



PEMODELAN ARIMAX, FFNN, DAN ARIMAX-FFNN UNTUK PERAMALAN PRODUKSI PADI PROVINSI JAWA TENGAH

Nabila Widya Hapsari✉, Walid

Universitas Negeri Semarang, Kampus Sekaran Gunungpati Semarang, Indonesia
Gedung D7 Lt 1, Kampus Sekaran Gunungpati Semarang, 50229

Info Artikel

Sejarah Artikel:

Diterima Juli 2021

Disetujui November 2021

Dipublikasikan November 2021

Keywords:

Peramalan, ARIMAX, Feed

Forward Neural Network,

Produksi, Hybrid

Abstrak

Pertumbuhan penduduk di Indonesia yang bertambah setiap tahunnya menyebabkan kebutuhan pangan mengalami peningkatan, sedangkan berkurangnya lahan pertanian yang beralih fungsi mengakibatkan turunnya angka produksi padi, sempitnya luas panen tentu berimplikasi pada terbatasnya hasil produksi yang diperoleh. Hal ini mengakibatkan ketersediaan pangan menjadi tidak stabil, sehingga perlu dilakukannya peramalan agar persediaan selalu terpenuhi. Pada penelitian ini, produksi padi akan diramalkan menggunakan metode ARIMAX, FFNN, dan Hybrid ARIMAX-FFNN dengan variabel eksogen adalah luas panen padi. Tujuan penelitian ini, yaitu untuk memperoleh pemodelan ARIMAX, FFNN, dan Hybrid ARIMAX-FFNN untuk meramalkan produksi padi di Provinsi Jawa Tengah, sehingga diperoleh model terbaik yang kemudian dapat digunakan untuk meramalkan produksi padi pada periode berikutnya. Hasil analisis dari penelitian ini menghasilkan model ARIMAX terbaik adalah model ARIMAX (0,0,0)(1,0,1)₆. Sedangkan model FFNN terbaik adalah model FFNN (1-27-1). Model Hybrid ARIMAX-FFNN terbaik adalah model (2-19-1). Model terbaik untuk peramalan produksi padi pada periode mendatang yaitu menggunakan model ARIMAX (0,0,0)(1,0,1)₆.

Abstract

Population growth in Indonesia which increases every year causes food needs to increase. Meanwhile, the reduction in agricultural land that has changed its function has resulted in a decrease in rice production. The narrow harvest area has implications for the limited production yields obtained. This results in unstable food availability, so it is necessary to do forecasting so that supplies are always met. In this study, rice production will be predicted using the ARIMAX, FFNN, and Hybrid ARIMAX-FFNN methods with the exogenous variable being the rice harvested area. The purpose of this study, namely to obtain ARIMAX, FFNN, and Hybrid ARIMAX-FFNN modeling to predict rice production, in order to obtain the best model which is then used to predict rice production in the next period. The results of the analysis of this study produce the best ARIMAX model is the ARIMAX model (0,0,0)(1,0,1)₆. Meanwhile, the best FFNN model is the FFNN model (1-27-1). The best Hybrid ARIMAX-FFNN model is the (2-19-1) model. The best model for forecasting rice production is in the future period is using ARIMAX (0,0,0)(1,0,1)₆.

How to cite:

Hapsari, N. W., Walid. (2021). Pemodelan ARIMAX dan FFNN, Serta Hybrid ARIMAX-FFNN Untuk Meramalkan Produksi Padi di Provinsi Jawa Tengah. *Unnes Journal of Mathematics*, 10(2): 12-21.

© 2021 Universitas Negeri Semarang

✉Alamat korespondensi:

E-mail: nabilawidya781@gmail.com

p-ISSN 2252-6943

e-ISSN 2460-5859

PENDAHULUAN

Peramalan merupakan suatu proses memperkirakan nilai di masa yang akan datang dengan menggunakan data yang terdapat di masa lampau. Peramalan merupakan alat bantu yang diupayakan dapat meminimumkan kesalahan atau *error* dalam memprediksi suatu permasalahan. Ketidakmampuan dalam memprediksi suatu peristiwa secara akurat dan tepat membuat perlunya peramalan penting untuk dilakukan, dengan memilih metode peramalan yang sesuai dan memiliki tingkat akurasi yang tinggi serta memiliki *error* yang minimum. Metode runtun waktu atau *time series* merupakan salah satu teknik dalam proses peramalan. Tujuan penggunaan runtun waktu, yaitu untuk mengembangkan model matematis yang dapat memperkirakan pengamatan untuk masa yang akan datang dengan menggunakan data yang tersedia.

Metode ARIMA merupakan salah satu model analisis runtun waktu yang menggunakan data masa lalu dalam mengenali pola data dan digunakan dalam memprediksi pola masa yang akan datang (Anggriningrum, 2013). Model ARIMA merupakan model gabungan antara *Autoregressive* (AR) orde p dan *Moving Average* (MA) orde q dengan sebuah proses *differencing*. Model ARIMA yang menyertakan deret waktu lain sebagai variabel input sering disebut sebagai model ARIMAX. Model *Autogressive Integrated Moving Average with Exogeneous* (ARIMAX) adalah modifikasi dari model dasar ARIMA dengan penambahan variabel eksogen (Chan dan Cryer, 2008). Pada analisis *time series* di suatu kasus terkadang terjadi fenomena musiman yang berulang setelah periode waktu tertentu. ARIMAX dengan faktor musiman disebut SARIMAX.

