

Pemodelan Kecepatan Angin di Perairan Pulau Bawean dengan Menggunakan Fungsi Transfer

Muhammad Tayyib dan Wiwiek Setya Winahju
Jurusan Statistika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111
e-mail: wiiwiek.statistika@gmail.com

Abstrak—Kecepatan Angin merupakan salah satu indikator dalam mengukur cuaca di suatu tempat terutama untuk kehidupan nelayannya. Pulau Bawean merupakan salah satu pulau di Kabupaten Gresik yang sebagian besar kehidupan dilakukan di perairan. Penelitian ini dilakukan dengan memodelkan kecepatan angin dengan menggunakan fungsi transfer dengan tekanan udara sebagai variabel input. Kemudian model yang didapatkan digunakan untuk meramalkan beberapa periode berikutnya. Apabila hasil peramalan tidak baik maka dilakukan pemodelan dengan metode yang lain. Metode yang bisa digunakan untuk memodelkan yaitu Vector Autoregressive (VAR) dan regresi time series. Kecepatan angin rata-rata tertinggi terjadi pada tahun 2012 sedangkan untuk rata-rata tekanan udara tertinggi terjadi pada tahun 2012. Berdasarkan hasil analisis fungsi transfer kecepatan angin hari ini dipengaruhi oleh tekanan udara pada hari ini juga. Metode alternative yang terbaik yaitu regresi robust. Pada pemodelan regresi robust kecepatan angin hari ini dipengaruhi oleh tekanan udara dua hari sebelumnya dan kecepatan angin sehari sebelumnya.

Kata Kunci—Kecepatan Angin, Tekanan Udara, Fungsi Transfer

I. PENDAHULUAN

CUACA selalu berubah, termasuk didalamnya kecepatan angin karena itu disadari bahwa memperkirakan cuaca tidak mudah karena disamping harus memahami sifat atmosfer atau dinamika atmosfer diperlukan juga pengalaman dan keberanian dalam membuat keputusan suatu prakiraan. Perairan Pulau Bawean merupakan pusat bagi kehidupan nelayan disana. Kondisi cuaca yang buruk akan berakibat terhadap menganggurnya para nelayan untuk melaut. Kecepatan angin menjadi indikator penting bagi nelayan dalam mencari ikan dilaut. Kecepatan angin merupakan kecepatan udara bergerak horizontal pada ketinggian tertentu. Perbedaan tekanan udara antara asal dan tujuan angin merupakan faktor yang menentukan kecepatan angin. Kecepatan angin ditunjukkan oleh kecuraman beda tekanan. Jika beda tekanan besar maka angin menjadi kencang. Sebaliknya, jika beda tekanan kecil maka angin juga melemah [1]. Model fungsi transfer adalah suatu model yang menggambarkan nilai prediksi masa depan dari suatu time series didasarkan pada nilai-nilai masa lalu *time series* itu sendiri dan satu atau lebih variabel yang berhubungan dengan output series tersebut [2]. Data kecepatan angin merupakan suatu deret series yang dipengaruhi oleh data sebe-

lumnya tetapi juga dipengaruhi oleh variable lain yaitu tekanan udara. Pemodelan kecepatan angin bisa dimodelkan dengan fungsi transfer dimana tekanan udara sebagai variabel input yang diduga mempengaruhinya. Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan penelitian tentang cuaca metode peramalan menggunakan *fuzzy clustering* [3]. Selanjutnya penelitian tentang prediksi cuaca maritim menggunakan jaringan syaraf tiruan [4]. Penelitian kecepatan angin di Sumenep menggunakan metode *Adaptive Neuro Fuzzy Inference Systems* (ANFIS) [5]. Penelitian tentang peramalan kecepatan angin rata-rata dengan pendekatan fungsi transfer sebagai input ANFIS [6]. Tujuan dari penelitian ini yaitu meramalkan kecepatan angin dengan menggunakan fungsi transfer. Apabila hasil peramalan masih kurang baik maka dilakukan pemodelan dengan metode lain yaitu dengan VAR dan regresi time series. Penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan ramalan yang memiliki akurasi tinggi untuk kecepatan angin di Bawean, sehingga dapat digunakan BMKG dan institusi lain terkait dengan peramalan cuaca.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Metode ARIMA Box-Jenkins

Sering terdapat waktu senjang (*Time lag*) antara kesadaran akan peristiwa atau kebutuhan mendatang dengan peristiwa itu sendiri. Adanya waktu tenggang (*Lead Time*) ini merupakan alasan utama bagi perencanaan dan peramalan. Jika waktu tenggang ini nol atau sangat kecil, maka perencanaan tidak diperlukan. Jika waktu tenggang ini panjang dan hasil peristiwa akhir bergantung pada faktor-faktor yang dapat diketahui, maka perencanaan dapat memegang perananan penting. Dalam situasi seperti ini peramalan diperlukan untuk menetapkan kapan suatu peristiwa akan terjadi atau timbul, sehingga tindakan yang tepat dapat dilakukan. Model-model *Autoregressive Intergrated Moving Average* (ARIMA) telah banyak dipelajari secara mendalam oleh George Box dan Gwilyn Jenkins (1976) dan nama mereka sering disinonimkan dengan proses ARIMA yang diterapkan untuk analisis deret berkala, peramalan dan pengendalian [7]. Apabila pemodelan dengan fungsi transfer menghasilkan peramalan yang kurang baik, maka dilakukan pemodelan dengan metode lain yang mungkin bisa digunakan untuk menganalisa data kecepatan angin dan tekanan udara.

