



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iv
HALAMAN MOTTO	v
PRAKATA	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMBANG	xvi
INTISARI	.xviii
ABSTRACT	xx
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Tujuan dan Manfaat Penelitian	9
1.3 Tinjauan Pustaka	10
1.4 Metodologi Penelitian	18
1.5 Sistematika Penulisan	19
II DASAR TEORI	20
2.1 Analisis Runtun Waktu	20
2.1.1 Fungsi Autokorelasi dan Fungsi Autokorelasi Parsial	22
2.1.2 Proses Autoregresif (AR)	25
2.1.3 Proses Moving Average (MA)	26
2.1.4 Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA)	27
2.1.5 Model Subset ARIMA	28
2.1.6 Autoregressive Integrated Moving Average with Exogenous Input (ARIMAX)	29
2.2 Estimasi Parameter	30
2.2.1 Maksimum Likelihood	30
2.2.2 Metode Kuadrat Terkecil	31
2.2.3 Estimasi Maksimum Likelihood Model ARIMA	33
2.3 Teori Asimtotik	34
2.3.1 Konvergensi dalam Distribusi	34
2.3.2 Konvergensi dalam Probabilitas	34



2.3.3	Konvergen Hampir Pasti	34
2.4	Konsep Probabilitas, Distribusi, dan Asimtotik	35
2.4.1	Teorema Limit Pusat	35
2.4.2	Martingale	36
2.4.3	Properti Estimasi Kuadrat Terkecil	37
2.5	Matriks dan Ruang Matriks	37
2.6	Himpunan <i>Fuzzy</i>	38
2.6.1	Fungsi Keanggotaan <i>Fuzzy</i>	38
2.6.2	Sistem Inferensi <i>Fuzzy</i>	40
2.6.3	Sistem Inferensi <i>Fuzzy</i> Model Takagi-Sugeno (TSK)	42
2.7	Jaringan Adaptif	43
2.7.1	Arsitektur dan Aturan Dasar Pembelajaran Jaringan Adaptif	43
2.8	Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS)	45
2.8.1	Arsitektur ANFIS	45
2.8.2	Jaringan ANFIS	46
2.8.3	Algoritma Pembelajaran Hybrid	49
2.8.4	Pembelajaran Backpropagation untuk Parameter Premis	50
2.8.5	Pembelajaran LSE untuk Parameter Konsekuen	52
2.9	Data Runtun Waktu dengan Efek Variasi Kalender	53
2.9.1	Variasi Hari Perdagangan dan Liburan sebagai Variasi Kalender	54
2.9.2	Identifikasi Model Variasi Kalender	56
2.9.3	Estimasi model Variasi Kalender	56
2.10	Metode Hybrid	57
2.11	Kriteria Pemilihan Model ARIMAX Terbaik	57
2.12	Ukuran Ketepatan Model Peramalan	60
2.13	Analisis Kompleksitas Algoritma	61
2.13.1	Kompleksitas Waktu Asimtotik	62
2.13.2	Notasi Asimtotik <i>Big-O</i>	63
III ARIMAX ANFIS BERBASIS UJI LAGRANGE MULTIPLIER PADA RUNTUN WAKTU VARIASI KALENDER		67
3.1	Ide Dasar Model ARIMAX ANFIS Pada Runtun Waktu Variasi Kalender	67
3.2	Estimasi Model ARIMAX Linier	68
3.2.1	Model ARIMAX	68
3.2.2	Konvergensi dan Konsistensi Estimator	71
3.3	ANFIS Untuk Peramalan Runtun Waktu Variasi Kalender	76



3.4	Uji Lagrange Multiplier (LM)	82
3.4.1	Prosedur Uji Lagrange Multiplier untuk Penambahan Variabel	88
3.5	Estimasi Kuadrat Terkecil Rekursif	89
3.6	Prosedur ARIMAX ANFIS Berbasis Uji LM untuk Runtun Waktu Variasi Kalender	94
3.6.1	Tahap 1: Pemrosesan Awal Data	95
3.6.2	Tahap 2: Peramalan dengan ANFIS	100
3.6.3	Kompleksitas Waktu Asimtotik Prosedur ARIMAX ANFIS	108
IV KAJIAN TERAPAN PEMODELAN RUNTUN WAKTU VARIASI KALENDER		123
4.1	Studi Simulasi	123
4.1.1	Menentukan Variabel Input dari Tahap Pemrosesan Awal Data	125
4.1.2	Penentuan Arsitektur ANFIS	126
4.1.3	Keakuratan Arsitektur ANFIS Data Simulasi	129
4.2	Studi Kasus Runtun Waktu Variasi Kalender	132
4.2.1	Penentuan Variabel Eksogen Variasi Kalender	133
4.2.2	Studi Kasus Indeks Harga Konsumen Kelompok Pakaian	136
4.2.3	Studi Kasus Penumpang Kapal di Pelabuhan Tanjung Priok	151
4.2.4	Studi Kasus Penumpang Kereta Api di Jawa Non-Jabodetabek	166
4.2.5	Perbandingan Keakuratan ARIMAX ANFIS dengan Pemodelan Runtun Waktu Klasik pada Data dengan Variasi Kalender	179
V PENUTUP		187
5.1	Kesimpulan	187
5.2	Keterbatasan dan Keunggulan	188
5.2.1	Keterbatasan	188
5.2.2	Keunggulan	189
5.3	Masalah Terbuka	189
DAFTAR PUSTAKA		191
A Skrip Program Prosedur Pemrosesan Data Awal		204
B Skrip Program Simulasi ARIMAX ANFIS		218
C Skrip Program Prosedur TAHAP 1		
Studi Kasus Data Penumpang Pelabuhan Tanjung Priok		224
D Skrip Program Prosedur TAHAP 2		
Studi Kasus Data Penumpang Pelabuhan Tanjung Priok		226
E Skrip Program Prosedur TAHAP 3		
Studi Kasus Data Penumpang Pelabuhan Tanjung Priok		229



