orde 1 – 4 .....	89
3.1	Arsitektur FFNN dengan satu layer tersembunyi, tiga unit input, empat unit neuron di layer tersembunyi, dan satu unit output.....	98
3.2	Arsitektur FFNN dengan satu layer tersembunyi, $p$ unit input, $q$ unit neuron di layer tersembunyi, dan satu unit output.....	101
3.3	Ilustrasi perbedaan minimum lokal dan minimum global .....	109
3.4	Arsitektur model WNN : (i) Zekri et al (2008), (ii) Banakar (2008), dan Hong dan Xiang (2011).....	110
3.5	Arsitektur model FWNN yang mengakomodasi tahapan <i>pre-processing</i> data yang dikembangkan Srivastava <i>et al</i> (2005).....	111
3.6	Arsitektur WNN yang didesain pada penelitian ini.....	113
3.7a	Diagram alir Model WNN.....	125
3.7b	Diagram Alir Proses Pembelajaran Model WNN.....	126
4.1	Model Arsitektur FWNN.....	138
4.2a	Diagram alir Model WNN-F.....	147
4.2b	Diagram Alir Proses Pembelajaran Model WNN-F.....	148



---

5.1	Grafik perbandingan antara data aktual (hitam) dengan output Model NN (magenta), Model WNN (biru), dan Model WNN-F (merah) terhadap data sistem dinamik Banakar dan Azeem Persamaan (5.1).....	157
5.2	Plot Jumlah Penumpang Pesawat Internasional ( <i>Air-line Data</i> ) periode Januari 1949 sampai Desember 1960.....	158
5.3	Grafik perbandingan antara data aktual (warna hitam) dengan output Model NN (warna magenta), Model WNN (warna biru), dan Model WNN-F (warna merah) terhadap <i>Airline Data</i> .....	161
5.4	Jumlah wisatawan yang berkunjung ke Provinsi NTB Periode Januari 2004 – Oktober 2016.....	162
5.5	Perbandingan antara data aktual volume kunjungan wisatawan ke Provinsi NTB (warna hitam) dengan output yang dihasilkan model WNN (warna biru) dan WNN-F (warna merah).....	163
5.6	Grafik perbandingan antara data aktual (garis solid hitam) dan data hasil prediksi (garis putus-putus merah) volume kunjungan wisatawan ke-Provinsi NTB (bulanan).....	169

---

## DAFTAR LAMPIRAN

No. Lampiran	Judul Lampiran	Halaman
1	Fungsi untuk menentukan wavelet B-spline dengan menggunakan pendekatan numerik formula Unser menggunakan Matlab .....	188
2a	Fungsi untuk pembelajaran model WNN menggunakan Matlab untuk data pariwisata NTB .....	189
2b	Fungsi untuk pengujian data uji sebagai hasil pembelajaran model WNN menggunakan Matlab untuk data pariwisata NTB .....	194
2c	Program untuk memanggil fungsi pembelajaran dan fungsi untuk pengujian Model WNN menggunakan Matlab untuk data pariwisata NTB .....	196
3a	Fungsi untuk pembelajaran Model WNN-F menggunakan Matlab untuk <i>Airline Data</i> .....	197
3b	Fungsi untuk pengujian model WNN-F menggunakan Matlab untuk <i>Airline Data</i> .....	204
3c	Program untuk memanggil pembelajaran dan pengujian Model FWNN menggunakan Matlab untuk <i>Airline Data</i> .....	207
4.	Hasil Simulasi Model NN, WNN dan WNN-F untuk Data Sistem Dinamik Banakar.....	209



5	Hasil Simulasi Model NN, WNN dan WNN-F untuk <i>Airline Data</i> .....	212
6	Daftar Riwayat Hidup Promovendus .....	215