Jaringan syaraf tiruan atau *Neural Network* merupakan salah satu representasi buatan dari otak manusia yang selalu mencoba untuk menstimulasikan proses pembelajaran pada otak manusia tersebut (Sari I, 2014). *Neural network* adalah salah satu *machine learning* yang dapat menemukan *hidden structure* atau pola data implisit. Terdapat tiga jenis utama *neural network* yaitu *Feed Forward Neural Network* (FFNN), *Radial Basis Function* (RBF), dan *Kohonen Network* (KN). Di antara ketiga metode tersebut, metode FFNN yang paling banyak digunakan untuk melakukan peramalan (Meinanda, dkk, 2009). Menurut (Puspitaningrum, 2006), FFNN adalah NN yang bergerak maju dan tidak memiliki loop

dimana aliran sinyalnya dari neuron input ke neuron output. Menurut (Yang, 2013), metode FFNN disebut juga *backpropagation neural network*.

Banyak penelitian lain yang menggunakan metode ARIMAX memberikan hasil peramalan yang lebih baik, tetapi keakuratan peramalan masih memberikan hasil yang kurang baik. Salah satu cara untuk meningkatkan keakuratan metode ARIMAX ini yaitu dengan menggunakan model *hybrid*. Model *Hybrid* merupakan metode yang mengkombinasikan ARIMAX sebagai komponen linear dan FFNN sebagai komponen non-linearnya sehingga diharapkan mampu menghasilkan hasil peramalan yang lebih akurat.

Terdapat beberapa contoh kasus terdahulu dalam menyelesaikan masalah peramalan dan sesuai dengan analisis peramalan yang akan dibahas peneliti, diantaranya yaitu penelitian yang dilakukan oleh (Unsa, R., 2017) dengan Metode ARIMAX-ANFIS untuk meramalkan impor beras. Penelitian yang dilakukan oleh (Parameswari, E., 2016) dengan Metode ARIMA, FFNN, *Weighted Fuzzy* untuk meramalkan ekspor ikan. Penelitian yang dilakukan oleh (Noverianto, R., 2018) dengan Metode ARIMAX-Deep Learning Neural Network untuk meramalkan penjualan mobil di Indonesia. Penelitian yang dilakukan oleh (Sulistianto, Y., 2016) dengan Metode ARIMA, FFNN, dan ARIMA-NN untuk meramalkan curah hujan di Banyuwangi, Penelitian yang dilakukan oleh (Wongsathan, R., dkk, 2016) dengan judul *Improvement on PM-10 forecast by using hybrid ARIMAX and Neural Networks Model for the summer season in Chiang Mai*, dan lain-lain. Berdasarkan latar belakang dan penelitian terdahulu, penulis akan menggunakan metode ARIMAX, FFNN, dan *Hybrid* ARIMAX-FFNN untuk meramalkan produksi padi. Metode tersebut dirasa cocok dan sesuai untuk meramalkan produksi padi di Provinsi Jawa Tengah karena metode tersebut dapat meramalkan produksi padi dengan tingkat akurasi yang tinggi, dapat menganalisis data yang mengandung fenomena musiman, dan terdapat metode gabungan yang dimaksudkan untuk menambah keakuratan peramalan data dari model linear sehingga mudah diinterpretasikan dengan mengkombinasikan model linear dengan model non-linear.

Pertanian merupakan kegiatan yang dilakukan manusia dengan tujuan memperoleh bahan pangan yang mengandung sumber energi dengan memanfaatkan sumber daya hayati. Selain itu, pertanian juga merupakan salah satu mata pencaharian bagi sebagian besar masyarakat, sehingga Indonesia sering disebut sebagai Negara Agraris. Pertanian merupakan sektor yang berperan penting di Indonesia, yaitu sebagai penyumbang Produk Domestik Bruto terbesar kedua yang berperan sebagai pendorong pertumbuhan ekonomi nasional.

Beras merupakan bahan pangan yang telah diolah dari pemisahan gabah dan tanaman padi atau nama latinnya *oryza sativa*. Beras merupakan salah satu makanan yang mengandung karbohidrat sehingga dapat meningkatkan energi dalam tubuh dan beras merupakan makanan pokok sebagian besar masyarakat Indonesia, sehingga semakin banyak orang yang mengkonsumsi beras, maka semakin tinggi pula kebutuhan akan beras. Dengan pertumbuhan Indonesia yang selalu meningkat setiap tahun, menyebabkan kebutuhan pangan di Indonesia juga akan mengalami peningkatan, termasuk beras sebagai makanan pokok penduduk Indonesia.

Seiring dengan bertambahnya populasi penduduk dan pesatnya pembangunan diberbagai bidang, beberapa lahan produksi padi di Indonesia telah beralih fungsi dari lahan pertanian menjadi lahan non pertanian. Alih fungsi lahan tersebut sangat berpengaruh pada hasil produksi tanaman padi. Karena semakin berkurangnya jumlah lahan maka semakin berkurang pula produksi padi yang dihasilkan.

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan maka perlu untuk dilakukan peramalan produksi padi untuk periode mendatang yang kemudian dapat digunakan untuk memperkirakan kejadian terburuk, seperti lonjakan permintaan yang dapat terjadi, sehingga dapat mengambil langkah antisipasi terbaik. Berdasarkan latar belakang dan penelitian terdahulu penulis tertarik menentukan metode terbaik dengan membandingkan hasil pada metode ARIMAX dengan luas panen padi sebagai variabel eksogen, metode FFNN, dan hibrida kedua metode dalam peramalan produksi padi di Provinsi Jawa Tengah.