B. Identifikasi Model ARIMA Box-Jenkins

Pemeriksaan kestasioneran dapat dilakukan dengan bantuan *time series* plot dan plot fungsi autokorelasi (plot ACF). *Time series* adalah penyajian data dengan menggunakan *scatter* plot, sumbu tegak adalah nilai variabel *time series* dan sumbu datar adalah waktu. Sedangkan plot ACF adalah penyajian nilai korelasi antara pengamatan ke-t dengan pengamatan ke t-k untuk nilai k =1,2,... Di dalam identifikasi model dilakukan penentuan model awal. Alat yang dipakai untuk menentukan model awal adalah plot ACF dan PACF. Plot PACF adalah penyajian nilai korelasi parsial untuk nilai k = 1,2,... Korelasi parsial adalah korelasi an-tara Z_t dengan Z_{t+k} setelah pengaruh Z_1, \dots, Z_{t-k-1} dihilangkan [7].

Tabel 1.

Identifikasi Orde ARIMA

| Proses | ACF | PACF |
|----------------------|---|---|
| AR (p) | Dies Down (turun eksponensial) | Cut off after lag p (terpotong setelah lag-p) |
| MA (q) | Cut off after lag q (terpotong setelah lag-q) | Dies Down (turun eksponensial) |
| ARMA (p,q) | Dies Down (turun eksponensial menuju nol setelah lag q-p) | Dies Down (turun eksponensial menuju nol setelah lag p-q) |
| White Noise (Random) | Tidak ada yang signifikan (tidak ada yang keluar batas) | Tidak ada yang signifikan (tidak ada yang keluar batas) |

C. Fungsi Transfer

Model fungsi transfer adalah suatu model yang menggambarkan nilai prediksi masa depan dari suatu *time series* didasarkan pada nilai-nilai masa lalu *time series* itu sendiri dan satu atau lebih variable yang berhubungan dengan output series tersebut. Bentuk umum persamaan model fungsi transfer *single input* (x_t) dengan *single output* (y_t) adalah sebagai berikut.

$$y_t = v(B)x_t + \eta_t \tag{1}$$

dimana :

- y_t = representasi dari deret output yang stasioner
- x_t = representasi dari deret input yang stasioner
- η_t = representasi dari komponen error (deret noise) yang mengikuti suatu model ARMA tertentu

dalam mengidentifikasi model fungsi transfer dapat dilakukan langkah-langkah sebagai berikut [2].

1. *Prewhitening* deret input (x_t),

$$\begin{aligned} \phi_x(B)x_t &= \theta_x(B)\alpha_t \\ \alpha_t &= \frac{\phi_x(B)}{\theta_x(B)}x_t \end{aligned} \tag{2}$$

2. *Prewhitening* deret input (y_t)

$$\beta_t = \frac{\phi_x(B)}{\theta_x(B)}y_t \tag{3}$$

3. Menghitung sampel korelasi silang (CCF), $\hat{\rho}_{\alpha\beta}(k)$ antara α_t dan β_t untuk \hat{v}_k

$$\hat{v}_k = \frac{\hat{\sigma}_\beta}{\hat{\sigma}_\alpha} \hat{\rho}_{\alpha\beta}(k)$$

4. Penetapan (b, r, s) untuk model fungsi transfer yang menghubungkan deret input dan output.

$$\begin{aligned} \omega(B) &= \omega_0 - \omega_1 B - \omega_2 B^2 - \dots - \omega_s B^s \\ \delta(B) &= (1 - \delta_1 B - \delta_2 B^2 - \dots - \delta_r B^r) \end{aligned}$$

sehingga nilai dugaan untuk $v(B)$ menjadi

$$\hat{v}(B) = \frac{\hat{\omega}(B)}{\hat{\delta}(B)} B^b \tag{4}$$

Setelah menghitung korelasi silang (CCF) maka dari nilai tersebut akan ditentukan nilai (r, s, b). Tiga parameter kunci di dalam fungsi transfer adalah (r, s, b), dimana r menunjukkan derajat fungsi $\delta(B)$, s menunjukkan derajat fungsi $\omega(B)$, dan b menunjukkan keterlambatan yang dicatat pada subtranskrip dari x_{t-b} . nilai b menyatakan bahwa y tidak dipengaruhi oleh x_t sampai periode $t+b$. Nilai s menyatakan untuk berapa lama deret output (y) secara terus-menerus dipengaruhi oleh nilai-nilai baru dari deret input (x) [7].

