

**PERAMALAN BEBAN PUNCAK PEMAKAIAN LISTRIK
DI AREA SEMARANG DENGAN METODE *HYBRID* ARIMA
(*AUTOREGRESSIVE INTEGRATED MOVING AVERAGE*) – ANFIS
(*ADAPTIVE NEURO FUZZY INFERENCE SYSTEM*)
(Studi Kasus di PT PLN (Persero) Distribusi Jawa Tengah dan DIY)**



SKRIPSI

**Disusun Oleh:
ANA KRISTIANA
24010211130031**

**JURUSAN STATISTIKA
FAKULTAS SAINS DAN MATEMATIKA
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG
2015**

**PERAMALAN BEBAN PUNCAK PEMAKAIAN LISTRIK
DI AREA SEMARANG DENGAN METODE *HYBRID* ARIMA
(*AUTOREGRESSIVE INTEGRATED MOVING AVERAGE*) – ANFIS
(*ADAPTIVE NEURO FUZZY INFERENCE SYSTEM*)
(Studi Kasus di PT PLN (Persero) Distribusi Jawa Tengah dan DIY)**

Oleh :

ANA KRISTIANA

24010211130031

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar
Sarjana Statistika pada Jurusan Statistika

**JURUSAN STATISTIKA
FAKULTAS SAINS DAN MATEMATIKA
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG**

2015

HALAMAN PENGESAHAN I

Judul : Peramalan Beban Puncak Pemakaian Listrik di Area Semarang
dengan Metode *Hybrid ARIMA (Autoregressive Integrated
Moving Average)* – ANFIS (*Adaptive Neuro Fuzzy Inference System*)
(Studi Kasus di PT PLN (Persero) Distribusi Jawa Tengah dan DIY)

Nama : Ana Kristiana

NIM : 24010211130031

Telah diujikan pada sidang Tugas Akhir tanggal 29 Juli 2015 dan dinyatakan lulus
pada tanggal 10 Agustus 2015

Semarang, Agustus 2015

Mengetahui,

Ketua Jurusan Statistika
FSM UNDIP



Dra. H. Dwi Aspriyanti, M.Si
NIP. 195709141986032001

Panitia Penguji Ujian Tugas Akhir
Ketua,

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'S/Suparti S', written over the name of the chair of the final exam committee.

Dra. Suparti, M.Si
NIP. 196509131990032001

HALAMAN PENGESAHAN II

Judul : Peramalan Beban Puncak Pemakaian Listrik di Area Semarang
dengan Metode *Hybrid ARIMA (Autoregressive Integrated
Moving Average)* – ANFIS (*Adaptive Neuro Fuzzy Inference System*)
(Studi Kasus di PT PLN Distribusi Jawa Tengah dan DIY)

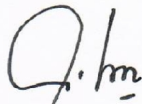
Nama : Ana Kristiana

NIM : 24010211130031

Telah diujikan pada sidang Tugas Akhir tanggal 29 Juli 2015

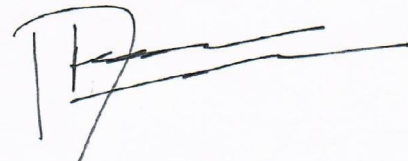
Semarang, Agustus 2015

Pembimbing I,



Yuciana Wilandari, S.Si, M.Si
NIP. 197005191998022001

Pembimbing II,



Alan Prahutama, S.Si, M.Si
NIP. 198804212014041002

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat, hidayah, serta karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan Tugas Akhir dengan judul **“Peramalan Beban Puncak Pemakaian Listrik di Area Semarang dengan Metode *Hybrid* ARIMA (*Autoregressive Integrated Moving Average*) – ANFIS (*Adaptive Neuro Fuzzy Inference System*)”**.

Penulis menyadari tanpa bantuan dari berbagai pihak, Tugas Akhir ini tidak akan dapat diselesaikan. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada:

1. Ibu Dra. Dwi Ispriyanti, M. Si selaku Ketua Jurusan Statistika Fakultas Sains dan Matematika Universitas Diponegoro.
2. Ibu Yuciana Wilandari, S. Si, M. Si selaku dosen pembimbing I dan Bapak Alan Prahutama, S. Si, M. Si selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan arahan, bimbingan, dan motivasi.
3. Bapak/Ibu dosen Jurusan Statistika Fakultas Sains dan Matematika Universitas Diponegoro.
4. Semua pihak yang telah membantu dalam penulisan laporan ini, yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Sehingga saran dan kritik dari segala pihak yang bersifat membangun sangat penulis harapkan demi kesempurnaan penulisan selanjutnya.