F Skrip Program Prosedur TAHAP 4	
Studi Kasus Data Penumpang Pelabuhan Tanjung Priok	232
G Perhitungan Tahapan ANFIS Terbaik Data Studi Kasus	238
H Output Program ARIMAX ANFIS	251
I Perhitungan Kompleksitas Waktu Algoritma Tahapan ANFIS	276



DAFTAR TABEL

2.1	Model ARIMA dan subset ARIMA	29
2.2	Prosedur Pembelajaran Hybrid Metode ANFIS	50
3.1	Algoritma ARIMAX ANFIS: Tahap Pemrosesan Awal Data	110
3.2	Algoritma ARIMAX ANFIS: Tahap Penentuan Variabel Input ANFIS	111
3.3	Algoritma ARIMAX ANFIS: Tahap Penentuan Arsitektur ANFIS	112
3.4	Deskripsi Variabel pada Metode ARIMAX ANFIS	113
3.5	Notasi Kompleksitas Waktu Asimtotik Metode ARIMAX ANFIS: Tahap Pemrosesan Awal Data	113
3.6	Notasi Kompleksitas Waktu Asimtotik Metode ARIMAX ANFIS: Tahap Peramalan ANFIS	114
4.1	Penentuan Jumlah Kluster pada Data Simulasi Tanpa Variasi Kalender	126
4.2	Penentuan Jumlah Kluster pada Data Simulasi Dengan Variasi Ka- lender	127
4.3	Keakuratan Arsitektur ANFIS pada Data Simulasi Partisi 80:20	130
4.4	Keakuratan Arsitektur ANFIS pada Data Simulasi Partisi 70:30	131
4.5	<i>Window Length</i> Kalender Variasi Liburan	135
4.6	Pemodelan ARIMA Indeks Harga Kategori Pakaian	137
4.7	Pemodelan ARIMAX Terbaik Indeks Harga Kategori Pakaian	138
4.8	Urutan Variabel Input Indeks Harga Pakaian Berdasarkan R^2	139
4.9	Penentuan Variabel Input Indeks Harga Pakaian dengan Uji LM	140
4.10	Jumlah Kluster Optimal Indeks Harga Pakaian dengan ARIMAX ANFIS I	141
4.11	Jumlah Kluster Optimal Indeks Harga Pakaian dengan ARIMAX ANFIS II	142
4.12	Akurasi Peramalan Indeks Harga Pakaian ARIMAX ANFIS I	146
4.13	Akurasi Peramalan Indeks Harga Pakaian ARIMAX ANFIS II	146
4.14	Pemodelan ARIMA Penumpang Kapal Pelabuhan Tanjung Priok	152
4.15	Pemodelan ARIMAX Terbaik Penumpang Kapal Pelabuhan Tan- jung Priok	153
4.16	Urutan Variabel Input Penumpang Kapal Pelabuhan Tanjung Priok Berdasarkan R^2	154
4.17	Penentuan Variabel Input Penumpang Pelabuhan Tanjung Priok dengan Uji LM	155