Tiga prinsip petunjuk dalam menentukan nilai yang tepat untuk (r, s, b) :

- a. Sampai lag waktu ke- b , korelasi-silang tidak akan berbeda dari nol secara signifikan.
- b. Untuk s time lag selanjutnya, korelasi silang tidak akan memperlihatkan adanya pola yang jelas.
- c. Untuk r time lag selanjutnya, korelasi silang akan memperlihatkan suatu pola yang jelas.

5. Penaksiran deret *noise*

$$\begin{aligned} n_t &= y_t - \hat{v}(B)x_t \\ &= y_t - \frac{\hat{\omega}(B)}{\hat{\delta}(B)} B^b x_t \end{aligned} \tag{5}$$

Model yang sesuai untuk *noise* kemudian dapat diidentifikasi dengan memeriksa sampel ACF dan PACF atau dengan alat identifikasi univariate time series yang lainnya, memberikan hasil sebagai berikut.

$$\phi(B)n_t = \theta(B)a_t \tag{6}$$

D. Penaksiran Parameter Model Fungsi Transfer

Penaksiran parameter model fungsi transfer sama dengan univariate yaitu dengan metode *maximum likelihood estimation*. Parameter yang akan ditaksir yaitu $\delta = (\delta_1, \dots, \delta_r)'$, $\omega = (\omega_0, \omega_1, \dots, \omega_s)'$, $\phi = (\phi_1, \dots, \phi_p)'$, $\theta = (\theta_1, \dots, \theta_q)'$ dan σ_a^2 . Di-mana penaksiran dimulai dari model dugaan awal yaitu

$$\begin{aligned} y_t &= \frac{\omega(B)}{\delta(B)} x_{t-b} + \frac{\theta(B)}{\phi(B)} a_t, \\ \delta(B)\phi(B)y_t &= \phi(B)\omega(B)x_{t-b} + \delta(B)\theta(B)a_t \end{aligned} \tag{7}$$

Model likelihood dari fungsi transfer

$$L(\delta, \omega, \phi, \theta, \sigma_a^2 | b, x, y, x_0, y_0, a_0) = (2\pi\sigma_a^2)^{-\frac{n}{2}} \exp\left[-\frac{1}{2\sigma_a^2} \sum_{t=1}^n a_t^2\right] \tag{8}$$

Dimana

$$\begin{aligned} S(\delta, \omega, \phi, \theta | b) &= \sum_{t=1}^n a_t^2 \\ t_0 &= \max(p+r+1, b+p+s+1) \end{aligned} \tag{9}$$

E. Beberapa Metode Alternatif

Metode alternatif digunakan apabila peramalan dari model fungsi transfer tidak baik. Beberapa metode alternative yang mungkin bisa digunakan untuk memodelkan kecepatan angin dengan tekanan udara yaitu *Vector Autoregressive* (VAR) dan regresi time series. Model VAR merupakan bagian dari model *multivariate time series*. Identifikasi model VAR dapat dilihat dari MPACF atau nilai AIC terkecil. Asumsi

yang harus terpenuhi dari metode VAR yaitu data sudah stasioner terhadap mean dan varians, serta residual sudah *white noise* dan berdistribusi normal. Berikut ini merupakan persamaan umum dari VAR(p).

$$(I - \Phi_1 B - \dots - \Phi_p B^p) Z_t = a_t \quad (10)$$

dimana : $Z_t : Z_t - \mu$

a_t : Vektor error

Φ : Parameter VAR dengan ukuran matrik $k \times k$

Metode alternative kedua yang digunakan yaitu Regresi time series. Regresi time series merupakan fungsi antara satu variabel respon (Y) dengan satu atau lebih variable predictor (X) dimana kedua variabel bersyarat pada waktu. Secara umum model regresi time series dapat dituliskan sebagai berikut [2].

$$Y_t = \beta_1 X_{1,t} + \beta_2 X_{2,t} + \dots + \beta_k X_{k,t} + \varepsilon_t \quad (11)$$

Y_t : variabel respon regresi time series

β_k : koefisien regresi time series ke-i

X_t : variable predictor regresi time series

ε_t : Residual

Asumsi yang harus dipenuhi dalam regresi time series yaitu residual harus IIDN (Identik, Independen, dan Distribusi Normal). Adanya outlier juga mempengaruhi kebaikan dari model. Salah satu metode yang digunakan untuk menangani outlier yaitu regresi robust. Beberapa metode estimasi dalam regresi robust diantaranya *M-Estimation*, *Least Trimmed Square (LTS)*, *MM Estimation*, dan *S estimation*.

F. Kecepatan Angin

Angin merupakan gerakan udara yang sejajar dengan permukaan bumi. Udara bergerak dari daerah bertekanan tinggi ke daerah bertekanan rendah. Gerak rata-rata dari angin di permukaan bumi merupakan sirkulasi umum dari atmosfer. Pemahaman sirkulasi umum atmosfer dapat didekati dengan pemeriksaan pola angin utama dan pemeriksaan berbagai daerah bertekanan rendah dan tinggi. Angin terjadi disebabkan oleh adanya beda tekanan. Sedangkan kecepatan angin ditunjukkan oleh kecuraman beda tekanan. Jika beda tekanan besar maka angin menjadi kencang. Sebaliknya, jika beda tekanan kecil maka angin juga melemah [1].