Semarang, Agustus 2015

Penulis

ABSTRAK

Energi listrik menjadi salah satu kebutuhan dasar dalam kehidupan masyarakat, sehingga tingkat permintaan akan energi listrik pun semakin besar seiring semakin kompleksnya aktivitas di masyarakat. Dalam rangka pemenuhan kebutuhan energi listrik yang memadai di Indonesia, PT PLN perlu melakukan peramalan beban puncak listrik guna mencegah krisis energi listrik akibat permintaan listrik yang terus meningkat. Dalam penelitian ini dilakukan peramalan beban puncak harian listrik di area Semarang periode bulan Desember 2014 sampai Januari 2015 menggunakan metode *hybrid* ARIMA-ANFIS. Penggunaan *hybrid* ARIMA-ANFIS dimaksudkan agar kedua model tersebut dapat menangkap pola linier dan nonlinier, karena data *time series* terkadang mengandung pola linier maupun nonlinier. Penggunaan model ARIMA hanya untuk pola data linier, sedangkan ANFIS secara individu dinilai kurang baik untuk memodelkan data dengan pola linier dan nonlinier. Keakuratan model diukur berdasarkan kriteria *symmetric* MAPE (sMAPE), dimana model terbaik yang dipilih adalah model dengan nilai sMAPE terkecil. Berdasarkan hasil analisis diperoleh bahwa model *hybrid* ARIMA-ANFIS yang digunakan untuk memprediksi beban puncak harian listrik di area Semarang selama periode Desember 2014 sampai Januari 2015, merupakan gabungan dari model SARIMA $(0,1,1)(0,1,1)^7$ dan ramalan residual dengan model ANFIS yang menggunakan input lag 1, fungsi keanggotaan *Gaussian* sebanyak 3 cluster.

Kata Kunci: Energi listrik, Peramalan beban puncak listrik, ARIMA, ANFIS, *Hybrid* ARIMA-ANFIS

ABSTRACT

Electricity become one of the basic needs in society, so that the demand level for electricity even bigger as more complex activities in society. In order to fulfill the needs of electricity in Indonesia, PT PLN have to do electrical peak load forecasting to prevent electrical crisis. In this research, we use *hybrid* ARIMA-ANFIS methods to forecast daily peak load of electricity in Semarang period December 2014 until January 2015. The use of *hybrid* ARIMA-ANFIS is to capture both linear and nonlinear patterns in the data, because sometimes time series data can contain both linear and nonlinear patterns. Since ARIMA can not deal with nonlinear patterns while ANFIS is not able to handle both linear and nonlinear patterns alone. The accuracy of the model was measured by symmetric MAPE (sMAPE) criteria, in which the best model chosen is the model with the smallest sMAPE value. The results showed that the *hybrid* ARIMA-ANFIS model that used to predict the daily peak load electricity in Semarang during the period of December 2014 until January 2015, comes from combination between SARIMA $(0,1,1)(0,1,1)^7$ model and residual forecasting with ANFIS model using first lag input, *Gaussian* membership function in 3 clusters.

Keywords: Electricity, Electrical peak load forecasting, ARIMA, ANFIS, *Hybrid* ARIMA-ANFIS

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN I	ii
HALAMAN PENGESAHAN II	iii
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAK	v
<i>ABSTRACT</i>	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Pembatasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Analisis Runtun Waktu.....	5
2.2 Model ARIMA Box-Jenkins	6
2.2.1 Proses <i>Autoregressive</i> tingkat p (AR(p)).....	6
2.2.2 Proses <i>Moving Average</i> tingkat q (MA(q))	7
2.2.3 Proses <i>Autoregressive Integrated Moving Average</i> (ARIMA(p,d,q)).....	8

