

Pemodelan Produksi Minyak dan Gas Bumi di PT. “Z” Menggunakan Metode ARIMA, FFNN, dan *Hybrid* ARIMA-FFNN

Daniar Kusumaning Ayu, Destri Susilaningrum dan Suhartono
Jurusan Statistika, Fakultas MIPA, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: destri_s@statistika.its.ac.id, suhartono@statistika.its.ac.id, daniar14@mhs.statistika.its.ac.id

Abstrak—Proses pengambilan produksi minyak dan produksi gas bumi yang dilakukan secara terus menerus di bawah tanah oleh PT. “Z” dapat mengakibatkan produksi tersebut menurun. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk meramalkan produksi minyak dan produksi gas bumi pada beberapa periode mendatang dengan menggunakan metode ARIMA, FFNN, dan *Hybrid* ARIMA-FFNN. Data yang digunakan adalah produksi minyak dan produksi gas bumi per hari pada platform “S” mulai 01 Januari sampai dengan 31 Desember 2015. Hasil penelitian dengan menggunakan metode ARIMA, FFNN, dan *Hybrid* ARIMA-FFNN menghasilkan kesimpulan bahwa model terbaik untuk produksi minyak bumi adalah menggunakan metode FFNN dengan jumlah *neuron* pada *hidden layer* sebanyak sembilan. Sedangkan model terbaik untuk produksi gas bumi menggunakan metode *Hybrid* ARIMA-FFNN dengan jumlah *neuron* pada *hidden layer* sebanyak sepuluh.

Kata Kunci—ARIMA, FFNN, *Hybrid* ARIMA-FFNN.

I. PENDAHULUAN

Minyak bumi merupakan salah satu bentuk hidrokarbon, yaitu senyawa kimia yang mengandung hidrogen dan karbon. Sedangkan gas alam atau sering juga disebut sebagai gas bumi merupakan bahan bakar fosil yang berasal dari sisa-sisa tanaman, hewan dan mikroorganisme [1]. Pembentukan minyak dan gas bumi dapat terjadi karena beberapa faktor, yaitu adanya bebatuan asal yang secara geologis memungkinkan terjadinya pembentukan minyak dan gas bumi, adanya perpindahan hidrokarbon dari bebatuan asal menuju ke bebatuan *reservoir*, dan adanya jebakan geologis. Pengambilan minyak dan gas bumi dapat dilakukan setelah pembentukan tersebut terjadi. Salah satu cara untuk melakukan pengambilan minyak dan gas bumi yang ada di bawah tanah adalah dengan membangun sumur melalui pemboran (*drilling*), memasang tubular sumur (*casing*), dan penyemenan (*cementing*). Kemudian dilakukan proses *completion* untuk membuat sumur siap digunakan. Proses ini meliputi perforasi, yaitu pelubangan dinding sumur, pemasangan seluruh pipa-pipa dan katup produksi beserta aksesorisnya untuk mengalirkan minyak dan gas ke permukaan, pemasangan kepala sumur di permukaan, pemasangan berbagai peralatan keselamatan, pemasangan pompa jika diperlukan, dan lain sebagainya. Setelah sumur tersebut siap digunakan, maka akan diambil minyak bumi yang ada didalamnya. Proses pengambilan minyak dan gas bumi tersebut akan terus-menerus berjalan setiap harinya. Ketika jumlah produksi minyak dan gas bumi mengalami penurunan akan dilakukan *treatment*

pada sumur tersebut untuk menaikkan produksi minyak dan gas bumi tersebut [2].

PT. “Z” merupakan salah satu perusahaan yang memproduksi minyak dan gas bumi di Indonesia. PT. “Z” mempunyai banyak *platform* yang didalamnya terdiri dari banyak sumur untuk menghasilkan produksi minyak dan produksi gas bumi. *Platform* tersebut mempunyai “*wellhead*” (kepala sumur) yang berfungsi untuk proses produksi minyak dan produksi gas bumi tersebut. Oleh karena itu, tujuan dilakukan penelitian pemodelan jumlah produksi minyak dan produksi gas bumi pada di PT. “Z” dengan menggunakan metode ARIMA, FFNN, dan *Hybrid* ARIMA-FFNN adalah untuk mengetahui produksi minyak dan produksi gas bumi pada beberapa periode mendatang, sehingga dapat mengetahui pada periode keberapa dilakukan *treatment* pada sumur yang mengalami penurunan pada produksi minyak bumi. Beberapa penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya mengenai pemodelan minyak bumi, yaitu oleh Elliyana mengenai penerapan model GSTAR dan model ARIMA untuk peramalan data produksi minyak bumi di JOB P-PEJ yang memberikan hasil bahwa model yang paling sesuai dengan kondisi data adalah model GSTAR ($I_1 - I(1)$) dengan bobot lokasi *inverse* jarak [3]. Penelitian selanjutnya oleh Adnyana mengenai penerapan *bootstrap* pada *neural network* untuk peramalan produksi minyak mentah di Indonesia dengan hasil yang diperoleh adalah produksi minyak mentah dapat diramalkan dengan *time series forecasting* atau dengan metode ARIMA dimana model diasumsikan sebagai fungsi linier. Salah satu model nonlinier untuk *time series forecasting* adalah *artificial neural network* [4].

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Statistika Deskriptif

Statistika deskriptif adalah metode-metode yang berkaitan dengan pengumpulan dan penyajian suatu gugus data sehingga memberikan informasi yang berguna. Statistika deskriptif memberikan informasi hanya mengenai data yang dipunyai dan tidak menarik inferensia atau kesimpulan [5].