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder yang didapat dari Badan Meteorologi dan Klimatologi dan Geofisika (BMKG) di Pulau Bawean. Data yang digunakan adalah data insampel dan outsampel. Data insampel yaitu harian kecepatan angin dan tekanan udara mulai periode januari 2012 samapai dengan Desember 2013 sedangkan untuk data outsampel yaitu data pada 1-15 januari 2014.

B. Variabel Penelitian

Variabel penelitian yang digunakan dalam penelitian ini ada-lah sebagai berikut.

1. Kecepatan angin harian di Bawean satuan knot (y_t)

2. Tekanan udara satuan mb (x_t)

Metode kedua yang digunakan yaitu *Vector Autoregressive (VAR)*. berikut merupakan variabel yang digunakan dalam analisis VAR.

1. Kecepatan angin harian di Bawean satuan knot (x_1)
2. Tekanan udara satuan mb (x_2)

Metode yang ketiga dalam penelitian ini yaitu regresi time series. Variabel yang digunakan dalam penelitian ini yaitu variabel respon kecepatan angin dan variabel prediktor melalui uji korelasi.

C. Metode Analisis Data

Langkah-langkah dalam analisis data adalah sebagai berikut.

1. Menghitung nilai mean, standar deviasi, maksimum, dan minimum dan membuat time series plot pada data kecepatan angin dan tekanan udara.
2. Melakukan permalan data dengan menggunakan analisis fungsi transfer dimana tahapannya sebagai berikut.
 - a. Tahap identifikasi model
 - b. Penaksiran parameter model
 - c. Pemeriksaan diagnostik
 - d. Peramalan model fungsi transfer
3. Bila hasil pemodelan kurang memuaskan akan dicoba melakukan pemodelan-pemodelan :
 - a. Vektor autoregressive dengan variabel pertama adalah kecepatan angin dan variabel kedua adalah tekanan udara.
 - Identifikasi Kestasioneran kedua variabel terhadap varians dengan transformasi box-cox dan kestasioneran terhadap mean melalui MACF. Apabila belum stasioner terhadap varians maka dilakukan transformasi dan apabila belum stasioner terhadap mean maka dilakukan *differencing*.
 - Identifikasi model dugaan melalui plot MPACF.
 - Estimasi model VAR dengan menggunakan MLE.
 - Pemeriksaan residual *white noise* dan distribusi normal.
 - Pemilihan Model terbaik dengan menggunakan kriteria AIC terkecil
 - b. Regresi time series robust dengan variabel respon kecepatan angin (y).
 - Uji korelasi antara y dengan dengan kecepatan angin lag-1 dan 2 serta tekanan udara lag-1 dan 2.
 - Estimasi model dengan menggunakan OLS.
 - Pemeriksaan residual IIDN.
 - Pemeriksaan outlier. Apabila terdapat banyak outlier maka analisis dilanjutkan dengan menggunakan metode regresi robust.

IV. ANALISIS PEMBAHASAN

a. Deskripsi Kecepatan Angin dan Tekanan Udara

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder dari BMKG. Data tersebut yaitu data kecepatan angin (knot) sebagai variabel output dan data tekanan udara (mb) sebagai variable input. Deskripsi dari variable-variabel tersebut ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2.

| Statistika Deskriptif Variabel | | | | | |
|--------------------------------|-------|--------|-------|---------|---------|
| Variabel | Tahun | Mean | StDev | Minimum | Maximum |
| Tekanan Udara (mb) | 2012 | 1009.2 | 1.68 | 1004 | 1013.3 |
| | 2013 | 1009 | 1.46 | 1005.2 | 1012.3 |
| Kecepatan Angin (knot) | 2012 | 5.369 | 3.047 | 0.75 | 15.292 |
| | 2013 | 4.958 | 2.871 | 0.458 | 16.542 |

Tabel 2. menunjukkan Statistika Deskriptif dari variabel input dan output pada tahun 2012 dan 2013. Rata-rata tekanan udara perhari pada tahun 2012 di perairan pulau Bawean yaitu 1009.2 mb. Pada tahun 2013 rata-rata dari tekanan udara lebih kecil yaitu sebesar 1009 mb. Kecepatan angin rata-rata harian untuk tahun 2012 yaitu sebesar 5,369 knot, sedangkan untuk tahun 2013 mengalami penurunan dengan kecepatan angin rata-rata harian sebesar 4,958 knot. Deviasi standar dari tekanan udara tertinggi pada tahun 2012 sebesar 1,68 knot artinya besarnya perubahan tekanan udara lebih tinggi pada tahun 2012 daripada tahun 2013. Perubahan kecepatan angin lebih tinggi pada tahun 2012 dengan nilai deviasi standar sebesar 3,047 knot. Tekanan udara tertinggi terjadi pada tahun 2012 sebesar 1013,3 mb, sedangkan tekanan udara terendah terjadi pada tahun 2012 dengan nilai 1004 mb. Kecepatan angin tertinggi terjadi pada tahun 2013 yaitu sebesar 16,542 knot sedangkan untuk kecepatan angin terendah terjadi pada tahun 2013 yaitu sebesar 0,458.