2.2.4 Model Runtun Waktu Musiman	9
2.3 Istilah-istilah dalam ARIMA	10
2.3.1 Stasioneritas	10
2.3.2 <i>Autocorrelation Function</i> (ACF).....	13
2.3.3 <i>Partial Autocorrelation Function</i> (PACF).....	13
2.4 Tahap Pemodelan ARIMA	15
2.4.1 Identifikasi Model	15
2.4.2 Estimasi Parameter.....	16
2.4.3 Pemeriksaan Diagnostik.....	17
2.5 Jaringan Syaraf Tiruan.....	20
2.6 Logika <i>Fuzzy</i>	21
2.6.1 Himpunan <i>Fuzzy</i>	22
2.6.2 Fungsi Keanggotaan <i>Fuzzy</i>	22
2.6.3 Sistem Inferensi <i>Fuzzy</i> (<i>Fuzzy Inference System</i>)	24
2.6.4 <i>Fuzzy C-Means</i> (FCM)	25
2.7 <i>Adaptive Neuro Fuzzy Inference System</i> (ANFIS)	26
2.7.1 Arsitektur Jaringan ANFIS.....	27
2.7.2 Algoritma Pembelajaran <i>Hybrid</i>	29
2.8 <i>Hybrid</i> ARIMA-ANFIS.....	37
2.9 Pemilihan Model Terbaik	38
 BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Sumber Data	39
3.2 Variabel Penelitian	39
3.3 Metode Penelitian	39

BAB IV	ANALISIS DAN PEMBAHASAN	
4.1	Analisis Deskriptif Data Beban Puncak Listrik.....	45
4.2	Peramalan Beban Puncak Listrik	
	Menggunakan Model ARIMA	46
4.2.1	Identifikasi Model	46
4.2.2	Estimasi Parameter	52
4.2.3	Pemeriksaan Diagnostik	54
4.2.4	Pemilihan Model Terbaik dan Hasil Peramalannya	58
4.3	Peramalan Beban Puncak Listrik	
	Menggunakan Model ANFIS	59
4.4	Peramalan Beban Puncak Listrik	
	Menggunakan Model <i>Hybrid</i> ARIMA-ANFIS	65
BAB V	PENUTUP	
5.1	Kesimpulan.....	71
5.2	Saran	72
DAFTAR PUSTAKA	73
LAMPIRAN	75

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Pola Teoritis Plot ACF dan PACF dari Proses yang Stasioner	16
Tabel 2. Proses Belajar ANFIS	30
Tabel 3. Statistik Deskriptif Data Beban Puncak Harian Area Semarang Periode Januari 2014 sampai November 2014	45
Tabel 4. Uji Bartlett Data Beban Puncak Harian	48
Tabel 5. Uji <i>Dickey Fuller</i> Data Beban Puncak Harian	49
Tabel 6. Uji <i>Dickey Fuller</i> Differensi Data Beban Puncak Harian	51
Tabel 7. Estimasi dan Uji Signifikansi Parameter	53
Tabel 8. Nilai Statistik Ljung-Box Data Beban Puncak Harian	54
Tabel 9. Nilai Statistik <i>LM test</i> Data Beban Puncak Harian	56
Tabel 10. Nilai Statistik Uji Kolmogorov-Smirnov	57
Tabel 11. Pemilihan Model Terbaik	58
Tabel 12. Nilai sMAPE Model ANFIS	59
Tabel 13. Nilai Awal Parameter Premis pada Model ANFIS	60
Tabel 14. Nilai Parameter Premis Hasil Pembelajaran pada Model ANFIS	62
Tabel 15. Hasil Peramalan Data Beban Puncak Harian dengan ANFIS	64
Tabel 16. Input <i>Hybrid</i> ARIMA-ANFIS	66
Tabel 17. Nilai Awal Parameter Premis pada Model <i>Hybrid</i> ARIMA-ANFIS	66

Tabel 18. Nilai Parameter Premis Hasil Pembelajaran pada Model <i>Hybrid</i> ARIMA-ANFIS	68
Tabel 19. Hasil Peramalan Data Beban Puncak Harian dengan Model <i>Hybrid</i> ARIMA-ANFIS	70