B. Model Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA)

Model ARIMA merupakan penggabungan antara model Autoregressive (AR) dan Moving Average (MA). Secara umum, model ARIMA non musiman dapat dituliskan sebagai ARIMA (p,d,q) dengan model matematis sebagai berikut [6].

$$\phi_p(B)(1-B)^d \dot{Z}_t = \theta_q(B)a_t \tag{1}$$

dimana

$$\phi_p(B) = (1 - \phi_1 B - \dots - \phi_p B^p)$$

dan

$$\theta_q(B) = (1 - \theta_1 B - \dots - \theta_q B^q)$$

C. Deteksi Outlier

Outlier merupakan gangguan kejadian yang mengakibatkan pengamatan tidak tepat pada data tersebut. Model outlier secara umum dengan k outlier dapat dilihat sebagai berikut [6].

$$Z_t = \sum_{j=1}^k \omega_j v_j(B) I_t^{(T_j)} + X_t \tag{3}$$

Dimana $X_t = (\theta(B)/\phi(B))a_t$ untuk AO $v_j(B) = 1$ dan untuk IO $v_j(B) = \theta(B)/\phi(B)$ pada waktu $t = T_j$

D. FFNN (Feed Forward Neural Network)

FFNN disebut juga Multi Layer Perceptron (MLP). Jaringan pada model FFNN menggunakan algoritma backpropagation yang meliputi tiga tahap yaitu umpan maju (feed forward) dari pola input, perhitungan dan propagasi balik dari error dan penyesuaian bobot [7]. Fungsi aktivasi sigmoid pada neural network adalah sebagai berikut.

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \tag{4}$$

Model FFNN dengan satu hidden dan input X_{t-1}, \dots, X_{t-p} dapat ditulis dalam bentuk sebagai berikut.

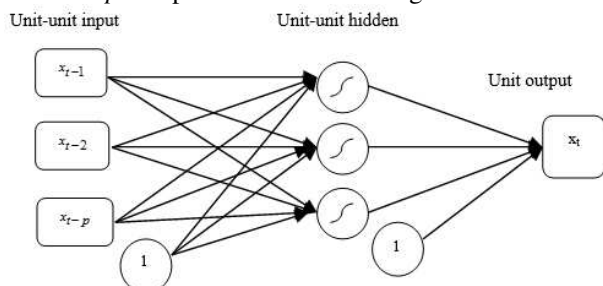
$$\hat{y} = \psi_0 \left\{ \omega_{c0} + \sum_n \omega_{n0} \psi_n \left(\omega_{cn} + \sum_t \omega_{in} x_t - J_t \right) \right\} \tag{5}$$

dimana

- \hat{y} : output
- ψ_0 : fungsi aktivasi neuron pada outputlayer
- ω_{c0} : bias neuron pada output layer
- ω_{n0} : pembobot pada hidden layer yang menuju output
- ψ_n : fungsi aktifasi neuron pada hidden layer
- ω_{cn} : bias neuron pada hidden layer
- ω_{in} : pembobot input yang menuju ke hidden layer

Untuk h dimana $n = 1, 2, \dots, h$ dan p dimana $n = 1, 2, \dots, p$.

Arsitektur model FFNN dengan unit input lag 1 sampai p dan unit konstan, satu hidden layer dengan 3 neuron dan 1 unit output dapat diilustrasikan sebagai berikut.



Gambar 1. Arsitektur FFNN Dengan Unit Input Lag 1 Sampai p dan Unit Konstan, Satu Hidden Layer Dengan 3 Neuron dan 1 Unit Output

E. Hybrid ARIMA-FFNN

Hybrid ARIMA-FFNN merupakan gabungan dari model ARIMA dan FFNN. Model ARIMA digunakan pada kondisi yang linier sedangkan pada neural network digunakan pada kondisi yang non linier. Secara umum gabungan dari model ARIMA dan neural network menghasilkan persamaan sebagai berikut [8].

$$Y_t = L_t + N_t \tag{6}$$

Dimana L_t merupakan komponen linier model ARIMA dan N_t merupakan komponen non linier model NN

F. Minyak dan Gas Bumi

Minyak bumi disebut sebagai emas hitam atau emas cair yang merupakan salah satu bentuk hidrokarbon, yaitu senyawa kimia yang mengandung hidrogen dan karbon dengan satuan yang digunakan yaitu bbls (barel). Sedangkan gas alam sering juga disebut sebagai gas bumi yang ditemukan di ladang minyak bersama minyak bumi, ladang gas bumi, dan juga tambang batu bara [9]. Satuan yang digunakan pada gas bumi adalah mscf (million standart cubic feed). Gas alam yang didapat dari dalam sumur di bawah bumi, biasanya bergabung dengan minyak bumi. Pada produksi minyak atau gas yang terdapat di platform lepas pantai merupakan sebuah struktur lepas pantai tetap (fixed) atau istilah yang sering digunakan untuk menggambarkan suatu instalasi lepas pantai. Sedangkan sumur produksi merupakan sumur yang mampu menghasilkan minyak bumi, gas bumi, maupun keduanya. Serta memiliki aliran fluida dari bawah ke atas [10].

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Sumber Data dan Variabel Penelitian

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data sekunder mengenai produksi minyak dan produksi gas bumi yang diperoleh dari PT. "Z" pada platform "S". Data tersebut merupakan data harian yang diambil pada periode 01 Januari sampai dengan 31 Desember 2015.