b. Peramalan Kecepatan angin dengan metode fungsi transfer

Peramalan dengan metode fungsi transfer menggunakan dua macam data *series* yang terbagi menjadi deret *input* dan deret *output*. Metode fungsi transfer dalam penelitian ini akan digunakan untuk meramalkan kecepatan angin dengan deret *input* tekanan udara. Tahapan-tahapan yang harus dilakukan dalam membentuk model fungsi transfer diantaranya, tahap *prewhitening* deret input dan output, identifikasi model dugaan fungsi transfer, identifikasi model untuk deret *noise*, dan pemilihan model terbaik.

Untuk tahap pertama yaitu tahap *prewhitening* variable input dan output. Proses *prewhitening* merupakan suatu tahapan untuk mendapatkan model ARIMA, baik pada deret *input* maupun deret *output*, dengan residual yang telah *white noise*. Langkah dalam proses *prewhitening* sama dengan proses dalam mendapatkan model terbaik dalam ARIMA.

Tabel 3.

Kriteria Pemilihan Model ARIMA Terbaik berdasarkan MSE

| Model | SBC |
|---------------|------|
| ARIMA (2,1,0) | 1350 |
| ARIMA (2,1,1) | 1352 |

Berdasarkan Tabel 3. menunjukkan bahwa Model ARIMA yang terbaik adalah ARIMA (2,1,0) karena memiliki nilai SBC paling kecil. Pemodelan *prewhitening* deret input tekanan udara dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\alpha_t = x_t - 0,16638 x_{t-1} + 0,27101 x_{t-2}$$

Berdasarkan *prewhitening* dari deret input pemodelan *prewhitening* deret output kecepatan angin dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\beta_t = y_t - 0,16638 y_{t-1} + 0,27101 y_{t-2}$$

Pembentukan model fungsi transfer dilakukan setelah proses *prewhitening* deret input dan deret output. Identifikasi

model awal untuk fungsi transfer dapat dilihat dari CrossCorrelation Function (CCF) yang menunjukkan kekuatan hubungan antara deret input dan deret output. lag-lag yang signifikan yaitu lag-0, lag-14 dan lag-27. Menurut teori yang sudah dijelaskan tentang kecepatan angin terjadi akibat adanya beda tekanan udara. Artinya secara berurutan tekanan udara secara langsung mempengaruhi kecepatan angin. Apabila tekanan udara terjadi pada 14 hari atau 27 hari sebelumnya maka itu tidak akan mempengaruhi secara langsung dengan tekanan udara pada hari ini. Sehingga dugaan awal model fungsi transfer adalah sebagai berikut.

$$y_t = \omega_0 x_t + \eta_t$$

Setelah diketahui model awal dari fungsi transfer selanjutnya pemodelan pada deret *noise*. Pemodelan dari deret *noise* dilakukan dengan metode ARIMA Box-Jenkins. Identifikasi model ARIMA dapat dilihat dari plot ACF dan PACF. Model ARIMA yang diduga adalah ARIMA([3],0,3).

Tabel 4.

Estimasi dan signifikansi parameter ARIMA deret *noise* dengan b=0, r=0, dan s=0

| Model | Parameter | T-value | P-value | Keputusan |
|-----------------|---------------|---------|---------|------------|
| ARIMA ([3],0,3) | ϕ_3 | 3,96 | 0,0001 | Signifikan |
| | θ_1 | 5,57 | 0,0001 | Signifikan |
| | θ_2 | 5,27 | 0,0001 | Signifikan |
| | θ_3 | 7,11 | 0,0001 | Signifikan |
| | ω_{27} | -2,86 | 0,0043 | Signifikan |

Tabel 4. menjelaskan bahwa parameter-parameter dari model ARIMA([3],0,3) sudah signifikan karena nilai p-value dari setiap parameter kurang dari nilai $\alpha = 0,05$. Karena semua parameter dari model ARIMA sudah signifikan maka dilanjutkan dengan menguji asumsi dari residual *white noise* dan berdistribusi normal.

Tabel 5.

Pengujian *White Noise* untuk deret *noise* dengan Model ARIMA([3],0,3)

| Brs | Lag | χ^2_{hitung} | DF | P-value | Keputusan |
|-------------------|-----|-------------------|----|---------|--------------------|
| b=0 r=0 s=0 | 6 | 1,93 | 2 | 0,381 | <i>White Noise</i> |
| | 12 | 14,27 | 8 | 0,075 | <i>White Noise</i> |
| | 18 | 15,15 | 14 | 0,367 | <i>White Noise</i> |
| | 24 | 22,17 | 20 | 0,331 | <i>White Noise</i> |
| | 30 | 29,05 | 26 | 0,308 | <i>White Noise</i> |
| | 36 | 39,72 | 32 | 0,164 | <i>White Noise</i> |
| | 42 | 44,82 | 38 | 0,207 | <i>White Noise</i> |
| | 48 | 48,02 | 44 | 0,313 | <i>White Noise</i> |

Tabel 5. merupakan tabel dari hasil pengujian asumsi residual *white noise* untuk model ARIMA([3],0,3) dari orde b=0, r=0, s=0. Berdasarkan tabel tersebut menunjukkan bahwa residual dari deret *noise* untuk b=0, r=0, s=0 sudah *whitenoise* karena nilai p-value dari setiap kumulatif lag kurang dari $\alpha = 0,05$. Setelah residual dari deret *noise* sudah menunjukkan *white noise* maka selanjutnya cek distribusi normal untuk residual deret *noise*.