Permasalahan dalam penelitian ini adalah (1) Bagaimana model *Autogressive*

Integrated Moving Average with Exogenous (ARIMAX) untuk peramalan produksi padi di Provinsi Jawa Tengah, (2) Bagaimana model *Feed Forward Neural Network* (FFNN) untuk peramalan produksi padi di Provinsi Jawa Tengah, (3) Bagaimana model ARIMAX-FFNN untuk peramalan produksi padi di Provinsi Jawa Tengah, (4) Bagaimana hasil peramalan untuk periode mendatang pada produksi padi di Provinsi Jawa Tengah.

Tujuan dari penelitian ini adalah (1) mendapatkan model peramalan *Autogressive Integrated Moving Average with Exogenous* (ARIMAX) untuk peramalan produksi padi di Provinsi Jawa Tengah, (2) mendapatkan model peramalan *Feed Forward Neural Network* (FFNN) untuk peramalan produksi padi di Provinsi Jawa Tengah, (3) mendapatkan model peramalan ARIMAX-FFNN untuk peramalan produksi padi di Provinsi Jawa Tengah, (4) mendapatkan hasil peramalan untuk periode mendatang pada produksi padi di Provinsi Jawa Tengah.

METODE

Data yang digunakan dalam penelitian ini berupa data sekunder. Data yang digunakan dalam penulisan skripsi ini diambil secara *online*, yaitu dari website Badan Pusat Statistik (BPS) yang diunduh di laman www.bps.go.id dan website Dinas Pertanian dan Perkebunan (DISTANBUN) Provinsi Jawa Tengah yang diunduh di laman distanbun.jatengprov.go.id. Data yang dikumpulkan merupakan data produksi padi dan luas panen sawah di Provinsi Jawa Tengah, meliputi 35 Kabupaten atau Kota.

Metode pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini, adalah Metode Studi Pustaka. Metode studi pustaka ini dilakukan untuk mendapatkan data-data yang sifatnya mendukung dalam penyelesaian masalah dengan cara menelaah sumber pustaka yang relevan melalui buku-buku, internet, artikel, jurnal nasional maupun internasional, skripsi-skripsi yang berkaitan dengan yang akan dibahas, dan literatur-literatur yang erat kaitannya dengan pemecahan masalah untuk penelitian ini.

Peramalan produksi padi menggunakan metode ARIMAX, FFNN, dan *Hybrid* ARIMAX-FFNN dibantu dengan *software* Rstudio versi 4.0.2.

Tahapan metode ARIMAX pada produksi padi dengan luas panen padi sebagai variabel eksogen terdiri dari beberapa tahap yaitu sebagai berikut: (1) Melakukan pembagian data, yaitu data *testing* dan data *training*, (2) Memeriksa stasioneritas data hasil produksi padi dan luas panen padi, (3) Melakukan *differencing* data jika terdapat data yang non stasioneritas, (4) Melakukan plot ACF dan PACF pada data produksi padi, (5) Melakukan estimasi parameter, (6) Melakukan pengujian signifikansi parameter, (7) Melakukan pengujian diagnostik, meliputi asumsi white noise, dan asumsi berdistribusi normal, (8) Melakukan pemilihan model ARIMAX terbaik, dan (9) Melakukan peramalan ARIMAX.

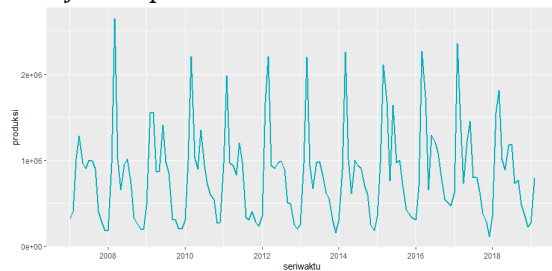
Tahapan metode *feed forward neural network* menggunakan algoritma *backpropagation* untuk langkah-langkah nya adalah (1) Melakukan pembagian data, yaitu data *testing* dan data *training*, (2) Menentukan input *layer*, (3) Menggunakan data *training* atau data latih, (4) Melakukan normalisasi data, (5) Membangun jaringan FFNN, (6) Neuron input menerima sinyal input dan menyebarkannya ke lapisan tersembunyi, (7) Neuron tersembunyi menjumlahkan bobot sinyal input dari lapisan input, menerapkan fungsi aktivasi untuk menghitung sinyal output, dan mengirimkan sinyal output dari fungsi aktivasi ke semua neuron dari lapisan output, (8) Neuron output menjumlahkan bobot sinyal input dari lapisan tersembunyi dan menerapkan fungsi aktivasi untuk menghitung sinyal output, (9) Melakukan denormalisasi data, (10) Menghitung RMSE dan MAPE, dan (11) Peramalan dengan FFNN.

Tahapan metode *hybrid* ARIMAX-FFNN, adalah (1) Melakukan pemodelan ARIMAX, (2) Dari pemodelan ARIMAX didapatkan nilai residual model ARIMAX yang nantinya digunakan sebagai input FFNN, (3) Menentukan jumlah neuron dari *hidden layer*, (4) Membentuk model *hybrid* ARIMAX-FFNN, (5) Melakukan peramalan hibrida ARIMAX-FFNN.