B. Langkah-langkah Analisis

Langkah-langkah yang dilakukan untuk menjawab tujuan penelitian adalah sebagai berikut.

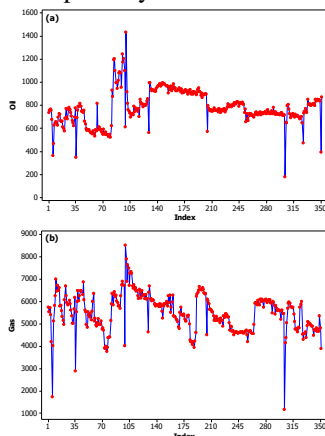
- 1) Analisis statistika deskriptif.
 - Melakukan analisis statistika deskriptif untuk mengetahui karakteristik produksi minyak dan produksi gas bumi di PT. "Z" dengan plot time series, mean, maksimum, dan minimum.
- 2) Melakukan pemodelan menggunakan metode ARIMA, FFNN, dan Hybrid ARIMA-FFNN.
 - i. Pemodelan produksi minyak dan produksi gas bumi menggunakan metode ARIMA adalah sebagai berikut
 - a. Membagi data time series menjadi data in sample dan out sample.
 - b. Membuat time series plot.
 - c. Melakukan pengecekan stasioneritas dalam varians dan mean. Jika tidak stasioner dalam varians, maka dilakukan transformasi. Sedangkan jika tidak stasioner dalam mean, maka dilakukan differencing.
 - d. Melakukan identifikasi model data produksi minyak dan produksi gas bumi di PT. "Z".
 - e. Melakukan estimasi dan pengujian parameter berdasarkan model yang telah diduga.
 - f. Melakukan diagnostic checking dengan memenuhi dua asumsi, yaitu white noise dan berdistribusi normal. Jika tidak berdistribusi normal dan ada data ekstrim makadilakukan deteksi outlier.
 - g. Pemilihan model terbaik dengan melihat nilai RMSE paling rendah dari model yang telah didapatkan.

- h. Setelah mendapatkan model terbaik, maka dilakukan peramalan untuk beberapa periode mendatang dengan menggabungkan data *in sample* dan *out sample*.
- ii. Pemodelan produksi minyak dan produksi gas bumi menggunakan metode FFNN adalah sebagai berikut
 - a. Menentukan banyak input, jumlah neuron dalam *hidden layer*, bobot awal, dan fungsi aktivasi.
 - b. Melakukan *in-sampling training* pada data pelatihan dengan memasukkan bobot dan arsitektur FFNN yang telah didapatkan untuk mendapatkan model terbaik.
 - c. Pemilihan model terbaik berdasarkan nilai RMSE terkecil.
 - d. Melakukan peramalan pada beberapa periode mendatang dengan menggabungkan data *in sample* dan *out sample*.
- iii. Pemodelan produksi minyak dan produksi gas bumi menggunakan metode *hybrid* ARIMA-FFNN.
 - a. Melakukan pemodelan ARIMA untuk data produksi minyak dan produksi gas bumi.
 - b. Mendapatkan residual hasil ramalan data produksi minyak dan produksi gas bumi dari model ARIMA.
 - c. Melakukan pemodelan FFNN dengan input yang digunakan berdasarkan residual dari model ARIMA yang terpilih dengan melihat lag yang signifikan pada plot ACF dan PACF.
 - d. Pemilihan model terbaik berdasarkan nilai RMSE terkecil.
 - e. Melakukan peramalan pada beberapa periode mendatang dengan menggabungkan data *in sample* dan *out sample*.

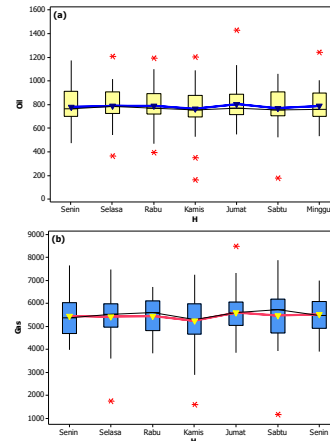
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisis Deskriptif

Analisis statistika deskriptif dari data produksi minyak dan produksi gas bumi di PT. "Z" pada platform "S" dapat disajikan pada Gambar 2. Berdasarkan Gambar 2 dapat diketahui bahwa pola data pada produksi minyak dan produksi gas bumi mulai bulan Januari hingga Desember tahun 2015 mempunyai pola yang sama, yaitu belum stasioner. Pada pola tersebut juga tidak terdapat adanya pola musiman karena tidak ada pengulangan secara periodik pada setiap harinya.



Gambar 2. Plot Time Series Data Produksi Minyak Bumi (a) dan Produksi Gas Bumi (b)



Gambar 3. Box-Plot Data Produksi Minyak Bumi (a) dan Produksi Gas Bumi (b)

Gambar 3 menunjukkan bahwa pada hari Jumat rata-rata jumlah produksi minyak bumi per hari paling banyak yaitu sebesar 801,46 bbls. Sedangkan pada gambar *box-plot* data produksi gas bumi (b) rata-rata jumlah produksi gas bumi per harinya paling banyak adalah pada hari Jumat yaitu sebesar 5588,69 mscf. Berdasarkan pola *box-plot* tersebut juga terdapat data ekstrim atau adanya *outlier*. *Outlier* pada data produksi minyak bumi terjadi pada periode 06 Januari, 05 Februari, 25 Maret, 26 Maret, 05 April, 07 April, 10 April, 31 Oktober, 16 Desember, dan 31 Desember tahun 2015. Sedangkan *outlier* pada data produksi gas bumi terjadi pada periode 06 Januari, 10 April, 31 Oktober, 31 Desember tahun 2015.