Tabel 6.

| Hasil Uji Normalitas Residual Fungsi Transfer | | | |
|---|-------|---------|----------------------------|
| Brs | KS | P-value | Keputusan |
| b=0 r=0 s=0 | 0,033 | 0,0496 | Tidak Berdistribusi Normal |

Residual dikatakan telah memenuhi asumsi berdistribusi normal jika memiliki P-value lebih besar dari ta-raf signifikansi yang telah ditentukan, yaitu 0,05. Berdasarkan tabel 6 dapat disimpulkan bahwa residual dari b=0, r=0, s=0 belum memenuhi asumsi berdistribusi normal. Untuk mengetahui ukuran kebaikan dari model maka dilakukan perhitungan AIC dari model dan didapatkan nilai AIC sebesar 2896,39. Sehingga model akhir yang didapatkan dari fungsi transfer adalah sebagai berikut.

$$y_t = 2,889 x_t + \frac{(1-0,194B-0,188B^2-0,455B^3)}{(1-0,280B)} a_t$$

$$\leftrightarrow (1 - 0,280B)y_t = (1 - 0,280B)2,889 x_t + (1 - 0,194B - 0,188B^2 - 0,455B^3)a_t$$

$$\leftrightarrow y_t - 0,280 y_{t-1} = 2,889 x_t - 0,8089 x_{t-1} + a_t - 0,194a_{t-1} - 0,188a_{t-2} - 0,455a_{t-3}$$

$$\leftrightarrow y_t = 2,889 x_t - 0,8089 x_{t-1} + 0,280 y_{t-1} + a_t - 0,194a_{t-1} - 0,188a_{t-2} - 0,455a_{t-3}$$

Setelah diketahui model peramalan dari fungsi transfer maka selanjutnya akan diramalkan kecepatan angin untuk 30 hari kedepan yaitu pada bulan february. Berdasarkan dari pemilihan model fungsi transfer didapatkan model yang terbaik yaitu b=0, r=0, s=0 dan ARIMA([3],0,3) untuk deret noise. Hasil dari peramalan data kecepatan angin harian untuk bulan february ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7.

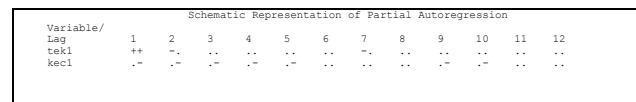
| Hasil Peramalan Kecepatan Angin | | | | |
|---------------------------------|----------|-----------|-----------------------|---------|
| Observasi | Forecast | STD.Error | 95% Confidence Limits | |
| 732 | 6,3177 | 1,7616 | 2,865 | 9,7703 |
| 733 | 6,0685 | 2,2672 | 1,6248 | 10,5122 |
| 734 | 5,9464 | 2,5172 | 1,0127 | 10,8801 |
| 735 | 5,8087 | 2,6382 | 0,6379 | 10,9796 |
| 736 | 5,7157 | 2,7291 | 0,3667 | 11,0646 |
| 737 | 5,6858 | 2,7964 | 0,2049 | 11,1667 |
| 738 | 5,6542 | 2,8457 | 0,0767 | 11,2318 |
| 739 | 5,6281 | 2,8896 | -0,0353 | 11,2916 |
| 740 | 5,6179 | 2,9287 | -0,1222 | 11,3579 |
| 741 | 5,6087 | 2,9637 | -0,2001 | 11,4175 |
| 742 | 5,6018 | 2,9973 | -0,2728 | 11,4765 |
| 743 | 5,5991 | 3,0296 | -0,3387 | 11,5369 |
| 744 | 5,5964 | 3,0606 | -0,4021 | 11,595 |
| 745 | 5,5945 | 3,091 | -0,4637 | 11,6526 |
| 746 | 5,5937 | 3,1208 | -0,523 | 11,7104 |
| 747 | 5,593 | 3,1501 | -0,5812 | 11,7672 |
| 748 | 5,5924 | 3,1791 | -0,6386 | 11,8234 |
| 749 | 5,5922 | 3,2078 | -0,6949 | 11,8794 |
| 750 | 5,592 | 3,2361 | -0,7507 | 11,9347 |
| 751 | 5,5919 | 3,2642 | -0,8058 | 11,9895 |
| 752 | 5,5918 | 3,292 | -0,8604 | 12,044 |
| 753 | 5,5917 | 3,3196 | -0,9145 | 12,098 |
| 754 | 5,5917 | 3,3469 | -0,9681 | 12,1515 |
| 755 | 5,5917 | 3,374 | -1,0212 | 12,2046 |
| 756 | 5,5917 | 3,4009 | -1,0739 | 12,2572 |
| 757 | 5,5916 | 3,4275 | -1,1262 | 12,3095 |

| | | | | |
|-----|--------|--------|---------|---------|
| 758 | 5,5916 | 3,454 | -1,1781 | 12,3613 |
| 759 | 5,5916 | 3,4803 | -1,2295 | 12,4128 |
| 760 | 5,5916 | 3,5063 | -1,2806 | 12,4639 |
| 761 | 5,5916 | 3,5322 | -1,3313 | 12,5146 |