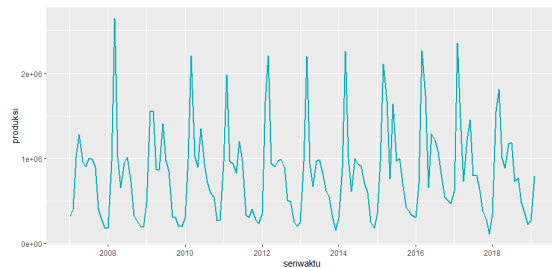
Tahapan selanjutnya adalah memilih model terbaik diantara model ARIMAX, FFNN, dan hibrida ARIMAX-FFNN berdasarkan nilai MAPE dan RMSE dari ketiga metode tersebut. Kemudian dilakukan peramalan menggunakan model terbaik untuk periode berikutnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penerapan metode ARIMAX, FFNN dan *Hybrid* ARIMAX-FFNN untuk peramalan produksi padi di Provinsi Jawa Tengah diterapkan pada data produksi padi dan luas panen padi. Pola data produksi padi dan luas panen padi di Provinsi Jawa Tengah ditunjukkan pada Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar 1. Plot Data Produksi Padi



Gambar 2. Plot Data Luas Panen Padi

Gambar 1 dan Gambar 2 dapat dilihat bahwa pola data menunjukkan data produksi padi dan luas panen padi terdapat pola berulang di setiap tahunnya. Hal ini berarti pola data mengandung trend musiman 6 bulan di setiap periodenya.

METODE ARIMAX

Pembagian data dilakukan dengan membagi data menjadi dua bagian, yaitu data latih dan data uji. Data *training* diperlukan guna melatih metode ARIMAX sehingga nantinya dipakai sebagai pembandingan untuk data *testing* dengan hasil data *training* tersebut. Tahap awal analisis model ARIMAX ini yaitu uji kestasioneran data, uji asumsi kausalitas granger dan analisis korelasi.

Uji kestasioneran data dilakukan menggunakan uji ADF, baik pada data produksi padi maupun luas panen padi. Dari uji kestasioneran pada kedua data tersebut menunjukkan $p - value$ $0,01 < 5\%$, sehingga dapat dikatakan data tersebut telah stasioner. Hal ini berarti tidak perlu dilakukan *differencing* pada kedua data tersebut.

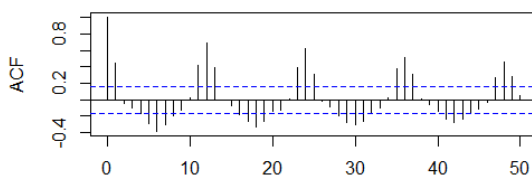
Uji kausalitas granger data produksi padi dan luas panen padi menunjukkan nilai $p - value$ dari statistik F adalah 0.1505, sehingga H_0

diterima. Hal ini berarti tidak terdapat kausalitas terbalik dari variabel dependen luas panen padi dengan produksi padi.

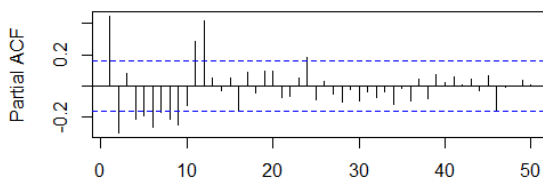
Analisis korelasi pada kedua data diperoleh hasil $p\text{-value} < 2.2e - 16$ maka $p\text{-value} < 0.05$, ini berarti hubungan kedua variabel signifikan. Nilai koefisien korelasi antara luas panen padi dan produksi padi adalah 1, sehingga dapat disimpulkan kedua variabel memiliki hubungan yang kuat. Jadi variabel eksogen cukup baik untuk dapat menjelaskan variabel endogen.

Identifikasi untuk menentukan orde model dengan melihat pola ACF dan PACF.

ACF Produksi



Lag
Gambar 3. Plot ACF
PACF Produksi



Lag
Gambar 4. Plot PACF

Gambar 3 menunjukkan grafik ACF pada data produksi padi terlihat menurun perlahan mendekati nilai 0 atau disebut pola *dying down* dan Gambar 4 PACF terlihat *cutoff* atau terputus seketika menuju nol setelah lag pertama. Oleh karena itu plot menunjukkan kecenderungan memiliki pola *Autogressive* (AR) dan perkiraan model persamaan estimasinya adalah AR(1). Berdasarkan model sementara yang telah diperoleh maka dipilih beberapa model estimasi, yaitu ARIMAX (1,0,0)(1,0,0)₆, ARIMAX (0,0,1)(1,0,0)₆, ARIMAX (1,0,1)(1,0,0)₆, ARIMAX (1,0,0)(0,0,1)₆, ARIMAX (0,0,1)(0,0,1)₆, ARIMAX (1,0,1)(0,0,1)₆, ARIMAX (1,0,0)(1,0,1)₆, ARIMAX (0,0,1)(1,0,1)₆, ARIMAX (1,0,1)(1,0,1)₆, ARIMAX (1,0,1)(2,0,1)₆, ARIMAX (0,0,0)(1,0,1)₆.

Setelah dilakukan uji signifikansi parameter, hanya model ARIMA (1,0,1)(1,0,1)₆ dan ARIMA (0,0,0)(1,0,1)₆ yang nilai parameternya signifikan. Kemudian lakukan pengujian diagnostik diantaranya uji *white noise*,

uji kestasioneran residual, uji non autokorelasi residual, dan uji normalitas residual.