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Jaringan Syaraf Satu Lapis	21
Gambar 2. Kurva Fungsi Keanggotaan Linier	23
Gambar 3. Kurva Fungsi Keanggotaan <i>Triangular</i>	23
Gambar 4. Kurva Fungsi Keanggotaan <i>Generalized Bell</i>	23
Gambar 5. Kurva Fungsi Keanggotaan <i>Gauss</i>	24
Gambar 6. Arsitektur Jaringan ANFIS.....	27
Gambar 7. Diagram Alir Pengolahan Data.....	44
Gambar 8. Plot Time Series Data Beban Puncak Harian Listrik.....	46
Gambar 9. Plot ACF Data Beban Puncak Harian.....	47
Gambar 10. Plot PACF Data Beban Puncak Harian	47
Gambar 11. Plot Time Series Data Beban Puncak Harian Hasil Differensi.....	50
Gambar 12. Plot ACF Data Beban Puncak Harian Hasil Differensi	52
Gambar 13. Plot PACF Data Beban Puncak Harian Hasil Differensi.....	52
Gambar 14. Struktur ANFIS Peramalan Beban Puncak Harian dengan Jumlah Keanggotaan 2 dan Cluster FCM sebanyak 2 <i>rule</i>	61
Gambar 15. Plot PACF Residual SARIMA $(0,1,1)(0,1,1)^7$	65
Gambar 16. Struktur <i>Hybrid</i> ARIMA-ANFIS.....	67

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Data Beban Puncak Harian Listrik di Area Semarang Periode 1 Januari 2014 – 31 Desember 2014	75
Lampiran 2. Statistik Deskriptif Data Beban Puncak Harian Listrik Area Semarang	77
Lampiran 3. Permodelan Data Beban Puncak Harian Listrik dengan ARIMA	78
Lampiran 4. Permodelan Data Beban Puncak Harian Listrik dengan ANFIS	89
Lampiran 5. Permodelan Data Beban Puncak Harian Listrik dengan <i>Hybrid</i> ARIMA - ANFIS	94

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kehidupan masyarakat sangat bergantung kepada sumber daya energi, salah satunya adalah energi listrik. Pertumbuhan ekonomi, perkembangan dunia industri, penambahan jumlah penduduk, serta pesatnya kemajuan teknologi merupakan penyebab utama dalam peningkatan jumlah penggunaan listrik di Indonesia. Fenomena peningkatan kebutuhan listrik di masyarakat saat ini mengharuskan PT PLN (Perusahaan Listrik Negara) selaku penyalur utama listrik ke masyarakat, perlu melakukan perencanaan operasi dan perencanaan sistem pengembangan tenaga listrik untuk mengetahui seberapa besar daya listrik yang harus disalurkan ke konsumen agar daya listrik yang ditransmisikan tepat sasaran dan tepat ukuran.

Pemenuhan energi listrik di Indonesia, salah satunya di wilayah pelayanan Kota Semarang terkadang mengalami masalah, yaitu ditunjukkan dengan adanya pemadaman listrik yang sering dilakukan. Hal ini mengindikasikan adanya kekurangan stok energi listrik. Kota Semarang sebagai ibukota Provinsi Jawa Tengah memiliki pertumbuhan pembangunan, penduduk, dan perkembangan kawasan industri yang cukup pesat. Oleh karena itu, Kota Semarang harus memiliki suplai daya yang memadai untuk memenuhi kebutuhan energi listrik di areanya. Besar energi listrik yang dikonsumsi oleh konsumen skala industri maupun rumah tangga di area Semarang, terpantau atau tercatat secara otomatis dan tersaji menjadi data historis beban pemakaian listrik harian per 30 menit selama 24 jam ataupun menjadi data beban puncak pemakaian listrik.

Menurut Mujiman dan Priyosusilo (2012), data beban puncak listrik adalah data beban pemakaian energi listrik maksimal yang tercatat berdasarkan waktu yaitu, harian, mingguan, maupun bulanan. Beban puncak ini biasanya terjadi pada pukul 10.00 dan 19.00. Beban puncak terjadi ketika kebutuhan listrik konsumen menanjak ke titik yang paling tinggi di satu waktu tertentu, baik dalam rentang waktu jam, hari, minggu, bulan, hingga tahun. Data historis beban puncak ini berguna sebagai informasi bagi PT PLN (Persero) Distribusi Jawa Tengah dan DIY untuk memprediksi besar daya yang harus disediakan di masa mendatang.