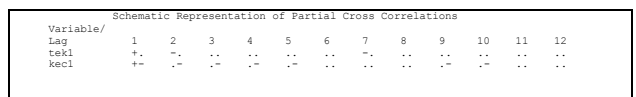
Karena analisis dengan menggunakan fungsi transfer tidak menghasilkan peramalan yang baik karena hasil peramalannya memiliki nilai hampir sama sekitar 5,6 atm dan residual tidak berdistribusi normal. Untuk mendapatkan hasil peramalan yang lebih baik maka akan dicari model lainnya.

Pemodelan alternative karena hasil peramalan dari fungsi transfer kurang baik yaitu dengan VAR dan regresi time series. Berikut ini hasil dari analisis dari metode VAR dan regresi time series.

Dalam analisis VAR langkah awal yang harus dilakukan yaitu mengidentifikasi kestasioneran data terhadap varians dan mean. Untuk mengidentifikasi kestasioneran data terhadap varians dengan menggunakan box-cox dan ternyata variabel kecepatan angin tidak stasioner terhadap varians dan ditransformasi. Kestasioneran data terhadap mean dilihat dari plot MACF pada Gambar 1. (a), ternyata data belum stasioner terhadap mean sehingga dilakukan differencing 1. Setelah data ditransformasi dan differencing maka dilakukan identifikasi model. Berikut merupakan identifikasi model dari VAR berdasarkan nilai AIC terkecil dan MPACF.



(a)



(b)

Gambar 1. Plot (a) MACF (b) MPACF Tekanan udara dan kecepatan angin setelah Differencing.

Pendugaan model awal berdasarkan MPACF dapat dilihat pada Gambar 1. (b). Berdasarkan gambar tersebut lag-lag yang bertanda (-) atau (+) berhenti di lag-5 dan AIC paling kecil di lag-5 sehingga model yang diperkirakan VAR(5). Hasil estimasi parameter untuk variabel kecepatan angin setelah direstrict ditampilkan pada Tabel 8.

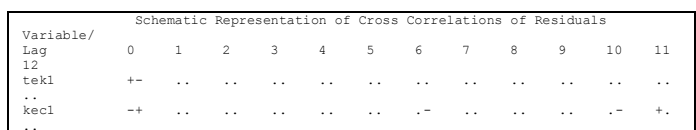
Tabel 8.

| Estimasi Parameter Kecepatan Angin pada Model VAR(5) | | | | | | |
|--|----------------|----------|-----------|---------|---------|----------|
| Equation | Parameter | Estimate | Std Error | t value | P_value | Variabel |
| Kecepatan Angin | $\phi_{1,2,2}$ | -0,21468 | 0,03698 | -5,81 | 0,0001 | kec(t-1) |
| | $\phi_{2,2,2}$ | -0,17370 | 0,03718 | -4,67 | 0,0001 | kec(t-2) |

Berikut ini merupakan hasil dari pemodelan kecepatan angin dari metode VAR.

kecepatan $t = -0,21468$ kecepatan $t-1 - 0,17370$ kecepatan $t-2$.

Selanjutnya dilakukan pengujian terhadap residual white noise pada model VAR(5). Hasil dari pengujian white noise ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Plot MACF Residual VAR(5)

Berdasarkan Gambar 2. diketahui bahwa Pengujian Residual menunjukkan bahwa residual dari VAR(5) belum white noise karena masih terdapat tanda (+) dan (-) pada lag-lag tertentu, maka dengan menggunakan model ini tidak menunjukkan hasil yang baik.

Pemodelan dengan metode regresi time series dalam penentuan variabel prediktor yaitu dengan melakukan uji korelasi kecepatan angin dengan tekanan udara lag-1 dan 2 serta kecepatan angin lag-1 dan 2. Penentuan 2 lag dari variabel berdasarkan hasil dari pemodelan VAR(5) dimana hanya terdapat dua lag yang berpengaruh terhadap model. Setelah dilakukan analisis regresi dengan menggunakan eliminasi *stepwise* maka dihasilkan kecepatan angin sebagai variabel respon serta tekanan udara lag-2 dan kecepatan angin lag-1 sebagai variabel prediktor. berikut ini hasil pengujian secara serentak dari regresi time series.