B. Pemodelan Produksi Minyak Bumi

Pemodelan data produksi minyak bumi dilakukan dengan tiga metode, yaitu metode ARIMA, FFNN, dan *Hybrid* ARIMA-FFNN. Pemodelan dengan menggunakan metode ARIMA dilakukan dengan beberapa tahap. Tahap pertama adalah identifikasi model dengan melakukan pengecekan stasioneritas dalam varians dan *mean*. Data produksi minyak bumi ternyata sudah stasioner terhadap varians karena nilai selang interval sudah memuat angka lebih dari 1. Sedangkan saat dilakukan pengecekan stasioner terhadap *mean* belum stasioner, sehingga dilakukan proses *differencing* pada lag 1. Selanjutnya dilakukan pendugaan model dengan plot ACF menunjukkan bahwa plot turun cepat secara eksponensial (*dies down*) dan plot PACF menunjukkan plot terputus setelah lag ke-2. Berdasarkan plot ACF dan PACF model yang telah diduga adalah ARIMA (0,1,1) dan ARIMA (2,1,0). Estimasi dan pengujian parameter dilakukan berdasarkan model yang telah diduga dengan kesimpulan bahwa model signifikan karena *P-value* kurang dari α (0,05). Sedangkan pada *diagnostic checking* kedua model tersebut telah memenuhi asumsi *white noise* dan tidak berdistribusi normal. Oleh karena itu dilanjutkan dengan deteksi *outlier*. Berdasarkan hasil estimasi dan pengujian parameter model ARIMA (0,1,1) dan ARIMA (2,1,0) dengan deteksi *outlier* data produksi minyak bumi menghasilkan kesimpulan bahwa kedua model telah signifikan. Pada tahap *diagnostic checking* model ARIMA (0,1,1) dan ARIMA (2,1,0) telah memenuhi asumsi *white noise* karena *P-value* lebih besar dari α (0,05) dan tetap tidak berdistribusi normal setelah dilakukan deteksi *outlier*.

Tahap selanjutnya adalah pemilihan model terbaik dengan melihat nilai RMSE dari *out sample*. Model

ARIMA yang terbaik adalah model ARIMA (2,1,0) dengan nilai RMSE paling rendah sebesar 221,701. Bentuk umum model ARIMA (2,1,0) dengan deteksi outlier ditampilkan pada persamaan sebagai berikut.

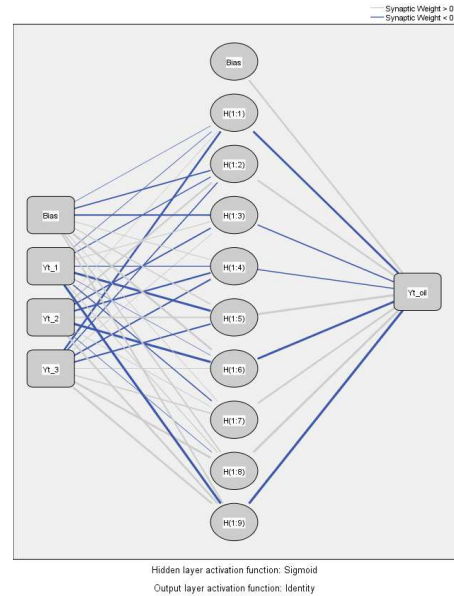
$$\begin{aligned}
 Z_t = & 0,86004Z_{t-1} - 0,10776Z_{t-2} + 0,24772Z_{t-3} + a_t + 676,4755I_t^{100} + 245,9263I_t^{63} \\
 & + \frac{320,9576}{(1-B)}I_t^{84} + \frac{275,5016}{(1-B)}I_t^{95} + \frac{303,4510}{(1-B)}I_t^{82} - 458,8419I_t^{350} + \frac{133,4779}{(1-B)}I_t^{307} \\
 & - 426,4232I_t^{36} - 422,2489I_t^{129} - \frac{122,9200}{(1-B)}I_t^{94} + \frac{103,7158}{(1-B)}I_t^{22} + \frac{141,5277}{(1-B)}I_t^{129} \\
 & - 303,6390I_t^6 - 175,2806I_t^7 - 324,4022I_t^{204} + \frac{148,4931}{(1-B)}I_t^{118} - 509,2008I_t^{304} \\
 & - \frac{491,0398}{(1-B)}I_t^{99} + 73,8203I_t^{23} + \frac{197,7983}{(1-B)}I_t^{81} + \frac{97,4262}{(1-B)}I_t^{333} + 68,2305I_t^{110} \\
 & + \frac{74,7747}{(1-B)}I_t^{26} + \frac{76,8551}{(1-B)}I_t^{35} + \frac{70,5030}{(1-B)}I_t^{13} + \frac{64,8637}{(1-B)}I_t^{91} - \frac{98,7595}{(1-B)}I_t^{87} \\
 & - 91,8844I_t^{254} - 73,8786I_t^{37} - \frac{110,9577}{(1-B)}I_t^{98} - \frac{108,4014}{(1-B)}I_t^{47} - \frac{103,6639}{(1-B)}I_t^{86} \\
 & - \frac{83,4443}{(1-B)}I_t^5 - 66,8117I_t^{154} - 62,2148I_t^{89} - \frac{75,6675}{(1-B)}I_t^{117} - \frac{70,1895}{(1-B)}I_t^{252} \\
 & - \frac{108,9839}{(1-B)}I_t^{205} + 166,7600I_t^{101} + 60,4598I_t^{102} + \frac{63,6445}{(1-B)}I_t^{34} + 47,1749I_t^{289} \\
 & + \frac{142,1591}{(1-B)}I_t^{100} - 50,3911I_t^{96} + 66,4718I_t^{326} - 43,1616I_t^{257} - \frac{54,0813}{(1-B)}I_t^{83} \\
 & - 57,9069I_t^{19} + \frac{50,48886}{(1-B)}I_t^{343} - 38,8627I_t^{311}
 \end{aligned}$$