## LAMBANG DAN ARTI LAMBANG

Lambang	Arti Lambang
$\mathbb{R}$	Himpunan semua bilangan real
$\mathbb{C}$	Himpunan semua bilangan kompleks
$X_t$	Time series dengan indeks $t$
$\mu_X(t)$	Fungsi rata-rata dari suatu time series $\{X_t\}$ , $\mu_X(t) = E(X_t)$
$\gamma_X(s, r)$	Fungsi autokovarian untuk setiap integer $s$ dan $r$ , $\gamma_X(s, r) = \text{cov}(X_s, X_r)$
IID	<i>Independent and Identically Distributed</i>
WN	<i>White Noise</i>
$C^p(\mathbb{R})$	Himpunan fungsi bernilai real dengan sifat fungsi tersebut turunkan sebanyak $p$ kali dan setiap turunannya bersifat kontinu.
$C^\infty(\mathbb{R})$	Himpunan fungsi bernilai real dengan sifat fungsi tersebut turunkan sebanyak infinit kali dan setiap turunannya bersifat kontinu.
$\text{supp}(A)$	Support untuk himpunan fuzzy $A$ , $\text{supp}(A) = \{x \in X \mid \mu_A(x) > 0\}$
$\mu_A(x)$	Nilai keanggotaan elemen $x$ pada himpunan fuzzy $A$
$h(A)$	Tinggi dari himpunan fuzzy $A$ , $h(A) = \sup_{x \in X} \mu_A(x)$
$A_\alpha$	Himpunan $\alpha$ -cut pada $A$ , $A_\alpha = \{x \in X \mid \mu_A(x) \geq \alpha\}$
$d_{ik}$	$d_{ik} = d(x_k - v_i)$ menyatakan jarak vektor $x_k$ dengan vektor $v_i$ , lambang $d$ menyatakan jarak ( <i>distance</i> )
$\hat{f}$	Transformasi Fourier dari fungsi $f$
$\psi(t)$	Mother wavelet
$\psi_{a,b}(t)$	Mother wavelet dengan parameter dilatasi $a$ dan parameter translasi $b$
$[T^{\text{wav}} f](a, b)$	Transformasi wavelet kontinu terhadap fungsi $f$ dengan parameter dilatasi $a$ dan parameter translasi $b$

---

$P_V f$	Proyeksi ortogonal fungsi $f$ pada ruang vektor $V$
$\psi_{m,n}(t)$	Transformasi wavelet diskrit dengan $\psi_{m,n}(t) = a_o^{-m/2} \psi(a_o^{-m} t - nb_0), m, n \in \mathbb{Z}$
$C_\psi^{-1}$	Invers dari konstanta $C_\psi$ dengan $C_\psi = 2\pi \int_{-\infty}^{\infty} \left  \hat{\psi}(\xi) \right ^2  \xi ^{-1} d\xi$
$\langle ., . \rangle$	Hasil kali dalam ( <i>inner product</i> )
$L^2(\mathbb{R})$	$\left\{ f : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{C} \mid f \text{ fungsi terukur dan } \int_{-\infty}^{\infty}  f(x) ^2 dx < \infty \right\}$
$\hat{\psi}(\xi)$	Transformasi Fourier dari wavelet $\psi(t)$
$\psi_{m,n}(t)$	Transformasi wavelet diskrit dengan parameter $t$
$\overline{A}$	Tutupan untuk himpunan $A$
$\phi(t)$	Fungsi skala ( <i>scaling functions</i> ) dikenal juga dengan father wavelet
$\phi_{j,k}(t)$	Fungsi skala dengan indeks $j$ dan $k$ yang berkaitan dengan parameter dilatasi $j$ dan parameter translasi $k$
$\ \cdot\ $	Norma
$\ \cdot\ _2$	Norma pada $L^2$
$N_m(x)$	Fungsi spline orde $m$ dalam definisi secara rekursif
$(x)_+^m$	$(x)_+^m = \max\{0, x\}^m$ untuk suatu variabel $x$
$N'_m(x)$	Turunan pertama dari $N_m(x)$
$\phi(\bullet)$	Fungsi aktivasi secara umum dengan parameter “ $\bullet$ ”
$\psi_j^i(\bullet)$	variasi ke- $j$ dari fungsi aktivasi yang berbasis fungsi wavelet orde ke- $i$ , untuk setiap $i$ dan $j$
$\eta_a$	Parameter <i>learning rate</i> untuk parameter $a$ dengan nilai $0 < \eta < 1$
$x_{\text{normal}}$	Hasil normalisasi dari data $x$
$Xw_k$	Pembobotan vektor $X$ dengan matriks bobot $W$
$Xw_{jk}$	Variasi ke- $k$ untuk nilai $Xw_j$ dengan $Xw_{jk} = \frac{Xw_j - b_k}{a_k}$ , dengan parameter $a_k$ dan $b_k$ berturut-turut menyatakan variasi ke - $k$

---



---

	dari parameter dilatasi dan translasi wavelet B -Spline
$y_{WNN}$	Output hasil pembelajaran model WNN
$y_{WNN-F}$	Output hasil pembelajaran model WNN-F
$\frac{\partial E}{\partial \theta}$	Turunan parsial fungsi eror E terhadap parameter $\theta$
$L(k)$	Persamaan Lyapunov
$\Delta L(k)$	Beda persamaan Lyapunov dua suku berurutan

---