Tabel 1. Hasil Pengujian Diagnostik

Model	Ljung-Box	Residual ADF	Normalitas
ARIMA (1,0,1)(1,0,1) ₆	White noise	Stasioner	Normal
ARIMA (0,0,0)(1,0,1) ₆	White noise	Stasioner	Normal

Selanjutnya memilih model terbaik dari dua model signifikan yang tersedia, berdasarkan nilai *Akaike Information Criteria* (AIC) terkecil.

Tabel 2. Pemilihan Model Terbaik

Model	AIC
ARIMAX (1,0,1)(1,0,1) ₆	3871.48
ARIMAX (0,0,0)(1,0,1) ₆	3868.40

Dari Tabel 2 terlihat nilai AIC model ARIMAX (0,0,0)(1,0,1)₆ lebih kecil dibandingkan ARIMAX (1,0,1)(1,0,1)₆, dengan nilai AIC sebesar 3868.40, sehingga dapat disimpulkan model ARIMAX (0,0,0)(1,0,1)₆ terpilih menjadi model terbaik.

Jadi model ARIMAX (0,0,0)(1,0,1)₆ merupakan model terbaik yang telah memenuhi asumsi statistik, sehingga dapat dipastikan ARIMAX (0,0,0)(1,0,1)₆ valid pada setiap tahap peramalan. Berikut persamaan model ARIMAX (0,0,0)(1,0,1)₆:

$$Y_t = 0.9571Y_{t-6} + 0.8923a_{t-6} + 5.6492X_t + e_t$$

METODE FFNN

Analisis model *feed forward neural network* dalam peramalan produksi padi akan menggunakan algoritma *backpropagation*. Penentuan input jaringan pada penelitian peramalan produksi padi ini terpilih variabel luas panen padi sebagai variabel input. Sedangkan untuk variabel output yang digunakan adalah nilai produksi padi.

Pembagian data akan digunakan untuk membangun jaringan FFNN dengan algoritma

BPNN untuk peramalan produksi padi, yaitu data akan dibagi menjadi data *training* dan data *testing*. Setelah pembagian data dilakukan, selanjutnya dilakukan normalisasi data pada data *input* dengan bantuan *software* Rstudio versi 4.0.2. Setelah data dinormalisasi, dilakukan perancangan model untuk mendapatkan model jaringan terbaik.

Langkah selanjutnya membentuk model terbaik untuk membangun jaringan FFNN algoritma BPNN. Prosedur pembentukan model terbaik untuk membangun jaringan FFNN, yaitu menentukan banyaknya neuron dari *hidden layer*. Lapisan tersembunyi yang digunakan pada arsitektur jaringan FFNN adalah random antara 1-30 neuron pada kemungkinan 1 dan 2 *hidden layer*. Model terbaik akan dipilih berdasarkan nilai RMSEP yang paling minimum. Fungsi aktivasi yang digunakan pada lapisan tersembunyi, yaitu fungsi sigmoid biner. *Learning rate* yang digunakan pada penelitian sebesar 0.01. Pada hasil *learning* diperoleh model terbaik sebagai berikut.

Tabel 3. Kriteria Neuron Terbaik Model FFNN

<i>Hidden Layer</i>	Neuron	RMSEP
1	27	147225,2

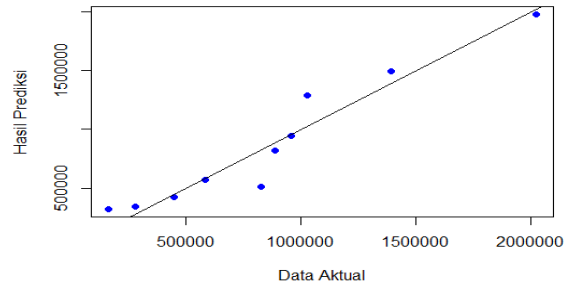
Tabel 3 menunjukkan model terbaik dengan nilai RMSEP terkecil diperoleh 1 *hidden layer* dengan neuron tiap *hidden layer* berjumlah 27 neuron.

Setelah proses prediksi selesai dilakukan, maka hasil output yang telah dinormalisasi dikembalikan lagi seperti semula, proses ini disebut denormalisasi. Perintah untuk melakukan denormalisasi pada Program R, yaitu *denormalize <- function(x,minval,maxval)*.

Berdasarkan hasil pelatihan FFNN diperoleh model jaringan terbaik pada arsitektur jaringan 1-27-1 yang terdiri dari 1 neuron pada lapisan *input*, 27 neuron pada lapisan tersembunyi, dan 1 neuron pada lapisan *output*.

Uji kesesuaian model FFNN dengan arsitektur jaringan 1-27-1 dapat dilihat dari analisis korelasi pearson. Berdasarkan uji korelasi pearson pada model FFNN (1-27-1) menunjukkan hasil *p-value* < 2.2e - 16 maka *p* -

value < 0.05. Nilai koefisien korelasi untuk hasil prediksi produksi padi adalah 1, sehingga dapat disimpulkan model jaringan layak digunakan untuk meramalkan produksi padi. Uji kesesuaian model juga dapat dilihat dari plot yang disajikan pada Gambar 5.