Metode yang digunakan selanjutnya adalah pemodelan data produksi minyak bumi menggunakan FFNN. Sebelum analisis dilakukan, diperlukan uji linieritas yang menghasilkan kesimpulan bahwa data produksi minyak bumi merupakan model non linier karena $P\text{-value}$ ($4,76e^{-10}$) kurang dari α (0,05). Sehingga dapat dilakukan pemodelan menggunakan FFNN. Input yang digunakan pada model ARIMA (2,1,0) berdasarkan lag yang signifikan pada PACF, yaitu lag 1 dan lag 2 serta differencing lag 1. Sehingga input yang digunakan adalah Y_{t-1} , Y_{t-2} , Y_{t-3} . Untuk target pemodelan FFNN adalah Y_t . Berdasarkan jumlah neuron pada hidden layer yang digunakan sebanyak satu hingga sepuluh menunjukkan bahwa nilai RMSE dari out sample paling rendah adalah sebesar 213,615 dengan jumlah neuron dalam hidden layer sebanyak sembilan. Secara umum arsitektur jaringan model NN dapat dimodelkan sesuai dengan fungsi aktivasi sigmoid pada hidden layer dan fungsi linier pada output. Model yang didapatkan adalah sebagai berikut.

$$\hat{Z}_t^* = 0,962 - 1,456h_1 + 1,149h_2 - 0,309h_3 - 0,268h_4 + 1,509h_5 - 1,606h_6 - 5,236 + 4,154h_1 + 4,746h_2 + 1,043h_3 + 0,826h_4$$

dengan

$$\begin{aligned}
 h_1 &= \frac{1}{1 + \exp(-(-0,024 - 0,098Z_{t-1}^* + 0,072Z_{t-2}^* - 1,237Z_{t-3}^*))} \\
 h_2 &= \frac{1}{1 + \exp(-(-0,479 - 0,251Z_{t-1}^* + 0,932Z_{t-2}^* - 0,296Z_{t-3}^*))} \\
 h_3 &= \frac{1}{1 + \exp(-(-0,561 + 0,212Z_{t-1}^* - 0,483Z_{t-2}^* + 0,102Z_{t-3}^*))} \\
 h_4 &= \frac{1}{1 + \exp(-(-0,154 - 0,248Z_{t-1}^* - 0,860Z_{t-2}^* - 0,522Z_{t-3}^*))} \\
 h_5 &= \frac{1}{1 + \exp(-(-0,298 - 1,674Z_{t-1}^* + 0,480Z_{t-2}^* - 0,560Z_{t-3}^*))} \\
 h_6 &= \frac{1}{1 + \exp(-(-1,382 - 0,012Z_{t-1}^* - 2,035Z_{t-2}^* + 0,133Z_{t-3}^*))} \\
 h_7 &= \frac{1}{1 + \exp(-(-0,102 - 0,270Z_{t-1}^* + 0,146Z_{t-2}^* + 0,326Z_{t-3}^*))} \\
 h_8 &= \frac{1}{1 + \exp(-(-0,521 + 0,267Z_{t-1}^* - 0,064Z_{t-2}^* + 1,314Z_{t-3}^*))} \\
 h_9 &= \frac{1}{1 + \exp(-(-0,655 - 2,264Z_{t-1}^* + 1,226Z_{t-2}^* + 1,296Z_{t-3}^*))}
 \end{aligned}$$



Gambar 5. Arsitektur FFNN Data Produksi Minyak Bumi Dengan Unit Input Lag 1 Sampai Lag 3 Dengan Unit Konstan, Satu Hidden Layer Dengan 10 Neuron dan 1 Unit Output

Metode selanjutnya adalah pemodelan produksi minyak bumi menggunakan hybrid ARIMA-FFNN. Input yang digunakan yaitu N_{t-1} , N_{t-2} , N_{t-3} yang diperoleh berdasarkan lag yang signifikan pada PACF dan differencing lag 1. Untuk target pemodelan FFNN adalah N_t . Dalam pemodelan FFNN untuk produksi minyak bumi pada hidden layer digunakan jumlah neuron sebanyak satu hingga sepuluh neuron untuk mendapatkan model yang sesuai. Didapatkan nilai RMSE terkecil dengan jumlah neuron pada hidden layer sebanyak empat neuron dengan nilai RMSE sebesar 221,111. Secara umum arsitektur jaringan model NN dapat dimodelkan sesuai dengan fungsi aktivasi sigmoid pada hidden layer dan fungsi linier pada output. Model Hybrid ARIMA-FFNN yang didapatkan adalah sebagai berikut.