4.18	Jumlah Kluster Optimal Penumpang Pelabuhan Tanjung Priok dengan ARIMAX ANFIS I	157
4.19	Penentuan Jumlah Kluster Optimal Penumpang Pelabuhan Tanjung Priok dengan ARIMAX ANFIS II	158
4.20	Akurasi Peramalan Penumpang Pelabuhan Tanjung Priok ARIMAX ANFIS I	162
4.21	Akurasi Peramalan Penumpang Pelabuhan Tanjung Priok ARIMAX ANFIS II	162
4.22	Pemodelan ARIMA Penumpang Kereta Api Pulau Jawa Non-Jabodetabek	167
4.23	Pemodelan ARIMAX Terbaik Penumpang Kereta Api Jawa Non-Jabodetabek	168
4.24	Urutan Variabel Input Penumpang Kereta Api Jawa Non-Jabodetabek Berdasarkan R^2	169
4.25	Penentuan Variabel Input Penumpang Kereta Api Jawa Non-Jabodetabek dengan Uji LM	170
4.26	Jumlah Kluster Optimal Penumpang Kereta Api Pulau Jawa Non-Jabodetabek dengan ARIMAX ANFIS I	171
4.27	Jumlah Kluster Optimal Penumpang Kereta Api Pulau Jawa Non-Jabodetabek dengan ARIMAX ANFIS II	172
4.28	Akurasi Peramalan Penumpang Kereta Api di Pulau Jawa Non-Jabodetabek ARIMAX ANFIS I	175
4.29	Akurasi Peramalan Penumpang Kereta Api di Pulau Jawa Non-Jabodetabek ARIMAX ANFIS II	175
4.30	Perbandingan Keakuratan Model Peramalan	180
4.31	Rasio Perbandingan Keakuratan Model Peramalan	183



DAFTAR GAMBAR

1.1	Penelitian Terkait Model Prediksi Data Runtun Waktu	16
1.2	Alur Analisis Penelitian dengan ANFIS	17
2.1	Fungsi Keanggotaan Fuzzy (Sumber: Jang (1997))	39
2.2	Diagram Blok Sistem Inferensi Fuzzy	40
2.3	Arsitektur Jaringan ANFIS (Jang (1997))	46
2.4	Grafik Notasi Asimtotik O	64
3.1	Arsitektur ANFIS dengan Tambahan Variabel Input Variasi Kalen- dar (Modifikasi Tarno dkk (2015))	79
3.2	Prosedur Pemodelan ARIMA (Sesuai Tahapan Box Jenkins (1994))	97
3.3	Prosedur Pemodelan ARIMAX (Merujuk Tahapan Box Jenkins) . .	99
3.4	Prosedur ARIMAX ANFIS I Berbasis Uji LM	102
3.5	Prosedur Penentuan Variabel Input ANFIS (Modifikasi Tarno, dkk (2015))	103
3.6	Prosedur ARIMAX ANFIS II	105
3.7	Prosedur ANFIS (Merujuk Jang (1997))	109
4.1	Plot Pelatihan Penentuan Kluster Data Simulasi	128
4.2	Plot Pengujian Penentuan Kluster Data Simulasi	129
4.3	Grafik Data Bulanan Indeks Harga Konsumen Kategori Pakaian . .	136
4.4	Plot Pelatihan dan Pengujian Indeks Harga Pakaian dengan Variabel <i>Dummy</i> Kalender ARIMAX ANFIS I	147
4.5	Plot Pelatihan dan Pengujian Indeks Harga Pakaian dengan Variabel Proporsi Kalender ARIMAX ANFIS I	148
4.6	Plot Pelatihan dan Pengujian Indeks Harga Pakaian dengan Variabel Kalender ARIMAX ANFIS II	149
4.7	Grafik Data Bulanan Penumpang Kapal di Pelabuhan Tanjung Priok	151
4.8	Plot Pelatihan dan Pengujian Penumpang Pelabuhan Tanjung Priok dengan Variabel <i>Dummy</i> Kalender ARIMAX ANFIS I	163
4.9	Plot Pelatihan dan Pengujian Penumpang Pelabuhan Tanjung Priok dengan Variabel Proporsi Kalender ARIMAX ANFIS I	164
4.10	Plot Pelatihan dan Pengujian Penumpang Pelabuhan Tanjung Priok dengan Variabel Kalender ARIMAX ANFIS II	165
4.11	Grafik Data Bulanan Penumpang Kereta Api di Pulau Jawa Non- Jabodetabek	166



4.12	Plot Pelatihan dan Pengujian Penumpang Kereta Api di Pulau Jawa Non-Jabodetabek dengan Variabel <i>Dummy</i> Kalender ARIMAX ANFIS I	176
4.13	Plot Pelatihan dan Pengujian Penumpang Kereta Api di Pulau Jawa Non-Jabodetabek dengan Variabel Proporsi Kalender ARIMAX ANFIS I	177
4.14	Plot Pelatihan dan Pengujian Penumpang Kereta Api di Pulau Jawa Non-Jabodetabek dengan Variabel Kalender ARIMAX ANFIS II	178
4.15	Grafik Kecocokan Peramalan Indeks Harga Kategori Pakaian dengan ARIMAX ANFIS I dan Beberapa Metode Perbandingan	181
4.16	Grafik Kecocokan Peramalan Penumpang Pelabuhan Tanjung Priok dengan ARIMAX ANFIS I dan Beberapa Metode Perbandingan	182
4.17	Grafik Kecocokan Peramalan Penumpang Kereta Api Pulau Jawa Non-Jabodetabek dengan ARIMAX ANFIS I dan Beberapa Metode Perbandingan	182
4.18	Perbandingan RMSE dan MAPE Model Peramalan	184