Gambar 5 Uji Kesesuaian Model FFNN

Dari Gambar 5 terlihat bahwa titik mendekati garis diagonal nya, ini berarti menunjukkan hasil yang baik untuk kecocokan output jaringan dengan data aktual, sehingga dapat disimpulkan bahwa model *feed forward neural network* dengan algoritma *backpropagation* yang dibangun dari 27 neuron pada 1 *hidden layer* dapat digunakan untuk meramalkan produksi padi di Provinsi Jawa Tengah.

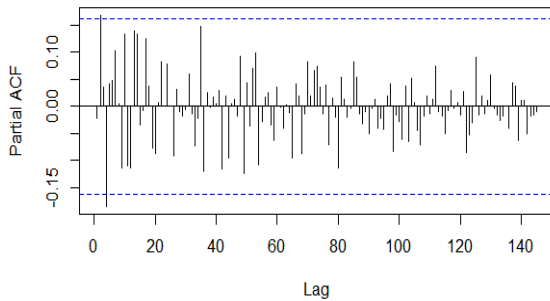
Berdasarkan arsitektur jaringan model FFNN dengan algoritma BPNN diperoleh 27 *hidden layer*, maka terbentuk persamaan model FFNN sebagai berikut.

$$y_t = \left(\sum_{j=1}^{27} w_{kj} \frac{1}{1 + e^{-(v_{j0} + x_t v_{ji})}} \right) + w_{k0}$$

METODE HIBRIDA ARIMAX-FFNN

Hybrid merupakan metode yang menggabungkan dua model, yaitu model linear berupa ARIMAX dan *feed forward neural network* sebagai model nonlinear. Pada analisis metode ARIMAX sebelumnya telah diperoleh bahwa model ARIMAX terbaik yang terpilih dalam penelitian ini adalah model ARIMAX (0,0,0)(1,0,1)₆. Pemodelan dengan *hybrid* ARIMAX-FFNN dilakukan dengan menjadikan residual pada model ARIMAX sebagai variabel input. Penentuan input yang akan digunakan pada *hybrid* ARIMAX-FFNN dilihat berdasarkan plot PACF pada residual model ARIMAX (0,0,0)(1,0,1)₆. Jika pada PACF

terdapat garis yang melewati pita konfidensi (garis putus-putus merah) berarti lag tersebut signifikan. Grafik PACF residual model ARIMAX (0,0,0)(1,0,1)₆ dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Plot PACF Residual ARIMAX

Sesuai dengan plot PACF residual model ARIMAX pada Gambar 6, maka input yang digunakan adalah hanya lag PACF yang signifikan yaitu lag 2 dan lag 4, sehingga ARIMAX-FFNN akan dibangun dengan dua variabel input.

Sebelum melakukan pemodelan langkah yang perlu dilakukan yaitu, menormalisasikan data. Data input dan data output pada data *training* yang akan digunakan harus dinormalisasikan terlebih dahulu agar data yang diproses masuk dalam sebuah *range* tertentu dan sesuai dengan fungsi aktivasi yang akan digunakan.

Pembentukan model terbaik untuk membangun jaringan *hybrid* ARIMAX-FFNN untuk peramalan produksi padi, yaitu menentukan banyaknya neuron dan *hidden layer*. *Hidden layer* yang digunakan pada arsitektur jaringan *hybrid* ARIMAX-FFNN bervariasi antara 1-30 neuron pada kemungkinan 1 *hidden layer*. Model yang terbaik dipilih berdasarkan nilai RMSEP yang paling minimum.

Tabel 4. Kriteria Neuron Terbaik Model ARIMAX-FFNN

<i>Hidden Layer</i>	Neuron	RMSEP
1	19	114567,9

Tabel 4 menunjukkan model terbaik dengan nilai RMSEP terkecil diperoleh 1 *hidden layer* dengan masing-masing neuron tiap *hidden layer* yaitu 19 neuron dengan nilai RMSEP sebesar

114567,9. Fungsi aktivasi yang digunakan, yaitu fungsi sigmoid biner. *Learning rate* yang digunakan pada penelitian sebesar 0.01.

Setelah proses prediksi selesai dilakukan, maka hasil output yang telah dinormalisasi dikembalikan lagi seperti semula, proses ini disebut denormalisasi. Perintah untuk melakukan denormalisasi pada Program R, yaitu `denormalize <- function(x,minval,maxval)`.

Model yang akan digunakan untuk peramalan produksi padi pada hibrida ARIMAX-FFNN adalah model dengan arsitektur jaringan 2-19-1 yang terdiri dari 2 neuron pada lapisan *input*, 19 neuron pada lapisan tersembunyi, dan 1 neuron pada lapisan *output*.

Uji kesesuaian model FFNN dengan arsitektur jaringan 2-19-1 dapat dilihat dari analisis korelasi pearson. Berdasarkan uji korelasi pearson pada model hibrida ARIMAX-FFNN (2-19-1) menunjukkan hasil $p\text{-value} < 2.2e - 16$ maka $p\text{-value} < 0.05$. Nilai koefisien korelasi untuk hasil prediksi produksi padi adalah 1, sehingga dapat disimpulkan model jaringan layak digunakan untuk meramalkan produksi padi.