$$Y_t = L_t + N_t$$

dengan L_t merupakan model ARIMA dan N_t adalah model dari FFNN.

$$\hat{N}_t^* = -5,236 + 4,154h_1 + 4,746h_2 + 1,043h_3 + 0,826h_4$$

dengan

$$\begin{aligned}
 h_1 &= \frac{1}{1 + \exp(-(-1,246 + 2,126Z_{t-1}^* - 2,823Z_{t-2}^* - 0,015Z_{t-3}^*))} \\
 h_2 &= \frac{1}{1 + \exp(-(-1,345 - 2,493Z_{t-1}^* + 2,318Z_{t-2}^* + 0,533Z_{t-3}^*))} \\
 h_3 &= \frac{1}{1 + \exp(-(-0,772 + 0,396Z_{t-1}^* + 0,324Z_{t-2}^* - 0,511Z_{t-3}^*))} \\
 h_4 &= \frac{1}{1 + \exp(-(-0,990 + 1,949Z_{t-1}^* - 0,335Z_{t-2}^* - 1,226Z_{t-3}^*))}
 \end{aligned}$$

C. Pemodelan Produksi Gas Bumi

Pemodelan produksi gas bumi juga dilakukan menggunakan tiga metode, yaitu dengan metode ARIMA, FFNN, dan Hybrid ARIMA-RBFNN. Metode pertama yang dilakukan adalah ARIMA. Pada pengecekan stasioner pada data produksi gas bumi ternyata sudah stasioner terhadap varians karena nilai selang interval sudah memuat angka lebih dari 1. Sedangkan pengecekan stasioner terhadap mean ternyata belum stasioner sehingga dilakukan proses differencing pada lag 1. Selanjutnya pendugaan model dengan plot ACF yang menunjukkan bahwa plot turun cepat secara eksponensial (dies down) dan plot PACF menunjukkan plot terputus

setelah lag ke 2. Berdasarkan plot ACF dan PACF model yang diduga adalah ARIMA (0,1,2), ARIMA (1,1,1) dan ARIMA (2,1,1). Estimasi dan pengujian parameter dilakukan berdasarkan model yang telah diduga dengan kesimpulan bahwa semua parameter pada model signifikan karena *P-value* kurang dari α (0,05). Sedangkan pada *diagnostic checking* pada ketiga model tersebut telah memenuhi asumsi *white noise* dan tidak berdistribusi normal. Oleh karena itu dilanjutkan dengan deteksi *outlier*. Berdasarkan hasil estimasi dan pengujian parameter dari ketiga model tersebut dengan deteksi *outlier* data produksi gas bumi menghasilkan kesimpulan bahwa ketiga model telah signifikan. Pada tahap *diagnostic checking* ketiga model tersebut juga telah memenuhi asumsi *white noise* dan tetap tidak berdistribusi normal setelah dilakukan deteksi *outlier*.

Selanjutnya pemilihan model terbaik dengan melihat Nilai RMSE *out sample* paling rendah terdapat pada model ARIMA (0,1,2) yaitu sebesar 997,425. Bentuk umum persamaannya adalah sebagai berikut.

$$Z_t = Z_{t-1} - 0,36363a_{t-1} - 0,13626a_{t-2} + a_t + 1908,7I_t^{191} - 2954,9I_t^{36} - 2732,9I_t^{99} + 1736,8I_t^{100} + \frac{922,1513}{(1-B)}I_t^{22} + \frac{853,2238}{(1-B)}I_t^{82} + \frac{1117,5}{(1-B)}I_t^{266} + 1088,4I_t^{101} + 904,1797I_t^{59} - 4283,6I_t^{304} - 2385,4I_t^6 + 681,1308I_t^{46} + 649,8988I_t^{11} + \frac{1026,1}{(1-B)}I_t^{324} + \frac{1122,7}{(1-B)}I_t^8 - 1714,2I_t^{204} - \frac{1398,2}{(1-B)}I_t^{327} - \frac{1377,1}{(1-B)}I_t^5 - \frac{892,0500}{(1-B)}I_t^{16} - 873,9574I_t^{351} - \frac{820,4262}{(1-B)}I_t^{162} - \frac{903,1575}{(1-B)}I_t^{183} - \frac{842,0225}{(1-B)}I_t^{73} + \frac{725,0310}{(1-B)}I_t^{308} + \frac{877,0217}{(1-B)}I_t^{81} + 631,4765I_t^{349} + \frac{878,9083}{(1-B)}I_t^9 - \frac{1241,8}{(1-B)}I_t^{305} - 672,2574I_t^{105} + \frac{700,0932}{(1-B)}I_t^{103} + \frac{691,8995}{(1-B)}I_t^{94} + 561,8726I_t^{23} + \frac{767,0745}{(1-B)}I_t^{307} - \frac{640,5421}{(1-B)}I_t^{109} - 514,6910I_t^{158} - \frac{614,2698}{(1-B)}I_t^{317} - 468,6593I_t^{288} - 467,8099I_t^{148} - 677,1408I_t^{51} - 542,3119I_t^{50} - \frac{603,8207}{(1-B)}I_t^{48}$$