Dalam rangka pemenuhan kebutuhan energi listrik yang memadai, diperlukan manajemen perencanaan operasi sistem yang tepat, salah satunya yaitu peramalan beban listrik (*electrical load forecasting*) untuk memberikan informasi bagi PT PLN agar dapat memperkirakan besarnya permintaan sehingga dalam penyediaannya tidak terjadi pemborosan listrik yang dapat mengakibatkan kerugian (Mulyadi *et al.*, 2009). Peramalan beban dapat dibagi menjadi tiga kategori yaitu peramalan beban jangka pendek (*short term load forecasting*) adalah perkiraan beban listrik dengan jangka waktu beberapa jam dalam sehari sampai dengan satu minggu, jangka menengah (*medium forecasting*) adalah perkiraan beban listrik dengan jangka waktu satu bulan sampai satu tahun, dan jangka panjang (*long term forecasting*) adalah perkiraan beban listrik dengan jangka waktu di atas satu tahun (Mulyadi *et al.*, 2013).

Terdapat banyak teknik yang dapat digunakan untuk peramalan, diantaranya yaitu *Autoregressive Integrated Moving Average* (ARIMA), regresi linier, dan *Artificial Neural Network* (ANN). Model umum dari runtun waktu salah satunya adalah ARIMA, telah banyak digunakan dalam peramalan. Namun

terdapat beberapa kelemahan pada metode peramalan *time series* seperti ARIMA, diantaranya yaitu menghasilkan *error* yang besar, ketidakstabilan data, dan asumsi linieritas yang sering tidak terpenuhi (Faulina dan Suhartono, 2013).

Seiring dengan perkembangan teknologi terutama proses komputasi telah berkembang metode yang meniru kecerdasan manusia, salah satunya metode ANN atau Jaringan Syaraf Tiruan (JST). Di Indonesia telah banyak penelitian terhadap peramalan beban listrik menggunakan metode JST, diantaranya Ismayani (2005) yang melakukan penelitian peramalan beban listrik jangka pendek di Bali menggunakan jaringan syaraf tiruan perambatan balik dan Widnya (2007) yang melakukan penelitian peramalan beban puncak untuk hari-hari libur menggunakan metode *fuzzy inference system*. Dari kedua penggunaan metode tersebut berkembanglah metode peramalan yang merupakan gabungan dari metode jaringan syaraf tiruan dan *fuzzy inference system* yaitu menggunakan metode *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS) (Widyaprawati *et al.*, 2012). Penggunaan metode ANFIS tidak membutuhkan asumsi independen, homoskedastisitas dan residual berdistribusi normal yang sering tidak dijumpai pada data sehingga metode ini dinilai sesuai untuk meramalkan data yang mempunyai nilai ekstrem (Faulina dan Suhartono, 2013).

Pada beberapa data *time series* terkadang mengandung pola linier maupun nonlinier sekaligus di dalamnya, penggunaan model ARIMA tidak dapat diterapkan pada jenis data tersebut karena model ARIMA tidak dapat digunakan untuk data dengan pola nonlinier sedangkan model ANFIS secara individu dinilai kurang baik untuk memodelkan data dengan pola linier dan nonlinier. Untuk itu, digunakan model gabungan *hybrid* ARIMA-ANFIS agar model tersebut dapat

menangkap adanya pola liner dan nonlinier pada data. Pada penulisan tugas akhir ini, akan dilakukan studi kasus untuk memprediksi beban puncak listrik di area Semarang dengan menggunakan metode *hybrid* ARIMA-ANFIS.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan, permasalahan dalam penulisan tugas akhir ini adalah:

1. Bagaimana menentukan model dan hasil peramalan jangka menengah beban puncak listrik di area Semarang menggunakan metode ARIMA, ANFIS, dan *hybrid* ARIMA - ANFIS?
2. Metode permalan manakah yang menghasilkan model terbaik untuk peramalan beban puncak listrik di area Semarang?

1.3 Pembatasan Masalah

Pada penulisan tugas akhir ini, data yang digunakan adalah data pemantauan beban puncak harian trafo gardu induk area Semarang periode 1 Januari 2014 sampai dengan 31 Desember 2014.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari penulisan tugas akhir ini adalah:

1. Menentukan model dan hasil peramalan jangka menengah beban puncak listrik di area Semarang menggunakan metode ARIMA, ANFIS, dan *hybrid* ARIMA - ANFIS.
2. Menentukan metode peramalan terbaik untuk peramalan beban puncak listrik di area Semarang.