Persamaan model hibrida ARIMAX-FFNN (2-19-1) dimana L_t merupakan komponen linear berupa hasil peramalan ARIMAX (0,0,0)(1,0,1)₆ dan N_t merupakan komponen nonlinear berupa hasil peramalan FFNN dengan ARIMAX (0,0,0)(1,0,1)₆ sebagai variabel input, diperoleh hasil sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 Y_t &= L_t + N_t \\
 &= a_t + 0.8923a_{t-6} + 0.9571Y_{t-6} + 5.6492X_t \\
 &\quad + \left(\sum_{j=1}^{19} w_{kj} \frac{1}{1 + e^{-(v_{j0} + \sum_{i=1}^2 X_{it} v_{ji})}} \right) + w_{k0}
 \end{aligned}$$

Peramalan Produksi Padi

Pada penelitian ini produksi padi diramalkan menggunakan metode ARIMAX, FFNN dengan algoritma BPNN, dan *hybrid* ARIMAX-FFNN dengan bantuan program Rstudio versi 4.0.2 dan telah diperoleh hasil analisis dari masing-masing metode peramalan

yang digunakan, maka langkah selanjutnya perlu dilakukan perbandingan guna mengetahui metode manakah yang paling baik untuk meramalkan produksi padi di Provinsi Jawa Tengah. Perbandingan peramalan produksi padi dilakukan dengan menghitung nilai RMSE dan MAPE, kemudian dipilih nilai yang paling kecil dari ketiga metode tersebut atau bisa juga dipilih dari nilai akurasi terbesar dari ketiga metode untuk dijadikan model terbaik.

Perbandingan hasil peramalan produksi padi antara model ARIMAX, *feed forward neural network*, dan *hybrid* ARIMAX-FFNN berdasarkan nilai MAPE disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Perbandingan Akurasi Hasil Peramalan Berdasarkan Nilai MAPE

Model	MAPE	Akurasi
ARIMAX	10,5102%	89,4898%
FFNN	21,1271%	78,8729%
ARIMAXFFNN	11,6953%	88,3047%

Tabel 5 terlihat bahwa model dengan nilai MAPE terkecil dan nilai akurasi terbesar, yaitu model ARIMAX (0,0,0)(1,0,1)₆ diperoleh nilai MAPE sebesar 10,5102% dengan akurasi sebesar 89,4898%, sehingga model ARIMAX (0,0,0)(1,0,1)₆ merupakan model terbaik yang dapat digunakan untuk peramalan produksi padi di Provinsi Jawa Tengah.

Dari nilai MAPE diperoleh model terbaik, yaitu model ARIMAX (0,0,0)(1,0,1)₆. Oleh karena itu, maka model ARIMAX (0,0,0)(1,0,1)₆ adalah model yang optimal untuk peramalan produksi padi di Provinsi Jawa Tengah. Hasil peramalan produksi padi di Provinsi Jawa Tengah menggunakan model ARIMAX (0,0,0)(1,0,1)₆ untuk Bulan Maret 2019 sampai dengan Bulan Desember 2019 disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Data Aktual dan Data Hasil Peramalan Produksi Padi Menggunakan Model Terbaik

Bulan	Nilai Produksi Padi	
	Data Aktual	Data Peramalan
Maret 2019	2022765	1988049.3
April 2019	1491780	1482669.9

Mei 2019	584473	637899,0
Juni 2019	1228419	1288617,9
Juli 2019	887690	889279,4
Agustus 2019	958022	1025932,6
September 2019	528398	599619,3
Oktober 2019	450943	408857,0
November 2019	278579	240048,8
Desember 2019	164784	157591,7

Tabel 6 menunjukkan bahwa terjadi perbedaan jumlah produksi padi antara data aktual dan data hasil peramalan. Setelah dibandingkan dengan hasil ramalan terlihat bahwa pada Bulan Juni 2019 merupakan selisih terbesar dari 10 periode. Hasil prediksi Bulan Juni 2019, yaitu 1288617,9 ton sedangkan untuk data aktual 1028419 ton. Selisih data hasil prediksi dan aktual pada Bulan Juni 2019 sebesar 260198,9 ton.

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut: (1) Model ARIMAX untuk peramalan produksi padi di Provinsi Jawa Tengah dengan luas panen padi sebagai variabel eksogen diperoleh model terbaik yaitu ARIMAX musiman (0,0,0)(1,0,1)₆. Berikut persamaan model ARIMAX (0,0,0)(1,0,1)₆, yaitu:

$Y_t = 0.9571Y_{t-6} + 0.8923a_{t-6} + 5.6492X_t + e_t$
 (2) Model FFNN untuk peramalan produksi padi di Provinsi Jawa Tengah dengan algoritma BPNN diperoleh model terbaik yaitu FFNN(1-27-1) yang terbangun dari 1 neuron pada lapisan input, 27 neuron pada lapisan tersembunyi, dan 1 neuron pada lapisan output. Berikut persamaan model FFNN (1-27-1), yaitu:

$$y_t = \left(\sum_{j=1}^{27} w_{kj} \frac{1}{1 + e^{-(v_{j0} + x_i v_{ji})}} \right) + w_{k0}$$

(3) Model *hybrid* ARIMAX-FFNN untuk peramalan produksi padi di Provinsi Jawa Tengah diperoleh model terbaik yaitu *hybrid* ARIMAX-FFNN (2-19-1) yang terbangun dari 2 neuron pada lapisan input, 19 neuron pada lapisan tersembunyi, dan 1 neuron pada lapisan output. Berikut persamaan model *hybrid* ARIMAX-FFNN (2-19-1), yaitu:

$$Y_t = 0.9571Y_{t-6} + 0.8923a_{t-6} + 5.6492X_t + e_t + \left(\sum_{j=1}^{19} w_{kj} \frac{1}{1 + e^{-(v_{j0} + \sum_{i=1}^2 X_i v_{ji})}} \right) + w_{k0}$$