Metode selanjutnya adalah pemodelan data produksi gas bumi menggunakan FFNN. Sebelum analisis dilakukan, diperlukan uji linieritas yang menghasilkan kesimpulan bahwa data produksi gas bumi merupakan model non linier karena *P-value* ($2,081e^{-6}$) kurang dari α (0,05). Sehingga dapat dilakukan pemodelan menggunakan FFNN. Input yang digunakan pada model ARIMA (0,1,2) adalah Y_{t-1} , Y_{t-2} , Y_{t-3} yang diperoleh dari PACF berdasarkan lag yang signifikan dan *differencing* lag 1. Untuk target pemodelan FFNN adalah Y_t . Berdasarkan jumlah neuron pada *hidden layer* yang digunakan sebanyak satu hingga sepuluh menunjukkan bahwa nilai RMSE dari *out sample* paling rendah sebesar 991,703 dengan jumlah neuron dalam *hidden layer* sebanyak sembilan. Secara umum arsitektur jaringan model NN dapat dimodelkan sesuai dengan fungsi aktivasi sigmoid pada *hidden layer* dan fungsi linier pada *output*. Model yang didapatkan adalah sebagai berikut.

$$\hat{Z}_t^* = -1,368 - 0,533h1_t + 3,268h2_t - 1,795h3_t + 1,428h4_t + 2,606h5_t$$

$$h1_t = \frac{1}{1 + \exp(-(-0,646 + 1,578Z_{t-1}^* + 0,767Z_{t-2}^* + 0,376Z_{t-3}^*))}$$

$$h2_t = \frac{1}{1 + \exp(-(-1,815 - 0,340Z_{t-1}^* + 0,820Z_{t-2}^* + 0,685Z_{t-3}^*))}$$

$$h3_t = \frac{1}{1 + \exp(-(-1,262 - 1,723Z_{t-1}^* + 1,201Z_{t-2}^* + 0,498Z_{t-3}^*))}$$

$$h4_t = \frac{1}{1 + \exp(-(-0,665 + 1,534Z_{t-1}^* - 0,781Z_{t-2}^* - 0,931Z_{t-3}^*))}$$

$$h5_t = \frac{1}{1 + \exp(-(-1,065 + 0,442Z_{t-1}^* + 0,439Z_{t-2}^* + 0,494Z_{t-3}^*))}$$

Metode selanjutnya adalah menggunakan *hybrid* ARIMA-FFNN. Input yang digunakan yaitu N_{t-1} , N_{t-2} , N_{t-3} yang diperoleh berdasarkan residual lag-lag orde pada model ARIMA. Untuk target pemodelan FFNN adalah N_t . Dalam pemodelan FFNN untuk produksi gas bumi pada *hidden layer* digunakan jumlah neuron sebanyak satu hingga sepuluh neuron untuk mendapatkan model yang sesuai. Didapatkan nilai RMSE terkecil dengan jumlah neuron pada *hidden layer* sebanyak Sepuluh dengan nilai RMSE sebesar 804,317. Secara umum arsitektur jaringan model NN dapat dimodelkan sesuai dengan fungsi aktivasi sigmoid pada *hidden layer* dan fungsi linier pada *output*. Model *Hybrid* ARIMA-FFNN yang didapatkan adalah sebagai berikut.

$$Y_t = L_t + N_t$$

dengan L_t merupakan model ARIMA dan N_t adalah model dari FFNN.

$$\hat{N}_t^* = 0,836 - 2,476h1_t - 3,178h2_t + 1,174h3_t + 1,109h4_t + 1,197h5_t - 0,927h6_t + 1,215h7_t + 0,844h8_t + 0,475h9_t + 0,832h10_t$$

$$h1_t = \frac{1}{1 + \exp(-(-1,173 - 2,131Z_{t-1}^* - 0,381Z_{t-2}^* + 0,356Z_{t-3}^*))}$$

$$h2_t = \frac{1}{1 + \exp(-(-1,116 + 0,784Z_{t-1}^* - 1,239Z_{t-2}^* - 0,792Z_{t-3}^*))}$$

$$h3_t = \frac{1}{1 + \exp(-(-0,086 - 0,239Z_{t-1}^* - 0,446Z_{t-2}^* - 0,460Z_{t-3}^*))}$$

$$h4_t = \frac{1}{1 + \exp(-(-0,074 - 0,137Z_{t-1}^* - 0,437Z_{t-2}^* - 0,124Z_{t-3}^*))}$$

$$h5_t = \frac{1}{1 + \exp(-(-0,082 - 0,171Z_{t-1}^* - 0,369Z_{t-2}^* - 0,313Z_{t-3}^*))}$$

$$h6_t = \frac{1}{1 + \exp(-(-0,954 + 0,389Z_{t-1}^* - 0,442Z_{t-2}^* - 0,323Z_{t-3}^*))}$$

$$h7_t = \frac{1}{1 + \exp(-(-0,963 - 0,187Z_{t-1}^* - 0,909Z_{t-2}^* - 0,259Z_{t-3}^*))}$$

$$h8_t = \frac{1}{1 + \exp(-(-0,19 - 0,125Z_{t-1}^* - 0,275Z_{t-2}^* - 0,115Z_{t-3}^*))}$$

$$h9_t = \frac{1}{1 + \exp(-(-0,156 - 0,155Z_{t-1}^* + 0,071Z_{t-2}^* + 0,256Z_{t-3}^*))}$$

$$h10_t = \frac{1}{1 + \exp(-(-0,507 - 0,124Z_{t-1}^* - 0,477Z_{t-2}^* - 0,085Z_{t-3}^*))}$$

Hasil pemilihan model terbaik dengan menggunakan metode ARIMA, FFNN, dan *Hybrid* ARIMA-FFNN dapat disajikan sebagai berikut.