Tabel 9.
Uji serentak

| Source | DF | SS | MS | F | P |
|----------------|-----|--------|--------|--------|-------|
| Regression | 2 | 203,41 | 101,71 | 641,08 | 0,000 |
| Residual Error | 726 | 115,18 | 0,16 | | |
| Total | 728 | 318,59 | | | |

Berdasarkan Tabel tersebut Pengujian secara serentak menghasilkan kesimpulan model sudah signifikan karena nilai P-value sebesar 0,00 kurang dari $\alpha = 0,05$.

Tabel 10.

Uji Parsial Regresi Time Series

| Prediktor | Coef | SE Coef | T | P |
|--------------------|----------|----------|-------|-------|
| Constant | -21,225 | 9,702 | -2,19 | 0,029 |
| Tek _{t-2} | 0,021496 | 0,009626 | 2,23 | 0,026 |
| Kec _{t-1} | 0,78558 | 0,02297 | 34,20 | 0,000 |

Tabel tersebut Menunjukkan bahwa parameter dari model regresi sudah signifikan karena nilai P-value dari setiap parameter kurang dari $\alpha = 0,05$. Banyak *unusual observation* dari model regresi cukup banyak yaitu sebanyak 41 data, maka dilakukan analisis regresi robust untuk mengatasi adanya pencilaan pada data.

Tabel 11.

Kriteria Pemilihan Model Regresi Time Series Terbaik

| Model | Parameter | R-sq |
|-------|------------|--------|
| MM | Signifikan | 0,5615 |
| LTS | Signifikan | 0,7729 |
| S | Signifikan | 0,6987 |

Berdasarkan Tabel 4.15 metode MM, LTS, dan S sama-sama menghasilkan parameter yang signifikan artinya model sudah baik. Berdasarkan nilai R-sq regresi robust yang paling baik yaitu menggunakan metode LTS karena memiliki R-sq paling besar.

$$Y_t = -19,6429 + 0,0199 \text{ Tek}_{t-2} + 0,7966 \text{ Kec}_{t-1}$$

Pemodelan dengan robust LTS merupakan model terbaik dengan menggunakan regresi time series. Misalkan tekanan udara pada sehari sebelumnya bernilai 1010 mb dan kecepatan angin dua hari sebelumnya konstan maka kecepatan angin pada hari ini menjadi 0,46 knot.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan yang dapat diambil dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. karakteristik dari kecepatan angin rata-rata harian yaitu rata-rata untuk kecepatan angin tertinggi terjadi pada tahun 2012 dan nilai deviasi standar paling besar terjadi pada tahun 2012 sedangkan untuk kecepatan angin paling maksimum terjadi pada tahun 2013 dan untuk kecepatan angin paling rendah juga terjadi pada tahun 2013. Rata-rata tekanan udara paling tinggi dan deviasi standar paling besar terjadi pada tahun 2012 sedangkan untuk tekanan udara tertinggi dan dan terendah terjadi pada tahun 2012.
2. Model yang dihasilkan menggunakan fungsi transfer yaitu or-de b=0 r=0 s=0 dengan komponen *noise* ARMA ([3],3) yang artinya kecepatan angin di perairan Pulau Bawean pada hari ini dipengaruhi tekanan udara pada hari ini dan satu hari sebelumnya serta dipengaruhi oleh kecepatan angin satu hari sebelumnya
3. Model alternative terbaik dari data kecepatan angin dan tekanan udara dengan metode regresi robust LTS tetapi residual tidak independen. Berdasarkan model tersebut dapat disimpulkan bahwa jika tekanan udara sehari sebelumnya memiliki nilai 1010 mb dan kecepatan udara dua hari sebelumnya konstan maka kecepatan angin pada hari ini sebesar 0,46 knot.

Dalam menentukan variabel input diperlukan referensi yang lebih banyak lagi karena ada kemungkinan variabel-variabel lain yang mempengaruhi kecepatan angin..

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Tjasjono, B. (1999). *Klimatologi Umum*. Bandung: ITB Bandung.
- [2] Wei, W.W.S. (2006). *Time Series Analysis, Univariate and Multivariate Methods*. Canada: Addison Wesley Pub-lishing Company.
- [3] Syamsul, A. (2009). *Sistem Logika Fuzzy sebagai Peramal Cuaca di Indonesia, studi kasus: Kota Surabaya*
- [4] Kresnawan, A. (2009). *Penerapan Model Jaringan Syaraf Ti-ruan untuk Memprediksi Gangguan Cuaca maritim. Laporan Tugas Akhir Teknik Fisika-FTI-ITS Surabaya*
- [5] Faulina, R. (2011). *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System untuk Peramalan Kecepatan Angin Harian di Sumenep. Laporan Tugas Akhir Jurusan Statistika. Surabaya : ITS*
- [6] Nurvitasari, Y. (2012). *Pendekatan Fungsi Transfer Sebagai Input Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) dalam Peramalan Kecepatan Angin Rata-rata. Laporan tugas Akhir Jurusan Statistika. Surabaya : ITS*
- [7] Makridakis, Wheel W., Mc Gee. (1999). *Metode Dan Aplikasi Peramalan, Edisi Kedua*. Bina Rupa Aksara. Jakarta.