(4) Model terbaik untuk peramalan produksi padi di Provinsi Jawa Tengah dari ketiga metode yang sudah dianalisis adalah model ARIMAX (0,0,0)(1,0,1)₆ dengan nilai MAPE sebesar 10.5%. Hasil peramalan produksi padi di Provinsi Jawa Tengah menggunakan model ARIMAX (0,0,0)(1,0,1)₆ untuk Bulan Maret 2019 sebesar 1988049 ton, Bulan April 2019 sebesar 1482670 ton, Bulan Mei 2019 sebesar 637899 ton, Bulan Juni 2019 sebesar 1288618 ton, Bulan Juli 2019 sebesar 889279 ton, Bulan Agustus 2019 sebesar 1025932 ton, Bulan September 2019 sebesar 599619 ton, Bulan Oktober 2019 sebesar 408857 ton, Bulan November 2019 sebesar 240049 ton, dan Bulan Desember 2019 sebesar 157592 ton.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian maka saran yang dapat disampaikan adalah sebagai berikut:

(1) Untuk penelitian selanjutnya gunakan metode yang sesuai dengan data yang akan dipilih. Apabila data yang digunakan mempunyai karakteristik musiman, model yang sesuai, antara lain model SARIMAX, dan lain-lain. Apabila data yang digunakan belum diketahui pola-nya atau data tidak mengandung musiman bisa menggunakan model FFNN, BPNN, dan lain-lain, karena model ini tidak mensyaratkan data harus bersifat linear atau non linear, (2) Untuk penelitian selanjutnya dapat diteliti model ARIMAX untuk data produksi padi dengan menambahkan variabel independen yang lain agar variabel dependen produksi padi lebih dapat dijelaskan. Variabel independen yang mungkin memberikan pengaruh produksi padi, diantaranya curah hujan, tingkat kesuburan tanah, dan lain-lain, (3) Untuk penelitian selanjutnya pilih arsitektur model FFNN yang lebih baik dengan menggunakan lebih banyak variasi pada neuron tersembunyi, lapisan tersembunyi, fungsi aktivasi, algoritma pelatihan, dan parameter-parameter pelatihan yang akan digunakan. Penentuan parameter-parameter akan menentukan besar kecilnya error pada tahap pelatihan, tahap pengujian, dan

peramalan, (4) Untuk penelitian selanjutnya dapat menggunakan algoritma penentuan bobot awal, seperti algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO) untuk menentukan bobot awal saat pelatihan *neural network*, sehingga diharapkan hasil peramalan yang diperoleh akan lebih baik dengan error minimum.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih kepada keluarga yang telah memberikan doa dan dukungan secara moral. Serta pihak-pihak yang membantu dan mendukung selama pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggriningrum, D., Hendikawati, P., & Abidin, Z. 2013. Perbandingan Prediksi Harga Saham Dengan Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan Backpropagation Dan ARIMA. 72: 630-637.
- Cryer, J., & Chan, K. 2008. *Time Series Analysis: with Applications In R*. New York: Springer.
- Fausset, L. 1994. *Fundamental of Neural Network (Archetectures, Algorithms, and Applications)*. London: Prentice-Hall.
- Makridakis, S., Wheelwright, S., & Hyndman, R. 1998. *Forecasting: Methods and Applications (3rd ed)*. New York: Wiley.
- Meinanda, M., Annisa, M., Muhandri, N., & Suryadi, K. 2009. Prediksi Masa Studi Sarjana Dengan Artificial Neural Network. 1(2): 31-35.
- Noverianto, R. N. 2018. Peramalan Penjualan Mobil Di Indonesia Dengan Model Hybrid ARIMAX-DLNN Dengan Hierachy Time Series. *Skripsi*. Surabaya: Fakultas Matematika, Komputasi dan Sains Data Institut Teknologi Sepuluh November.
- Parameswari, E. W. 2016. Peramalan Ekspor Perikanan Indonesia Dengan Pendekatan ARIMA, FFNN, Dan Weighted Fuzzy Time Series. *Tesis*. Surabaya: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Institut Teknologi Sepuluh November.
- Puspitaningrum, D. 2006. *Pengantar Jaringan Syaraf Tiruan*. Yogyakarta: ANDI.

- Rokhiti, U. 2017. Peramalan Impor Beras Menggunakan Metode Campuran ARIMAX-ANFIS. *Skripsi*. Surabaya: Fakultas Teknologi Informasi Institut Teknologi Sepuluh November.
- Sari, I. 2014. Prediksi Data Harga Saham Harian Menggunakan Feed Forward Neural Network (FFNN) dengan Pelatihan Algoritma Genetika. 3(3): 441-450.
- Sulistianto, Y. 2016. Peramalan Curah Hujan Dengan Pendekatan Model ARIMA, FFNN, Dan Hybrid ARIMA-NN Di Banyuwangi. *Skripsi*. Surabaya: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Institut Teknologi Sepuluh November.
- Wei, W. 2006. *Time Series Analysis: Univariate and Multivariate Methods (2nd ed)*. New York: Pearson.
- Yang, Y., Hu, J., Lv, Y., & Zhang, M. 2013. Predictions On The Development Dimensions Of Provincial Tourism Discipline Based On The Artificial Neural Network BP Model. 3(3): 13-20.