TABEL 1. HASIL PEMILIHAN MODEL TERBAIK DATA PRODUKSI MINYAK DAN PRODUKSI GAS BUMI DENGAN METODE ARIMA, FFNN, DAN *HYBRID* ARIMA-FFNN

No	Produksi	Model	RMSE	
			In-sample	Out-sample
1	Minyak Bumi	ARIMA (2,1,0)	22,916	221,701
		FFNN (jumlah neuron 9)	75,428	213,615
		<i>Hybrid</i> ARIMA-FFNN (jumlah neuron 4)	20,722	221,111
2	Gas Bumi	ARIMA (0,1,2)	215,872	997,425
		FFNN (jumlah neuron 5)	507,566	991,703
		<i>Hybrid</i> ARIMA-FFNN (jumlah neuron 10)	194,91	804,317

Berdasarkan Tabel 1 menjelaskan bahwa pemilihan model terbaik data produksi minyak bumi adalah menggunakan metode FFNN dengan nilai RMSE terkecil

sebesar 221,111. Sedangkan pemilihan model terbaik data produksi gas bumi adalah menggunakan metode *Hybrid ARIMA-FFNN* dengan nilai RMSE terkecil sebesar 804,317. Selanjutnya diperoleh hasil peramalan untuk periode 14 hari kedepan yaitu sebagai berikut.

TABEL 2. HASIL RAMALAN DATA PRODUKSI MINYAK DAN PRODUKSI GAS BUMI DARI MODEL TERBAIK

t = hari (2016)	Produksi		t = hari (2016)	Produksi	
	Minyak	Gas		Minyak	Gas
1	536	2219	8	710	2937
2	551	2822	9	699	2938
3	746	2796	10	688	2940
4	722	2897	11	678	2940
5	748	2916	12	670	2941
6	731	2923	13	663	2941
7	722	2933	14	657	2941

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Berdasarkan hasil analisis statistika deskriptif pada plot *time series* data produksi minyak bumi dan produksi gas bumi belum stasioner. Rata-rata produksi minyak bumi yang dihasilkan per hari adalah sebesar 781 bbls, sedangkan rata-rata produksi gas bumi yang dihasilkan per hari adalah sebesar 5.442 mscf.
2. Model terbaik untuk produksi minyak bumi adalah menggunakan metode FFNN dengan jumlah neuron pada *hidden layer* sebanyak sembilan. Hasil ramalan 14 periode ke depan mengalami penurunan dengan penurunan produksi minyak bumi paling rendah, yaitu pada periode pertama tanggal 1 Januari 2016 sebesar 536 bbls.
3. Model terbaik untuk produksi gas bumi adalah menggunakan metode *Hybrid ARIMA-FFNN* dengan jumlah neuron pada *hidden layer* sebanyak sepuluh. Hasil ramalan 14 periode ke depan mengalami penurunan dengan penurunan produksi gas bumi paling rendah, yaitu pada periode pertama tanggal 1 Januari 2016 sebesar 2219 mscf.

B. Saran

Saran yang diberikan pada penelitian ini adalah hasil ramalan pada data produksi minyak bumi perlu dilakukan *treatment* untuk meningkatkan produksi tersebut karena pada hasil ramalan 14 periode kedepan produksi minyak bumi mengalami penurunan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Investment, I. (2015). *Gas Alam*. Diunduh Februari 17, 2016, dari Indonesia Investment: <http://www.indonesia-investments.com/id/bisnis/komoditas/gas-alam/item184>
- [2] Samperuru, D. (2007). *Dari Mana Datangnya Minyak Bumi*. Buku Pintar Migas Indonesia, 1-17.
- [3] Elliyana, M. (2009). *Penerapan Model GSTAR dan ARIMA Untuk Peramalan Data Produksi Minyak Bumi di Joint Operating Body Pertamina-Petrochina East Java (JOB P-PEJ)*. Tugas Akhir Jurusan Statistika FMIPA ITS.
- [4] Adnyana, I. B. (2013). *Penerapan Bootstrap Pada Neural Network Peramalan Produksi Minyak Mentah di Indonesia*. Tugas Akhir Jurusan Statistika FMIPA ITS.
- [5] Walpole, E. R. dan Raymond, M. (1995). *Ilmu Peluang dan Statistika Untuk Ilmuwan dan Insinyur Edisi Keempat*. Bandung: ITB
- [6] Wei, W. W. S. (2006). *Time Series Analysis Univariate and Multivariate Methods*. USA: Pearson Education, Inc.
- [7] Ayuni, N. W. D. (2013). *Pemodelan Angka Harapan Hidup di Provinsi Jawa Timur Tahun 2007 dan 2011 Berdasarkan Angka Melek Huruf, Rata-rata Lama Sekolah, dan Pengeluaran Perkapita*. Jurnal Matematika vol. 3 No. 1, 12-23.
- [8] Fausett, L. (1994). *Fundamental of Neural Network: Architectures, algorithm and applications*. Prantice Halt.
- [9] Syuhada, G. (2014). *Jenis-jenis Rig Pengeboran Offshore*. Diunduh Februari 07, 2016, dari <http://gugussyuhada.com/tag/migas/>
- [10] Adinugroho, N. (2007). *Macam Sumur dan Rig Dalam Perminyakan*. Dipetik Februari 07, 2016, dari <https://nooradinugroho.wordpress.com/2007/09/27/macam-sumur-dan-rig-dalam-perminyakan/>